

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАНИЯ МОЛОТА СПОРТСМЕНАМИ РАЗЛИЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Рассматривается пространственная и ритмическая структура метания молота легкоатлетами различной квалификации. Подробно описаны различия в биомеханических параметрах пространственно-временной организации структурных компонентов метания молота у спортсменов различной квалификации. Проанализированы корреляционные связи между дальностью полета молота и временными параметрами выполнения структурных элементов метания, приводятся статистические параметры пространственно-временной структуры одноопорной, двухопорной фаз метания молота.

Ключевые слова: биомеханические закономерности; модель; метание; молот.

Поиск и обоснование наиболее рациональных способов выполнения физических упражнений и повышение их эффективности являются необходимыми условиями роста спортивного мастерства и результатов в соревновательной деятельности спортсменов. Поэтому проблема технической подготовки спортсменов является предметом биомеханических исследований многих специалистов [1–4]. К настоящему времени исследования, связанные с биомеханическим анализом техники спортивных упражнений, показали свою эффективность в гимнастике [2, 5–7], легкой атлетике [1, 2, 8]. Полученные результаты позволяют рассчитывать на эффективность использования такого подхода при изучении техники метания молота. В связи с этим определение пространственно-временных характеристик метания молота и использование полученных результатов в педагогическом процессе формирования ритмической структуры соревновательного упражнения могут существенно повысить эффективность учебно-тренировочного процесса метателей молота.

Цель исследования: определить биомеханические параметры повышения технического мастерства метателей молота.

Объект исследования: учебно-тренировочный и соревновательный процессы метателей молота.

Предмет исследования: пространственно-временная и ритмическая структура метания молота.

В соответствии с целью, объектом, предметом исследования поставлены следующие **задачи исследования:**

1. Определить биомеханические критерии рациональной организации пространственно-временной структуры соревновательного упражнения у метателей молота.

2. Разработать функциональные модели биомеханики движений высококвалифицированных спортсменов и выявить границы их применения.

Решение поставленных задач обеспечивалось комплексом общепринятых **методов исследований:**

1. Метод теоретического анализа и обобщения специальной научно-методической литературы.

2. Педагогическое наблюдение.

3. Видеосъемка исследуемых соревновательных упражнений.

4. Экспериментально-аналитический метод определения координат общего центра масс тела человека.

5. Биомеханические методы расчета кинематических и динамических характеристик упражнений.

Организация исследования. Исследования проводились в течение 2006–2010 гг. *Первый этап* исследования (2006–2007 гг.) включал в себя анализ существующей научно-методической литературы, а также выбор и разработку методов исследования, обобщение передового педагогического опыта тренеров.

На *втором этапе* исследования (2008–2009 гг.) проводилась видеосъемка метателей молота в финальных соревнованиях первенств и чемпионатов Республики Беларусь.

На *третьем этапе* исследования (2009–2010 гг.) проводились видеосъемки в лабораторных условиях в соответствии с требованиями, принятыми и регламентированными в биомеханических исследованиях. В эксперименте приняли участие 21 метатель молота. По материалам видеосъемки упражнений были рассчитаны кинематические и динамические характеристики, на основании которых был выполнен биомеханический анализ техники метания.

Метатели молота были разделены на две группы: высокой и средней технической подготовленности. В группу спортсменов высокой квалификации включены атлеты, имеющие спортивную квалификацию не ниже мастера спорта Республики Беларусь. Спортсмены более низкой технической подготовленности, имеющие разряд кандидата в мастера спорта и I спортивный разряд, были отнесены к группе средней квалификации.

Сравнительный биомеханический анализ техники метания молота спортсменами высокой и средней квалификации выполнялся по двум основным направлениям. В первом направлении наибольшее внимание было уделено выявлению:

- различий в биомеханических параметрах пространственно-временной организации структурных компонентов метания молота у спортсменов различной квалификации;

- корреляционной связи между дальностью полета молота и временными параметрами выполнения структурных элементов метания;

- достоверности различий по длительности выполнения структурных компонентов метания молота у спортсменов различной квалификации.

Во втором направлении рассматривались биомеханические и статистические параметры пространственно-временной структуры одноопорной, двухопорной фаз метания молота и ритмической организации структурных компонентов.

Результаты исследования

Биомеханика поворотов системы «молот – спортсмен». Анализ временных характеристик кинематических структур вращательного режима биомеханической системы «молот – спортсмен» после предварительного раскручивания молота и входа спортсмена в поворот выявил типичные закономерности, опреде-

ляющие биомеханику рациональной временной организации поворотов биомеханической системы «молот – спортсмен».

На рис. 1 приведены количественные данные продолжительности выполнения поворотов системы «молот – спортсмен», включающие как одноопорную, так и двухопорную фазы метания спортивного снаряда.

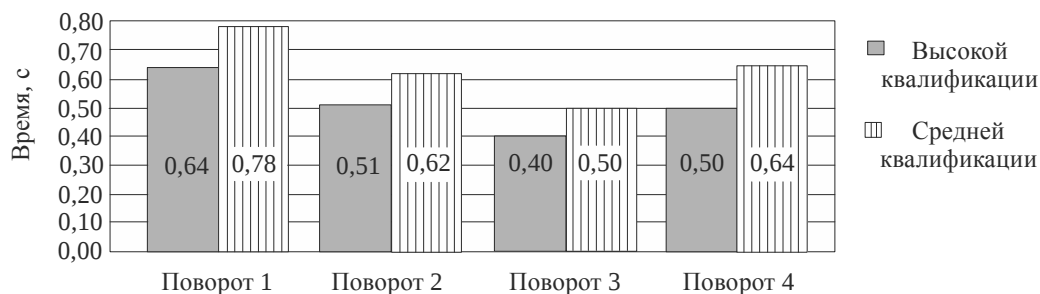


Рис. 1. Время выполнения поворотов системы «молот – спортсмен» у метателей высокой и средней квалификации

Формульное выражение, связывающее длительность (Y) выполнения поворота с его номером (x), в кинематических структурах вращательного типа «молот-спортсмен» у атлетов высокой квалификации имеет вид

$$Y = -0,0079x^3 + 0,0962x^2 - 0,3625x + 0,9117. \quad (1)$$

Аналогичной математической структурой определяется длительность выполнения поворотов у спортсменов средней квалификации:

$$Y = 0,0302x^3 - 0,1572x^2 + 0,097x + 0,8089. \quad (2)$$

Изменения среднего времени поворотов системы «молот – спортсмен» показано на рис. 2.

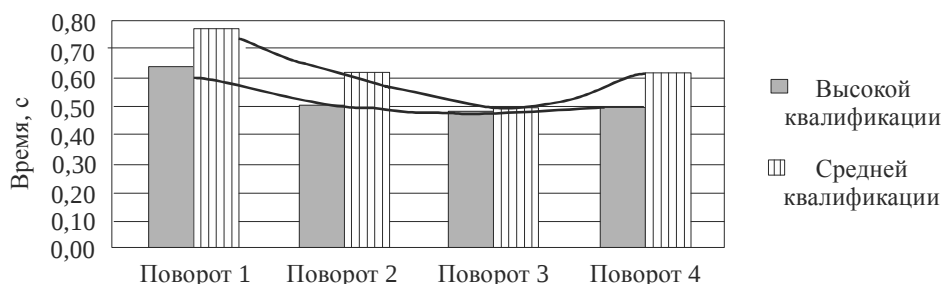


Рис. 2. Среднее время выполнения поворотов метателями молота высокой и средней квалификации

Длительность выполнения поворотов (см. рис. 2) и дальность полета молота в группе спортсменов высокой квалификации имеют слабую корреляционную связь, численные значения которой для каждого поворота соответственно равны: первый поворот – $r = 0,01$; второй поворот – $r = -0,42$; третий поворот – $r = -0,36$; 4-й поворот – $r = -0,07$.

В группе атлетов средней квалификации рассматриваемые показатели соответственно равны $-0,61$; $0,18$; $-0,08$; $-0,35$. Здесь только в первом повороте проявляется значимая обратная корреляционная связь между временем его выполнения и дальностью полета молота ($r = -0,61$). В остальных поворотах такой значимой связи нет. Отсюда следует логический вывод о том, что круговая скорость системы «молот – спортсмен» не оказывает сильного влияния на дальность полета молота, что противоречит законам механики. Следовательно, статистические параметры рассматриваемого со-

ревновательного упражнения в данном случае не являются надежными информативными показателями и не отражают объективно взаимосвязь между скоростью вращения молота и дальностью его полета.

Сравнивая фазы метания молота по длительности их выполнения между спортсменами высокой и средней квалификации, отметим, что они имеют статистически достоверные отличия в первом, втором и четвертом поворотах.

Так, в первом вращении биомеханической системы «молот – спортсмен» t -критерий Стьюдента равен $4,90$ ($P < 0,05$); во втором – $4,22$ ($P < 0,05$); в четвертом – $2,79$ ($P < 0,05$); в третьем – $1,11$ ($P > 0,05$). Следовательно, длительность выполнения только третьего поворота не имеет достоверных различий у спортсменов высокой и средней квалификации.

Отклонения от среднестатистического показателя времени выполнения поворотов у спортсменов высо-

кой квалификации можно представить в виде верхней (Y_{max}) и нижней (Y_{min}) границ коридора (рис. 3), представляющего диапазон отклонений, и описать уравнениями:

$$Y_{max} = 0,0355x^2 - 0,2252x + 0,9464, \quad (3)$$

$$Y_{min} = 0,0382x^2 - 0,2354x + 0,7106. \quad (4)$$

В рамках модельных характеристик длительности поворотов (рис. 3) возможны отклонения по времени их выполнения, не приводящие к серьезным искажениям техники метания и выступающие в качестве критериев рациональной организации временной структуры движений.

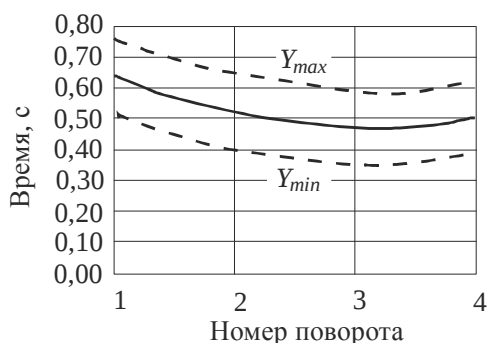


Рис. 3. Модельные характеристики длительности (—) поворотов у спортсменов высокой квалификации: верхняя (Y_{max}) и нижняя (Y_{min}) границы возможного отклонения от средних параметров

Сравнительный анализ свидетельствует о том, что спортсмены средней квалификации затрачивают больше времени на выполнение всех четырех поворотов (см. рис. 1). У спортсменов высокой квалификации суммарное время четырех поворотов составляет 2,13 с, у метателей молота средней квалификации – 2,51 с, или на 18% больше. Отметим нарастающий характер длительности двух фаз с первого по третий повороты и существенный спад в четвертом повороте (рис. 4).

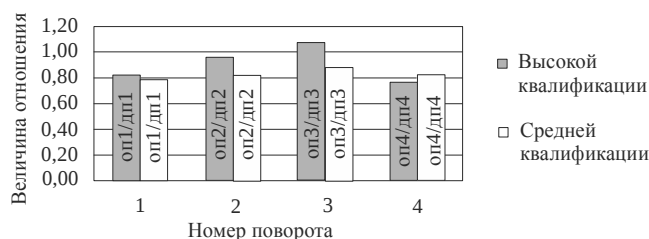


Рис. 4. Отношение длительности в различных поворотах одноопорной (оп1) и двухопорной (дп2) фаз метания молота у спортсменов высокой и средней квалификации

Для спортсменов средней квалификации характерно:

- неярко выраженное нарастание отношения длительности одноопорной фазы к двухопорной от первого к третьему повороту;
- отсутствие резкого спада в четвертом повороте.

Полученные данные свидетельствуют:

- о более размытой и неточной дифференцировке пространственно-временных соотношений у спортсменов, не достигших технического совершенства;

- о более акцентированной и активной работе в двухопорной фазе спортсменов высокой квалификации, направленной на повышение угловой скорости биомеханической системы «молот – спортсмен»;

- о большей продолжительности двухопорной фазы в заключительном повороте и финальном усилии у спортсменов высокой квалификации.

Отношение длительности одноопорной фазы к двухопорной фазе поворота (Y) у спортсменов высокой квалификации в математической форме имеет вид:

$$Y = -0,0683x^3 + 0,399x^2 - 0,5803x + 1,0742. \quad (5)$$

Отклонения от среднестатистического показателя отношения длительности одноопорной фазы к двухопорной фазе поворота у спортсменов высокой квалификации можно представить в виде верхней (Y_{max}) и нижней (Y_{min}) границ коридора. Диапазон отклонения для всех поворотов описывается уравнениями:

$$Y_{max} = -0,2275x^3 + 1,4466x^2 - 2,4357x + 2,4545, \quad (6)$$

$$Y_{min} = 0,091x^3 - 0,6486x^2 + 1,2751x - 0,3061. \quad (7)$$

В рамках модельных характеристик отношение длительности одноопорной фазы к двухопорной фазе поворота показано на рис. 5.

Для спортсменов средней квалификации характерным является более равномерное изменение отношения длительности одноопорной и двухопорной фаз поворотов в процессе метания молота.

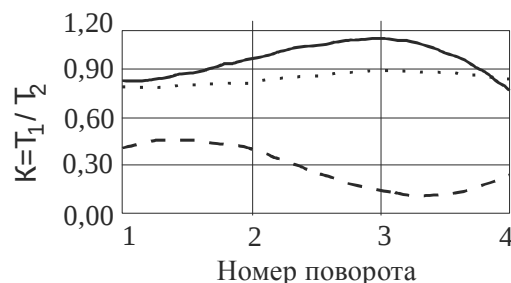


Рис. 5. Отношение длительности одноопорной и двухопорной фаз поворотов у спортсменов высокой (—) и средней (.....) квалификации и граница возможного отклонения (---) от средних параметров

По рассматриваемому биомеханическому показателю (рис. 5) спортсмены средней квалификации не выходят за границу технических погрешностей и ошибок и достаточно близки к атлетам высокой квалификации.

Скоростные параметры метания молота в сравнительном сопоставлении у спортсменов высокой и средней квалификации использовались при анализе трех биомеханических характеристик: угловой скорости, углового ускорения спортивного снаряда и горизонтальной составляющей линейной скорости общего центра масс (ОЦМ) спортсменов.

Начиная со второго структурного компонента метания молота происходит постепенный разрыв между угловой скоростью молота у спортсменов высокой и средней квалификации. К концу третьего поворота разница в угловой скорости молота достигает 2 рад/с, что

составляет около 15% от результатов спортсменов высокой квалификации. Таким образом, спортсмены средней квалификации выполняют метание молота по скоростным характеристикам на уровне 85% от результатов спортсменов высокой квалификации.

Для спортсменов высокой квалификации характерно наличие глобального максимума по угловому ускорению молота между первым и вторым поворотом метателя, который приближается к отметке 5 рад/с².

У спортсменов средней квалификации такого ярко выраженного глобального максимума углового ускорения молота нет. После завершения второго раскручивания и по окончании третьего поворота максимум углового ускорения молота имеет форму плато, значения которого варьируются в пределах 2,8–3,2 рад/с². Следовательно, по угловому ускорению молота спортсмены средней квалификации реализуют 60–70% от результатов, показанных атлетами высокой квалификации.

Если у спортсменов высокой квалификации с каждым последующим поворотом биомеханической системы «молот – спортсмен» отмечается возрастающий характер горизонтальной составляющей линейной скорости ОЦМ, то у атлетов средней квалификации на третьем повороте достигается максимум значения анализируемой биомеханической характеристики с последующим снижением к четвертому повороту.

Отмечаемые различия являются довольно существенными, так как в заключительной части четвертого поворота у спортсменов средней квалификации горизонтальная составляющая линейной скорости ОЦМ выходит за границы диапазона, в рамках которого техника метания молота считается эталонной для атлетов групп спортивного совершенствования.

Исследование кинематической структуры метания молота у спортсменов различной спортивной квалификации позволило сделать следующие **выводы** о биоме-

ханических закономерностях построения рациональной техники соревновательного упражнения:

1. Общая тенденция временной организации движений предварительного раскручивания и поворотов молота заключается в уменьшении времени выполнения каждого последующего структурного компонента метания.

2. С приближением к финальному усилию существенно уменьшается диапазон вариативности выполнения отдельных структурных компонентов метания молота по их длительности, и технический «сбой» на любом из них уже невозможно компенсировать в дальнейших поворотах.

3. Верхнюю и нижнюю границы воронки вариативности структурных компонентов длительности метания молота можно описывать математическими уравнениями, что позволяет определять оптимальные параметры длительности поворотов.

4. Выявлено, что выполнение технических действий метателя в границах воронки вариативности не ведет к техническому нарушению системы движений.

5. Функциональная модель временного ритма структурных компонентов вращательных движений биомеханической системы «молот – спортсмен» в математическом описании имеет вид полиномиальной зависимости.

6. С первого по третий поворот биомеханической системы «молот – спортсмен» отмечается нарастающий характер длительности отношения одноопорной фазы к двухопорной и существенный спад в четвертом повороте, что является характерным для спортсменов высокой квалификации.

7. Большая длительность выполнения поворотов биомеханической системы «молот – спортсмен» приводит к потере линейной скорости вылета молота. У спортсменов высокой квалификации суммарное время четырех поворотов составляет 2,13 с, у метателей молота средней квалификации – 2,51 с, или на 18% больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Масловский Е.А., Загrevский В.И. Управление технической подготовкой метателей молота на основе срочной информации о биомеханических характеристиках метания // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. Серія: педагогічні науки. 2012. Вип. 102, т. II: Фізичне виховання та спорт. С. 73–78.
2. Гаввердовский Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика. М.: Физкультура и спорт, 2007. 912 с.
3. Загrevский В.О. Компьютерная обработка материалов видеосъемки для анализа техники гимнастических упражнений // Вестник Томского государственного университета. 2011. № 351. С. 124–128.
4. Загrevский В.И., Шахдади А.Н., Эльхвари Ф.М. Методика определения общего центра масс плоской разветвленной многозвенной биомеханической системы // Актуальные проблемы физического воспитания, спорта и туризма: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., 9–10 октября 2008 г., г. Мозырь / редкол.: С.М. Блоцкий (отв. ред.) [и др.]. УО МГПУ им. И.П. Шамякина, 2008. С. 106–107.
5. Загrevский В.И., Загrevский В.О., Шилько В.Г. Влияние фазового состава биомеханических событий в спортивных упражнениях на структурный компонент двигательных действий // Теория и практика физической культуры. 2012. № 12. С. 33–37.
6. Загrevский В.И. Программирование обучающей деятельности спортсменов на основе имитационного моделирования движений человека на ЭВМ: автореф. дис. ... д-ра. пед. наук: 01.02.08, 13.00.04. М., 1994. 48 с.
7. Загrevский О.И. Построение техники гимнастических упражнений на основе математического моделирования на ЭВМ: автореф. дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.04. ТГПУ. Омск, 2000. 52 с.
8. Загrevский В.И., Масловский Е.А., Шахдади А.Н., Эльхвари Ф.М. Биомеханические основы совершенствования кинематической и динамической структуры ациклических упражнений прогрессирующей сложности // Вучонія запискі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А.С.Пушкіна: зб. навук. прац: у 2 ч. / заснавальнік – установа адукацыі «Брэст. Дзярж. у-нт імя А.С. Пушкіна». 2005. Брэст: БрДУ, 2008. 1 раз у год. ISBN 978-985-473-355-5. Т. 4, ч. 2. 2008. С. 162–168.

Статья представлена научной редакцией «Психология и педагогика» 14 января 2013 г.