

## КАЧЕСТВЕННЫЙ БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФИНАЛЬНОГО РАЗГОНА В МЕТАНИИ КОПЬЯ

*В статье, на основании системно-структурного подхода, проведен качественный анализ одного из видов перемещающих движений с разгоном спортивного снаряда. На основании системного рассмотрения особенностей взаимодействия основных биокинематических звеньев анализируемого двигательного действия, выдвинуто предположение об увеличении числа биомеханизмов, формирующих перемещающее движение снаряда в метании копья.*

**Ключевые слова:** биомеханический анализ, метание копья, финальный разгон, биомеханизм.

**Постановка проблемы. Анализ последних исследований и публикаций.** Между множеством элементов, объединенных в систему движений, имеются очень сложные закономерности взаимодействия и взаимосвязи и в этом аспекте профессиональная подготовленность как спортивного педагога, так и спортсмена во многом определяется уровнем их знаний о способе построения специализированного двигательного навыка. В любом виде спорта начальный этап процесса овладения двигательным действием характеризуется накоплением определенного объема знаний, позволяющих формировать рациональное представление о технике изучаемого соревновательного упражнения. Конструирование субъективного двигательного образа определенной системы движений, посредством которой решается специфическая двигательная задача, является необходимым условием начального формирования механизмов управления движениями [1]. С этой целью на основе системно-структурного подхода исследуются состав физического упражнения – из чего состоит действие, из каких элементов (состав системы движений), где выделяют пространственные и временные элементы, а также способы объединения элементов в целостную систему (структура системы движений). Донской Д.Д. отмечал, что именно структура системы движений определяет собой качество самой системы, от нее зависит возникновение новых свойств системы, а значит и возможности ее развития [2].

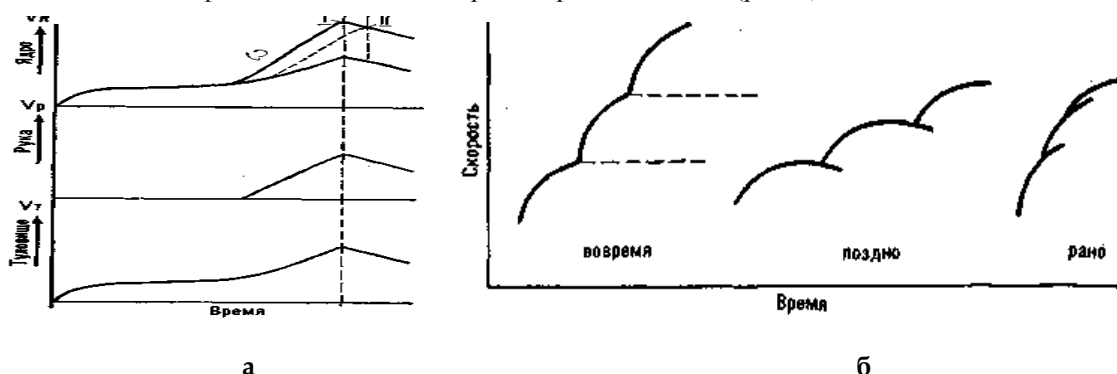
Однако системный анализ и синтез действий, в силу неоднозначной связи между нервным импульсом, силой тяги мышц и движением звена, не всегда позволяет определить причины целостности рассматриваемой системы, особенно если в ее конструировании участвуют практически все биокинематические цепи двигательного аппарата человека, а развертывание исследуемых процессов протекает в чрезвычайно короткие промежутки времени. Достаточно веским подтверждением неоднозначности оценки условий формирования полносвязного биомеханизма в различных видах движений является существование конкурентных подходов к реализации биодинамики бегового шага, отталкивания в прыжках, броска в метаниях [3, 4].

Основной акцент в настоящей работе сделан на исследовании построения движений с разгоном перемещающих тел. В различные годы в центре внимания специалистов находились трудовые ударные движения [5], удары в футболе [6], броски легкоатлетических снарядов [7,8], броски в гандболе [9]. В целом, благодаря развернутой системе поиска, использованию современных методов исследования и соответствующей интерпретации полученной информации, практическим и научным работникам удалось создать биомеханическую модель, достаточно аргументированно описывающую процесс разгона различных снарядов до максимально возможной скорости. Однако если конструкция общего представления о структурных особенностях формирования перемещающих движений уже не вызывает принципиальных разногласий среди специалистов, то структурные нюансы остаются предметом как оживленных теоретических дискуссий, так и продолжающегося научного поиска [10]. Подобная активность в направлении исследования как системообразующих, так и корректирующих связей позволяет значительно повысить качество управления двигательной системой соревновательного упражнения, создать оптимальную и целенаправленную систему подготовительных и подводящих тренирующих воздействий, обеспечить адекватными методическими установками.

**Задачи и методы исследования.** Объектом настоящего исследования были выбраны системные взаимодействия основных элементов сложной биокинематической цепи, реализующей финальный разгон снаряда в метании копья в двухопорном положении и осуществляющей целевую функцию достижения максимальной скорости вылета спортивного снаряда.

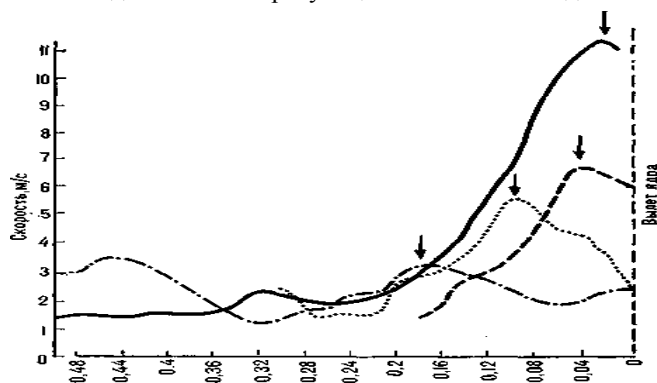
В основу системного синтеза интересующих нас двигательных структур были положены соревновательные броски копья белорусского метателя (МСМК, финалист ОИ в Пекине) дальностью 80,00 – 82,00м, а также бросок рекордсмена Мира Я.Железны в район 96,00м, отдельные позы которого были взяты для качественного сравнения особенностей построения важнейших элементов исследуемой фазы. Видеосъемка бросковых движений отечественного спортсмена проводилась фотокамерой "Casio EX-F1", позволявшей производить фиксацию данного процесса со скоростью 300 кадров в секунду. Обработка полученных данных производилась с помощью программного обеспечения Adobe Photoshop. Основным предметом исследования явились характеристические особенности торможения важнейших двигательных звеньев и суставных сочленений метателей копья. Технические возможности кадрового анализа рассматриваемого двигательного действия позволяли с большой точностью определять граничные моменты качественного изменения характера движения интересующих нас элементов конструкции.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Согласно результатам теоретических и экспериментальных исследований, существуют два способа взаимодействия звеньев тела, при которых скорость конечного звена максимальна. Реализация первого из них характеризуется такой организацией, при которой максимумы скоростей отдельных звеньев совпадают во времени. Построение второго предусматривает последовательный разгон звеньев снизу вверх, причем движение дистального звена должно начинаться на фоне максимальной скорости проксимального (рис. 1).



**Рис. 1. Варианты параллельного (по Marhold, 1964, а) и последовательного (по Dyson, 1968, б) разгона отдельных звеньев тела [11]**

Следует заметить, что убедительные экспериментальные данные были получены только в поддержку второго варианта динамики скорости основных звеньев тела при разгоне снаряда. Я.Е.Ланка и АН.А.Шалманов [11] с помощью стереофотосъемки подтвердили рациональность последовательного характера не только разгона, но и торможения звеньев тела снизу вверх (рис. 2). С этих позиций мы и будем рассматривать особенности взаимодействия интересующих нас элементов движения.



**Рис. 2. Скорость основных звеньев тела в фазе финального разгона:**

— — лучезапястный сустав правой руки; ---- — правый плечевой сустав;  
 ..... — правый тазобедренный сустав; - . - — правый коленный сустав. Стрелками отмечены максимумы скоростей [11]

Качественный анализ развертывания механизма последовательного разгона и торможения в рассматриваемых нами бросках показывает, что его формирование начинается с процесса фиксации левой стопы на опоре, который начинается с момента постановки пятки и заканчивается полным контактом подошвенной части стопы с поверхностью дорожки (рисунок 3 а и 3б, в).

Продолжительность этого очень важного элемента техники составляет в среднем около 0,023 – 0,026 с, причем прослеживается определенная обратная связь между дальностью броска и временем фиксации левой стопы на опоре. Заметно, что основными движителями реализации данного действия являются мышцы сгибатели левой стопы, активная работа которых за это время практически на 40° изменяет положение стопы относительно голени, а также инерция предварительного разгона метателя. В дальнейшем, уже за счет совместной работы в статическом режиме всех мышц данного сочленения, происходит удержание биомеханически целесообразного положения звеньев в голеностопном суставе левой ноги до момента выпуска снаряда. Техническое преимущество мирового рекордсмена в этой позе определяется отсутствием угла сгибания в коленном суставе левой ноги, а также оптимальным положением длинной оси снаряда относительно опоры.



**а - МСМК**

**б - МСМК**

**в - Я. Железны**

**Рис. 3. Фиксация левой стопы на опоре: а - постановка стопы; б, в - полный контакт стопы**

Пространственная геометрия левой ноги относительно поверхности дорожки, а также целевая установка на характер ее деятельности с момента образования материальной связи с опорой, создают условия для быстрой остановки левой стороны таза. В исследуемых бросках это происходит спустя 0,036 – 0,040с после полной фиксации левой стопы на опоре. В течение этого времени левая нога преодолевает огромные инерционные нагрузки, вызванные резким торможением системы метатель-снаряд. У мастера спорта международного класса, под влиянием этих факторов, визуально определяется ее определенное сгибание в коленном суставе и некоторое смещение вперед и левой стороны таза (рисунок 4, а). Поза рекордсмена Мира в этот момент более рациональна, поскольку устойчиво сохраняется первоначальный угол как в коленном, так и в голеностопном суставах.



**а - МСМК**

**б - МСМК**

**в - Я. Железны**

**Рис. 4. Формирование неподвижной левой оси метателя копья: а - остановка левого тазобедренного сустава; б, в - остановка левого плечевого сустава**

Фиксация левого плечевого сустава, а значит образование целостной, квазиустойчивой левой оси метателя копья происходит спустя 0,056 – 0,062с с момента возникновения полного контакта левой стопы с опорой. Это становится возможным в результате целенаправленного, с момента опускания пятки левой ноги на дорожку, разгибания и приведения согнутой левой руки к соответствующей стороне туловища, которое за это время незначительно сгибается и наклоняется влево (рис. 3 –а, рис. 4-б).

Как нам представляется, степень наклона туловища влево, то есть изменения фронтальной оси плеч относительно опоры, во многом определяется характером двигательной установки метателя копья на способ формирования его заключительного движения. Если финальный разгон конструируется на основе установки, выраженной в лаконичной форме как "Упор! Держать!", то левая ось устанавливается быстрее и качественнее, в результате чего туловище ориентировано более вертикально (рис. 5 – Я. Железны). Применение же установок типа "Сильнее! Длиннее!" в большей степени ориентирует метателя на активное использование силовых возможностей мышц туловища, что в результате приводит к его значительному сгибанию и наклону влево (рис. 5 – МСМК).

Подобная работа туловища приводит в дальнейшем к значительному изменению первоначальной траектории движения спортивного снаряда и возникновению достаточно значимых поперечных усилий, приводящих к серьезным нарушениям условий полета копья в воздушном потоке.

Следует обратить внимание еще на один очень важный элемент финального разгона, который достаточно часто тренерами, да и научными специалистами трактуется как основное управляющее движение, особенно в его одноопорной фазе. Речь идет о функции правой стопы в организации системы разгона снаряда. Моделирование различных условий работы голеностопного сустава опорной ноги в фазе отталкивания, то есть после прохождения ОЦМТ момента вертикали, позволяет сделать вывод о определенном влиянии последнего на характер движения метателя в одноопорном положении финального

разгона. Полная фиксация голеностопного сустава приводит к снижению максимального экстремума скорости ОЦМТ по отношению к реальному движению на 2,1%, в то время как все остальные варианты моделей демонстрируют разнонаправленность изменения этого показателя. Последовательное модельное увеличение на 5 и 10% скорости сгибания в суставе не обнаруживает позитивного влияния на максимальное значение скорости движения ОЦМТ и даже приводит к ее потерям на заключительном участке – соответственно на 3,4 и 4,4%. Модели с обратной направленностью изменений реального режима работы голеностопного сустава незначительно увеличивают максимальные значения скорости движения и характеризуются минимальными ее приростами в конце периода – на 1,7 и 1,2% [12]. В методическом же плане жесткая фиксация правой стопы приводит к схеме ее работы, характерной для стиля метания МСМК. В процессе всего финального разгона (рис. 3-а, 4-а, 5-а) мы наблюдаем практически вертикальное положение этого звена относительно опоры, которое характеризуется минимальной площадью контакта с поверхностью дорожки. В отличие от белорусского метателя, Я.Железны стремиться максимально быстро увеличить площадь опорного контакта правой стопы, что невозможно при двигательной установке на ее активное сгибание в момент вертикали или жесткое удержание начального угла. Здесь, по нашему мнению, присутствует режим своеобразной активной уступающей работы данного сочленения, позволяющий минимизировать вертикальные перемещения общего центра масс метателя и быстро положить тыльную сторону стопы на опору. Данное движение позволяет в оптимальные сроки организовать замкнутую биомеханическую цепь " правая стопа – таз – левая стопа", вызывающую быструю остановку таза спортсмена и, что не менее важно, эффективно удерживать данную конструкцию в течение всего финального разгона.



а -Я. Железны



б



в



а -МСМК



б



в

**Рис. 5. Формирование движений плечевого пояса и руки**

Наиболее открытым остается вопрос характера взаимодействия двигательных звеньев, составляющих дистальную часть биокинематической цепи соревновательного упражнения метателя копья. Если в организации замкнутой системы " левая нога – таз – правая нога" и открытой " левая стопа – левое плечо" прослеживается целевая установка на последовательное торможение движущихся звеньев, то координация работы основных элементов цепи " левое плечо – правая кисть" видимых доказательств продолжения функционирования подобного механизма не представляет. Визуальный анализ заключительных движений метателя копья показывает, что в процессе реализации "рывкового" движения, временная протяженность которого составляет в среднем 0,055 – 0,060с, не наблюдается ярко выраженного стремления последовательно затормозить движущиеся звенья (рис. 5). Граничные позы метателя объективно свидетельствуют о значительном горизонтальном перемещении плечевого и локтевого суставов правой руки в течение всего активного разгона спортивного снаряда. С момента фиксации левого плечевого сустава, движение рассматриваемой биокинематической цепи выглядит как вращение вокруг закрепленной опоры, в котором радиус кривой разгона постепенно увеличивается, причем особенно значительно после позы "б", изображенной на рисунке 5. Возможно, что здесь прослеживается определенная аналогия с временной организацией движения звеньев тела в питчеровском броске, где последовательный разгон по механизму



"хлеста", то есть с торможением, имеет место только в движениях таза и плеча, а рука при этом вращается относительно плечевого сустава как единое целое, напоминая движение маятника с увеличивающимся радиусом вращения [10].

**Выводы.** Таким образом, исследование особенностей биомеханизмов организации перемещающих действий свидетельствует о том, что большинство исследователей признают основным механизмом сообщения максимальной скорости рабочему звену тела или спортивному снаряду так называемый механизм "хлеста". Однако, как показывает анализ научно-методической литературы и результаты собственных исследований, этот биомеханизм, возможно, не является единственным и его действие необходимо рассматривать в сочетании с другими известными биомеханизмами. Например, таких как разгибания ног (ноги) и реверсивного движения плечевого пояса и рук. Кроме этого в реализации биомеханизма хлеста также уже выделены два варианта формирования этой конструкции. Первый из них соответствует традиционному для бросков и метаний последовательному разгону и торможению звеньев тела от проксимальных к дистальным. Во втором варианте максимальные скорости локтевого сустава и центра масс кисти бьющей руки совпадают во времени появления и близки по величине [13].

Все это требует проведения дополнительных исследований, а также определенной реконструкции методической составляющей данного процесса.

#### **Использованные источники**

1. Руденик, В.В. Теоретико-методические основы обучения двигательным действиям: монография / В.В.Руденик. – Гродно: ГрГУ, 2007. – 275 с.
2. Донской, Д.Д. Биомеханика: Уч-ник для ин-тов физ. культ. / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
3. Назаров, В.Т. Движения спортсмена / В.Т.Назаров. – Мн.: Полымя, 1984. – 134 с.
4. Сотский, Н.Б. Биомеханика: Уч. пособие / Н.Б. Сотский. – Мн.: АФК, 2002. – 214 с.
5. Бернштейн, Н.А. Физиология движений и активность / Н.А. Бернштейн; под ред. О.Г. Гозенко. – М.: Наука, 1990. – 494 с.
6. Чхаидзе, Л.В. Об управлении движениями человека / Л.В.Чхаидзе. –М.: Физкультура и спорт, 1970. – 136 с.
7. Матвеев, Е.Н. Экспериментальное обоснование применения специальных упражнений для развития скоростно-силовых качеств у метателей копья: автореф. дис. ... канд. пед. наук / Е.Н. Матвеев. – М., 1967. – 21 с.
8. Козлов, В.В. Экспериментальное исследование метания копья в связи с совершенствованием динамики финального усилия : автореф. дис. . канд. пед. наук / Козлов В.В. – М., 1972. – 19 с.
9. Котов, Ю.Н. Контроль эффективности техники броска в прыжке гандболисток разной квалификации: автореф. дис. ... канд. пед. наук / Ю.Н. Котов. – М., 2009. – 24 с.
10. Юзвенко, Г.В. Структура перемещающих действий и оценка их эффективности (На примере софтбола) : автореф. дис. ... канд. пед. наук / Г.В.Юзвенко. – М., 2010. – 22 с.
11. Ланка, Я.Е. Биомеханика толкания ядра / Я.Е. Ланка, Ан.А. Шалманов. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 72 с.
12. Позюбанов, Э.П. Моделирование подготовительной фазы финального разгона в метании копья / Э.П. Позюбанов, Н.Б. Сотский // Ученые записки : сб. рец. науч. тр. / редкол.: М.Е.Кобринский (гл. ред.) [и др.]; Белорус. гос. ун-т физ. культуры. – Минск : БГУФК, 2011. – Вып.14. – С. 167 – 176.
13. Вагин, А.Ю. Биомеханические критерии рациональности и эффективность техники ударных действий в карате: автореф. дис. ... канд. пед. наук / А.Ю.Вагин. – М., 2009. – 23 с.

*Pozyubanov E.P., Sotsky N.B., Polubok V.S., Shakhjadi A.N.*

#### **QUALITATIVE BIOMECHANICAL ANALYSIS OF JAVELIN ACCELERATION FINAL PHASE IN JAVELIN THROWING**

*The authors of the article present the results of the qualitative analysis of one of the moving movements accelerating the sporting appliance (javelin). On the basis of the systematically-structural approach they studied the interaction of principal biomechanical elements of the analyzed moving action and put forward the supposition that the number of biomechanisms forming the moving movement of javelin in javelin throwing increases.*

**Key words:** *biomechanical analysis, javelin throwing, final acceleration, biomechanism.*

*Стаття надійшла до редакції 18.09.2013 р.*

