

4577.118
E 741

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ
ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

ЕРМОЛАЕВ Борис Валерьевич

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ МЕТАНИЯ КОПЬЯ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

01.02.08 - Биомеханика

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата педагогических наук

Москва - 1991

4517:718
E 741

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском институте "Спорт"

Научный руководитель: кандидат педагогических наук,
старший научный сотрудник
Г.И.Попов

Официальные оппоненты: доктор биологических наук,
профессор В.К.Бальсевич
кандидат педагогических наук,
старший научный сотрудник
А.В.Воронов

Ведущая организация - Государственный дважды орденосный институт физической культуры им. П.Ф.Лесгафта

Защита диссертации состоится "14" 1 1991 г.
в 10 часов. на заседании специализированного Совета

Д 046.01.01 в Государственном центральном ордена Ленина институте физической культуры, Москва, Сиреневый бульвар, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного центрального ордена Ленина института физической культуры.

Автореферат разослан "2" 12 1991 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета
доцент

А.А.Шалманов

БИБЛИОТЕКА
Лесгафта и др.
института физической культуры

4/1882

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Анализ действий спортсменов с точки зрения их результативности показывает, что срывы и неудачи на уровне высших достижений являются прямым следствием технических ошибок, имеющих различное происхождение. Поэтому в большинстве видов спорта, и особенно в сложнокоординационных, одним из важнейших факторов достижения высоких и устойчивых спортивных результатов является высокоразвитое техническое мастерство. Создание новых представлений о биомеханической структуре спортивных движений, их эффективности и обосновании средств и методов реализации этой структуры является одной из центральных проблем современной теории и практики спорта.

Проблеме технической подготовки спортсменов посвящен ряд крупных работ ведущих специалистов (В.М.Дьячков с соавт., 1972, 1976, 1980; Д.Д.Донской, 1970, 1979; И.П.Ратов, 1972, 1980, 1984; В.М.Защиторский, 1979, 1986; В.Т.Назаров, 1974; Ю.В.Верхожанский, 1977, 1986; Н.Г.Озолин, 1970, 1986, 1988; Ю.К.Гаверловский, 1986 и др.). Особенно актуальна она в связи с возросшим интересом к изучению "колебательного контура" человека, волновых процессов построения его движения (Ф.К.Агашин, 1977; Г.И.Попов, 1985, 1987; И.К.Разумов, 1985 и др.). Близки к такой постановке работы, связанные с изучением механизмов повышения эффективности двигательных действий, обусловленных рекуперацией энергии механического движения, касающиеся обмена потоков энергии между звеньями при различных движениях (D.A. Winter, 1976; J. Garhammer, 1982; Н.А.Якунин, 1984), использования энергии упругой деформации мышц (G.A. Cavagna, 1970; А.С.Аруин с соавт., 1977; В.М.Защиторский, 1986; Б.И.Прилуцкий, 1990), возможности запасать энергию в одни фазы движения и реализовывать в другие (S. Bosco с соавт., 1976,

1983; Carrozzo с соавт., 1978; И.П.Рытов, 1984).

Во многом подобные закономерности выявляются с помощью математического моделирования, результаты которого при соответствующей методической интерпретации могут применяться в процессе подготовки спортсменов.

Однако существующие в настоящее время математические модели тела человека, используемые в биомеханике, — системы с сосредоточенными параметрами (модель O. Fischer, W. Dempster, H. Hanavan) — не учитывают ряд эффектов и свойств, возникающих при движении биомеханической системы. Таким образом, имеется потребность в более адекватном описании тела спортсмена с позиции систем с распределенными параметрами. Теоретическое и практическое обоснование процессов, возникающих при спортивных движениях человека, является предпосылкой для разработки новых средств и методов воздействия на спортсмена.

Цель работы состоит в совершенствовании технического мастерства спортсменов на основе выявления, моделирования и усиления процессов энергопередачи в финальной фазе метания копья.

Гипотеза. Исследование колебательно-волновой природы спортивных движений человека и процессов энергопередачи — на примере метания копья — позволит определить для каждого метателя рациональность его двигательных действий и обосновать эффективность выбора тренировочных средств, позволяющих достичь оптимальной структуры технических действий и максимально возможного результата.

Научная новизна результатов, полученных в работе, состоит в том, что в диссертации предложена методика биомеханического исследования многозвенной системы тела спортсмена, основанная на моделировании системы с распределенными параметрами. Развита модель позволяет исследовать колебательно-волновой процесс

в замкнутой форме, т.е. в рамках прямой и обратной задач механики. Осуществлен подход к рационализации структуры двигательных действий, основанный на оптимизации процессов обмена энергии механического движения между звеньями тела метателя.

В работе применен метод "скользящего" спектрального анализа для оценки экспериментальных данных по биомеханической структуре движения. Предложены интегративные характеристики рациональности целостной структуры метания на основе волновых параметров движения.

Практическая значимость результатов определяется следующим: разработана методика оценки рациональности технических действий метателя копья на основе количественного анализа координационных перестроек структуры движения; на количественном уровне определена направленность воздействия используемых в настоящее время тренировочных средств метателей копья на процессы совершенствования технического мастерства спортсменов. Это позволяет находить наилучшее сочетание указанных средств в тренировках различной направленности. Обоснованы, оценены расчетным путем величины необходимых физических параметров, и апробировано в условиях реальных тренировок новое техническое средство подготовки метателей— упругие рекуператоры энергии.

Апробация работы. Результаты исследования, опубликованные в пяти работах, представлены на: семинаре по биомеханике и математическому моделированию ВНИИФК (Москва, 1989); 12 международном конгрессе по биомеханике (Лос-Анджелес, 1989); 6 всесоюзной конференции "Биомеханика спорта" (Чернигов, 1989); 8 международном симпозиуме по биомеханике спорта (Прага, 1990); семинаре механико-математического факультета МГУ "Управление в механических системах" (Москва, 1990); семинаре по биомеханике

проблемной лаборатории ГИИЛЖК (Москва, 1991).

Практическая ценность диссертации подтверждается актом внедрения результатов исследования в практику учебно-тренировочной работы сборной команды СССР по легкой атлетике.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, шести глав, выводов, списка литературы и приложений.

Диссертация изложена на 194 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунка, 2 таблицы, список литературы – 210 источников (138 на русском и 72 на иностранных языках).

На защиту выносятся:

- положение о колебательно-волновом характере движения многозвенных биомеханических систем в конкретном спортивном упражнении – метании копья;
- методика механико-математического моделирования движения многозвенных биомеханических систем с распределенными параметрами;
- модельная и экспериментальная оценка направленности действия существующих и новых (упругие рекуператоры энергии) тренировочных средств для повышения результативности действий метателей.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В соответствии с целью нашего исследования в работе решались следующие задачи:

1. Обосновать колебательно-волновой характер движения многозвенной биомеханической системы тела человека в метании копья и определить его основные параметры.

2. Разработать методику механико-математического моделирования движения многозвенной биомеханической системы с распределенными параметрами.

3. Исследовать возможность координационных перестроек структуры метания копья с позиции усиления волнового характера движения на основе моделирования.

4. Модельно и экспериментально оценить направленность существующих и новых (упругие рекуператоры энергии) тренировочных средств для повышения результативности метания копья.

Для решения поставленных задач в работе использовались следующие методы исследования: анализ научно-методической литературы, педагогическое тестирование, математическое моделирование, методы математической статистики, эксперимент с использованием инструментальной методики биомеханической кинематографии. Скоростная киносъемка осуществлялась кинокамерой "Actionmaster-500" с частотой 100 кадров в секунду. Обработка данных проводилась на анализаторе фильмов "Nac Sportias". Точность определения временных параметров $\pm 0,01$ с, перемещений - 1,5%, скоростей - 3%. Моделирование и экспериментальное определение колебательно-волновых процессов проводилось на материале одиннадцати попыток метателей экстра-класса, имеющих личные достижения в метании непланируемых копий свыше 82 метров. Съемки проводились на матче СССР-ГДР в 1986 г. в Таллине и на мемориале братьев Знаменских в Москве в 1987 г. Метатели использовали копья нового образца типа "Sandvic Champion N" и "Diana Nordvic Sport". Анализировалась заключительная фаза метания, начиная с момента прихода на правую ногу, вплоть до момента выпуска снаряда метателем.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВКЛАДОВ В

ДВИЖЕНИЕ КОПЬМЕТАТЕЛЯ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ КОЛЕБАНИЙ

Анализ техники метания копья высококвалифицированных спортсменов показал ярко проявляющуюся последовательность акцентиро-

ванного участия звеньев в формировании целостного упражнения. Фиксировались моменты достижения максимумов скоростей на каждом узле. На основе этого строилась временная последовательность движения волнового фронта по телу метателя. Зная расстояния между суставами или центрами масс звеньев тела, нами рассчитывалась скорость продвижения этих экстремумов вдоль тела. Тем самым установлено, что наряду с движением тела метателя в абсолютной системе координат существует и относительное движение вдоль тела за счет несинфазности включения звеньев в работу.

Это иллюстрируется результатом спектрального анализа временных рядов, ассоциированных с каждым узлом кинематической цепи метателя. При этом анализ Фурье понимаем в смысле выделения полосы энергетического спектра, его амплитуды, перераспределения энергобаланса по узлам кинематической цепи спортсмена (вдоль временной оси).

Интерес представляет исследование "селектированного" движения — относительного движения узлов цепи метателя (относительно общего центра масс), т.е. лишенного поступательного фона. В каждой экспериментальной попытке анализ показал характерное распределение спектральной плотности по узлам кинематической цепи: плавное расширение полосы спектра от стопы к кисти с копьём. При этом, если на стопе вся мощность спектра сосредоточивалась на полосе от 0 до 1,5 Гц, то по мере продвижения по кинематической цепи к копьё происходит "перекачка" энергии вверх по спектру, достигая на копьё увеличения полосы спектра до 12 Гц. Такая картина перераспределения энергобаланса усиливается в лучших попытках. Особенно наглядно волновое движение тела метателя проявляется при "скользящем спектральном" анализе временных рядов, определяющем ритм энергетического обеспечения движения.

Экспериментальные данные показывают, что за счет разбега спортсмен разгоняет копьё до скоростей порядка 5-10 м/с, в то время как скорость вылета снаряда - 28-32 м/с. Следовательно, в финальной фазе метания создаются основные энергетические предпосылки для разгона копьё. Мы видим, что это обеспечивается за счет волновой передачи энергии по звеньям тела по направлению от опоры к копьё. При подходе к кисти с копьём скорость волнового фронта достигает 20-25 м/с.

Приведенные экспериментальные факты указывают на необходимость исследования именно относительного движения вдоль тела. Для этого было проведено математическое моделирование финальной фазы метания копьё на модели вынужденных поперечных колебаний одномерной стержневой системы.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕЛА КОПЬЕМАТЕЛЯ

Механическая модель кинематической цепи тела человека представляет собой одномерную стержневую систему. Параметры каждого звена стержневой системы (масса, момент инерции поперечного сечения стержня относительно оси, перпендикулярной к плоскости колебаний, модуль упругости) соответствуют параметрам тела человека. Звенья соединены цилиндрическими шарнирами. Движение системы происходит в сагиттальной плоскости (плоскости колебаний).

В качестве математической модели процесса рассматривалось уравнение вынужденных поперечных колебаний одномерной стержневой системы с распределенными параметрами массы и изгибной жесткости.

Ограничимся моделированием сосредоточенных включений в распределенные параметры массы и изгибной жесткости стержня, имитирующей шарниры с упругими связями. Сосредоточенные включения

вводятся в аналитическое выражение распределенных параметров при помощи импульсивных функций первого и более высокого порядков, т.е. дельта-функции Дирака и ее производных. Для моделирования процесса использовали теорию обобщенных функций Шварца-Соболева.

Уравнение, описывающее поперечные колебания одномерной стержневой системы (при условии отсутствия продольных сил) имеет вид:

$$\left(1 + \chi \frac{\partial}{\partial t}\right) \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[E J(x) \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} \right] + m(x) \left[\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial t^2} + \zeta \frac{\partial U(x,t)}{\partial t} \right] = Q(x,t)$$

где $U(x,t)$ — уравнение упругой линии стержневой системы;
 $m(x), EJ(x)$ — обобщенные функции, представляющие собой распределенные свойства и сосредоточенные включения в плотность стержня и жесткость на изгиб (E — модуль упругости, J — момент инерции поперечного сечения стержня относительно оси, перпендикулярной к плоскости колебаний);

$Q(x,t)$ — возмущающая внешняя сила (мышечные моменты);

$$0 \leq x \leq L, \quad t \in [t_0, t_1]$$

Оно представляется в наиболее общей форме, т.е. при учете внутренних сил трения, пропорциональных скорости изменения упругой восстанавливающей силы (внутреннее вязкое сопротивление по Фойхту) и внешних сил сопротивления, пропорциональных скорости поперечного перемещения точек стержневой системы.

$$\zeta = \text{const}, \quad \zeta m(x) \frac{\partial U(x,t)}{\partial t} \quad \begin{array}{l} \text{— интенсивность сил} \\ \text{внешнего сопротивления;} \end{array}$$

$x = \text{const}$, $x \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} (EJ(x) \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2}) \right]$ - интенсивность сил
внутреннего трения

Граничные условия на концах стержневой системы:

$$\frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} \Big|_{x=0} = 0; \quad \frac{\partial^3 U(x,t)}{\partial x^3} \Big|_{x=0} = 0 \quad - \text{свободный конец};$$

$$U(x,t) \Big|_{x=L} = 0; \quad \frac{\partial^2 U(x,t)}{\partial x^2} \Big|_{x=L} = 0 \quad - \text{конец шарнирно оперт.}$$

Для ограниченных систем традиционно применяется колебательная трактовка решения уравнения - метод Бернулли. При этом любое движение рассматривается как сумма собственных колебаний системы. Фундаментальные функции строятся с учетом их ортогональности с весом $m(x)$.

Свойство ортогональности позволяет использовать формы собственных колебаний в качестве ядра интегрального преобразования и получать решение для неустановившихся режимов колебаний (нестационарная задача) в форме ряда по собственным функциям системы. Ортогональность, с физической точки зрения, есть следствие принципа суперпозиции и закона сохранения энергии.

После разделения переменных уравнение в частных производных превратилось в систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Используя слайд - преобразование аргумента, приводим уравнение к дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами и сингулярной правой частью. Решение найдем с помощью операционного метода, используя изображающие функции по Карсону-Хевисайду. Промежуточные параметры, содержащиеся в решении уравнения, исключаются в общем виде при помощи некоторых реку-

рентных соотношений. Решение в конечном счете выразится только через начальные параметры и некоторые функции влияния, названные обобщенными функциями Крылова. Не представляет труда решить краевую задачу. Решение прямой задачи механики находим через начальные условия и известные величины с помощью интеграла Дюамеля:

$$T_{\kappa}(t) = (T_{\kappa_0} \cos(\psi_{\kappa} t) + \frac{\dot{T}_{\kappa_0} + H_{\kappa} T_{\kappa_0}}{\psi_{\kappa}} \times \\ \times \sin(\psi_{\kappa} t)) e^{-H_{\kappa} t} + \\ + \frac{1}{\psi_{\kappa}} \int_0^t a_{\kappa}(\tau) e^{-H_{\kappa}(t-\tau)} \sin(\psi_{\kappa}(t-\tau)) d\tau$$

где $\psi_{\kappa} = \sqrt{\nu_{\kappa}^2 - H_{\kappa}^2}$; $T_{\kappa_0} = T_{\kappa}(0)$; $\dot{T}_{\kappa_0} = \dot{T}_{\kappa}(0)$ - начальные условия; $H_{\kappa} = \frac{\tau + \tau' \cdot \nu_{\kappa}^2}{2}$, ν_{κ} - собственная частота κ -ой формы колебаний.

Применение метода обобщенных функций позволяет найти аналитическое решение полученного сингулярного уравнения в частных производных. Особый практический интерес представляет возможность решения уравнения в замкнутой форме, т.е. в рамках прямой и обратной задач механики, что существенно повышает возможности применения такой модели.

В качестве меры энергобаланса системы примем интенсивность колебательно-волнового процесса (Г.И. Попов, 1987, 1989), т.е. поток энергии, переносимой поперечной волной от звена к звену. Расчеты по модели проводились для движения верхней (относительно таза) части тела, соответственно задавались и исходные дан-

ные для уравнения.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Подсчитаны пять первых собственных частот моделируемой кинематической цепи: 1,98, 6,86, 11,91, 19,37, 44,32 Гц, а также соответствующие им формы колебаний системы. Вводя в задачу в качестве исходных условий экспериментальные данные, решались прямая и обратная задачи динамики, "раскладывая" движение по собственным формам. Считалось распределение мышечных моментов в сочленениях системы, другие динамические характеристики моделируемого процесса. Целевой функцией исследуемого процесса бралась скорость кисти с копьём метателя в момент выпуска снаряда.

Решая обратную задачу механики, мы исследовали характер перераспределения энергии между различными собственными формами. При этом основной вклад в целевую функцию (62%) вносит первая собственная форма колебаний. Меньшие вклады создают вторая и особенно третья собственные формы, но именно они наиболее подвижны при моделировании и определяют конечный результат целостного движения при изменении условий и параметров задачи. Представляется, что моделируемый колебательный процесс происходит на первых трех собственных частотах, остальные формы описывают случайную часть детерминированного процесса, а также генерируемые паразитные колебания.

В рамках предложенной модели исследовалось два типа движений, основанных на:

1. Вводе дополнительных рекуператоров, повышающих жесткость выбранных узлов тела метателя. "Рекуперированный" тип движения.
2. Моделировании дополнительной массы в центре тяжести кисти. "Инерционный" тип движения.

Указанные типы движений отражают энергетические эффекты при-

менения ряда тренировочных средств, используемых при подготовке метателей. Так, для конкретных параметров модели первый тип движения обеспечивает прирост целевой функции на 3,4%, а второй тип снижает на 25%. При этом вес высокочастотных составляющих (второй и третьей собственных форм) в целевой функции будет 40% и 27% соответственно в первом и втором типах движений. То есть основу для всех типов движения составляет низкочастотное движение кинематической цепи, а изменяется высокочастотная часть. Подобная картина наблюдалась и в распределении потока энергии, переносимой волной. Подсчитывая вклад первых трех форм колебаний в поток энергии на кисти, получаем 70% от полной кинетической энергии, достигаемой кистью с копьём, причем 12% из них приходится на долю высокочастотных составляющих (вторая и третья формы колебаний). У "рекуперированного" и "инерционного" типа движений эти показатели будут соответственно 70% (14% высокочастотных составляющих) и 72,5% (6%).

Таким образом, "рекуперированный" тип движения характеризуется только увеличением доли высокочастотных составляющих движения. Доля вклада перенесенной энергии в общую кинетическую энергию движения копьё при вылете составляет по экспериментальным данным для одиннадцати исследованных попыток от 63 до 75%. Это находится в достаточно хорошем соответствии с приведенной выше теоретической оценкой. Подобные оценки для броска гандбольного мяча (H. J. Joris с соавт., 1985) дают вклад перенесенной энергии порядка 80-88%. Отсюда ясно, почему в финальной фазе метания копьё удается резко увеличить скорость вылета копьё. Это происходит за счет волнового переноса энергии, которая черпается из биохимических источников мышц тела, последовательно (в соответствии с распространением волнового фронта) осуществляя

свои вклады в общее энергообеспечение метания в финальной фазе.

Теоретическое решение позволяет давать оценки рациональности структуры движений копьеметателя по энергетическим критериям. Если существуют координационные нарушения в структуре движений копьеметателя, асинхронность включения мышц в работу, это прежде всего отразится в потере, по нашим данным, энергетического вклада в общий поток энергии, а по данным других авторов (А.В.Зинковский с соавт., 1981), в нарушении распределения времен достижения экстремумов управляющих моментов звеньев кинематической цепи тела человека. Но именно эти моменты отвечают за дополнительный энергетический вклад в движение. Следовательно, построение оптимальной структуры движения спортсмена осуществляется за счет синхронизации включения "источников" энергии. Ошибки в движении проявляются в появлении "стока" энергии.

КООРДИНАЦИОННЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ СТРУКТУРЫ ДВИЖЕНИЙ КОПЬЕМЕТАТЕЛЯ

В рамках прямой задачи механики, т.е. когда по действующим силам восстанавливается движение системы, исследовалось насколько волновые процессы в конкретном исполнении оптимальны по критерию скорости вылета копья и, какие факторы позволяют максимизировать данный критерий.

В качестве базового движения бралась реальная попытка метания копья. Проводилось поочередное и совместное изменение местоположения максимумов мышечных управляющих сил во времени на туловище и плече. Показано распределение скоростей вылета копья и нахождение их локальных максимумов при раздельном изменении для указанных звеньев моментов приложения мышечных сил относительно (со сдвигом на ΔT) базового движения, которое соответ-

ствует нулевому положению на временной осн. Приведены результаты моделирования совместного изменения в своих временных диапазонах моментов приложения максимумов управляющих сил на туловище и плече и нахождения на этой основе глобального максимума скорости вылета копья. Результаты моделирования показали, что конкретное базовое волновое движение не является оптимальным. Если представить множество расчетных значений скорости вылета копья в трехмерном ортонормированном базисе, то оно образует поверхность с глобальным максимумом. Отсюда упорядочивание структуры движений многозвенной системы тела метателя происходит через снижение вариативности моментов приложения мязечных сил, поскольку по мере приближения к глобальному максимуму периметр изотопов уменьшается. Тем самым более совершенное движение характеризуется более монотонным изменением во времени скорости движения волнового фронта вдоль тела спортсмена. Соответствующие изменения величины потока энергии при варьировании моментов времени также имеют выраженный глобальный максимум, совпадающий с глобальным максимумом скорости вылета копья. Изоэнергетическая линия с нулевым изменением потока соответствует базовому движению, у которого величина перенесенной к копью кинетической энергии составляет в данном случае 279 джоулей.

Приведенные факты и модельные оценки дают биомеханическое обоснование выводу о том, что по мере совершенствования движения изменение вариативности в двигательных действиях имеет форму "воронки", которая сужается по мере роста спортивного результата (А.А.Новиков, 1980; Н.Г.Сучилин, 1989).

С помощью развитой нами модели можно построить для спортсмена-метателя индивидуальный технический рисунок движения, который позволяет при данных его физических кондициях добиваться

максимальной реализации двигательных возможностей через технические действия. Если при этом условия вылета копьа будут соответствовать расчетным данным (например, J. Terauds, 1985), то спортсмен может достигнуть максимального для него спортивного результата.

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИКИ МЕТАНИЯ КОПЬА

На основании решения прямой задачи механики можно для конкретного спортсмена рассчитать наилучшую для него координационную структуру двигательных действий, позволяющую при имеющемся уровне скоростно-силовой подготовки добиться максимального спортивного результата.

2881/1
Координационные перестройки в технике метания копьа при совершенствовании выполнения упражнения характеризуются уменьшением вариативности двигательных действий, так что максимальная результативность жестко детерминирована конкретными фазовыми соотношениями между акцентированным включением в работу различных звеньев.

При решении задач формирования движения метателя копьа необходимо осуществить координационные перестройки в структуре технических действий. Когда за счет этого будет создана структурная основа движения, то наступает период совершенствования движения. В этом случае решается задача увеличения потока энергии от опорных звеньев к копьу. Следовательно, должен быть обеспечен рост угловых скоростей движения в рамках наработанного временного рисунка подключения звеньев в результирующее движение. Это обеспечивается за счет улучшения сократительных способностей мышц, через подбор специальных тренировочных упражнений скоростно-силовой направленности. Мы предлагаем решать задачу

через использование тренировочных приспособлений - упругих рекуператоров энергии (УРЭ) (И.П.Ратов, Г.И.Попов, 1987; М.Ф.Ерлин с соавт., 1989), которые прежде всего повышают скорость относительного движения звеньев.

В связи с этим в эксперименте проверена возможность изменения волновых параметров и результативности метания копья при изменении жесткости в соединениях звеньев, что соответствует "рекуперлируемому" типу движений за счет применения УРЭ. Результаты применения УРЭ показали, что происходит перераспределение мышечной активности, позволяющее более рационально выполнять упражнение. Биомеханическая киносъемка и расчеты показали, что введение УРЭ в одно из сочленений звеньев многозвенной системы тела человека является регулирующим воздействием не только на изменение режима функционирования мышц, управляющих движением этих соседних звеньев, но и стимулом координационной перестройки управления движением звеньев всей многозвенной системы в целом.

ВЫВОДЫ

1. Развита методология и технология механико-математического моделирования спортивных движений (с позиции волновых процессов), позволяющая адекватно описывать многозвенную биомеханическую систему тела человека как систему с распределенными параметрами и выявить динамические особенности ее функционирования.

2. Моделирование процесса метания копья на основе уравнения поперечных колебаний многозвенной биомеханической системы позволило дать количественную оценку рациональности структуры движений метателя, оценить влияние различных средств воздейст-

вия (изменение массы метаемого снаряда, жесткости суставов) на эффективность результата движения – скорость вылета копья.

3. Установлены биомеханические черты рациональности техники метания копья с позиции волновой теории: монотонный рост скорости волнового фронта, рост вклада высокочастотных составляющих энергобаланса, отсутствие "стоков" энергии.

4. Развита методика экспериментального исследования колебательно-волновых свойств двигательного аппарата копьеметателя, основанная на вычислении амплитудно-частотных характеристик колебательного процесса, позволяющего проводить количественный и качественный анализ нестационарных аperiodических процессов. Показана эффективность применения "скользящего" спектрального анализа для обоснования существования волнового процесса в анализируемом движении. Установлено эффективное смещение активной полосы спектра в сторону высоких частот (перекачка энергии вверх по спектру) вдоль кинематической цепи спортсмена, причем если на стопе вся мощность процесса сосредоточена в полосе от 0 до 1,5 Гц, то на кисти с копьем ширина активной полосы спектра достигает величины до 12 Гц; усиление такой перекачки в лучших попытках.

5. Подсчитаны семь первых собственных частот поперечных колебаний стержневой системы, описывающей кинематическую цепь человека: 1,98, 6,86, 11,91, 19,37, 44,32, 96,12, 137,25 Гц. Моделирование показывает, что анализируемое движение строится на первых трех формах колебаний, остальные формы описывают паразитные колебания системы и недетерминированную часть процесса.

6. Показана корректность формулировки энергетических критериев эффективности для указанных процессов с точки зрения потока переносимой энергии. Посредством имитационного моделиро-

вания определена доля перенесенной вдоль звеньев энергии в общей энергии, сообщенной копьём при вылете, - 70-72% (для конкретных параметров модели). По экспериментальным данным, для одиннадцати попыток эта доля составляет 63-75%. Перенос энергии происходит на различных собственных формах, между которыми происходит перераспределение энергии. Причем наиболее подвижны к изменениям высшие формы колебаний (вторая и третья, являющиеся наиболее характерными для биологической природы исследуемого процесса). На них же происходят основные положительные (с энергетической точки зрения) изменения.

7. Математическое моделирование колебательно-волнового процесса в замкнутой форме (в рамках прямой и обратной задач механики) позволило:

а) Адекватно описать энергетические эффекты применения различных средств тренировочного воздействия на результат "основного" движения, используемых при подготовке метателей: введение дополнительных отягощений различной массы в центр масс кисти ("инерционный" тип движения) и повышение жесткости лучезапястного, локтевого и плечевого суставов ("рекуперируемый" тип движения), а также их комбинации. Так, если в "обычном" движении для конкретного метателя поток энергии на кисти с копьём равен 70% от полной кинетической энергии, причем 12% величины потока приходится на долю высокочастотных составляющих, то у "рекуперационного" и "инерционного" типов движения (для конкретных параметров модели) эти показатели будут 70% (14% - высокочастотных составляющих) и 72,5% (6%) соответственно.

б) Исследовать возможности координационных перестроек структуры движения с позиций усиления волнового характера движения. Показана эффективность изменения "координационного"

фактора (максимальное увеличение целевой функции на 0,49 м/с) по сравнению с "силовым" (максимальное увеличение целевой функции на 0,37 м/с). Построены изотактические линии уровня биомеханически эквивалентных движений. На основании их доказано, что упорядочивание структуры движений многозвенной системы тела метателя происходит через снижение вариативности моментов приложения мышечных сил. Показана возможность компенсаторной коррекции движения по ходу его выполнения. Оценена максимально возможная скорость выпуска снаряда при оптимальной структуре метания для данного уровня развития физических качеств спортсмена.

8. Экспериментально обоснована возможность изменения волновых параметров и результативности метания копья при изменении жесткости в соединениях звеньев, что соответствует "рекуперированному" типу движений за счет применения новых тренировочных средств - упругих рекуператоров энергии. Разработка и апробация УРЭ подтвердила возможность достоверного увеличения результата метания высококвалифицированных спортсменов при их применении (прирост результата в метании металлического ядра составил $2,31 \pm 0,74$ м, в метании копья - $2,27 \pm 0,74$ м).

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

1. Ермолаев Б.В., Попов Г.И. Интегративные показатели техники метания копья // Биомеханика и спорт: Тез. докл. респ. школы-семинара (Смоленск, 16-18 мая 1988 г.). - Смоленск, 1988. - С. 26-27.

2. Ермолаев Б.В., Попов Г.И. Математическое моделирование и экспериментальное определение волновых процессов в технике метания копья // Биомеханика спорта: Тез. докл. 6 Всесоюз. конф. - Чернигов, 1989. - С. 67-68.

3. Ермолаев М.В., Ермолаев Б.В. Математика на службе у спорта // Легкая атлетика. - 1990. - № 5. - С. 22-26.
4. Ермолаев Б.В., Попов Г.И. Моделирование волнового движения многозвенной биомеханической системы // Биофизика. - 1990. - Т. 35; Вып. 6. - С. 1012-1018.
5. Yermolaev B V., Popov G.I. Mathematical modelling and experimental determination of wave processes in javelin throwing techniques // Congress Proceedings of 12 International Congress of Biomechanics, (Los Angeles, 26-30 June 1989). - USA: University of California, 1989. - P. 429.