

Методология изучения и оценки технического мастерства

Анатолий Шалманов¹, Янис Ланка², Владимир Медведев¹

АННОТАЦИЯ

Цель. Анализ методов исследования спортивной техники в спортивной биомеханике и обоснование интегративного подхода к изучению и оценке техники двигательных действий.

Методы. Анализ специальной научно-методической литературы, обобщение опыта проведения научных исследований в спортивной биомеханике.

Результаты. Раскрыты достоинства и недостатки существующих методов исследования в спортивной биомеханике, изложена логика применения интегративного подхода к анализу и оценке технического мастерства спортсменов.

Заключение. Поиск рациональных способов выполнения физических упражнений и повышение эффективности их выполнения являются необходимыми условиями роста спортивного мастерства и залогом успеха в соревновательной деятельности спортсменов. Основная идея интегративного подхода состоит в том, чтобы объединить положительные возможности метода биомеханического обоснования строения двигательных действий, логико-статистического метода оценки реализационной эффективности техники и механико-математического моделирования для повышения эффективности технической подготовленности спортсменов.

Ключевые слова: спортивная техника, реализационная эффективность техники, биомеханизм, интегративный подход

ABSTRACT

Objective. Analysis of methods for research of sports techniques in sports biomechanics and substantiation of integrative approach to studying and assessment of technique of motor actions.

Methods. Analysis of special scientific-methodical literature, generalization of experience of carrying out of scientific researches in the sports biomechanics.

Results. Strengths and weaknesses of existing research methods in sports biomechanics are revealed, the logic of integrative approach implementation for analysis and assessment of technical skill of the athletes is presented.

Conclusion. The search for rational ways to perform physical exercises and increase the effectiveness of their implementation are prerequisites for the growth of sports skills and recipe for success in competitive athletic activity. The basic idea of the integrative approach is to combine the positive features of method of biomechanical substantiation of motor actions structure, logical-statistical method for assessment the effectiveness of technique implementation and method of mechanical-mathematical modeling to increase the effectiveness of technical preparedness of athletes.

Keywords: sports technique, effectiveness of technique implementation, biomechanism, integrative approach.

Среди многочисленных задач спортивной биомеханики по-прежнему ведущее место принадлежит изучению техники соревновательных и тренировочных упражнений, являющихся основным специфическим средством физического воспитания и спортивной тренировки. Поиск и обоснование наиболее рациональных способов выполнения физических упражнений и повышение их эффективности являются необходимыми условиями роста спортивного мастерства и залогом успеха в соревновательной деятельности спортсменов. Поэтому проблема технической подготовки и разработка новых подходов к изучению и оценке мастерства атлетов является предметом исследования многочисленных специалистов [9, 13, 17, 32, 33]. Задача биомеханики состоит в том, чтобы разработать более эффективные методы изучения и оценки уровня технической подготовленности спортсменов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНИКИ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В СПОРТИВНОЙ БИОМЕХАНИКЕ

В спортивной биомеханике изучение техники физических упражнений и технической подготовленности спортсменов в большинстве случаев осуществляется методом биомеханического анализа кинематических, динамических и энергетических характеристик движения с использованием различных методик (оптико-электронных, механико-электрических, электро-физиологических). Существуют и другие методы исследования двигательных действий человека, такие как логико-статистические, механико-математические и системные. Каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, знание которых необходимо не только для успешного решения исследовательских задач, но и для поиска новых подходов к решению проблемы технического мастерства спортсменов. Разработка и экспериментальная проверка эффективности их использования является одной из актуальных методологических задач современной спортивной биомеханики.

При изучении техники спортивных упражнений и оценке технического мастерства спортсменов исследователи сталкиваются с проблемой выбора именно тех показателей, которые наиболее информативны для их определения. Чаще решение этой проблемы сводится к следующему: на основе кинематических, динамических, электрофизиологических и других характеристик движения и функционирования двигательного аппарата человека выбирают различные показатели и по величине их корреляции со спортивным результатом или на основе применения какой-либо другой статистической процедуры определяют наиболее значимые из них. Центральным вопросом при использовании такого подхода является отработка логики поиска и выбора показателей для следующего статистического анализа.

Наиболее простой способ решения проблемы – выбор возможно большего числа показателей и отбор только тех, которые тесно коррелируют со спортивным результатом. Можно привести довольно большое число работ, в которых авторы подвергали статистической обработке десятки и даже сотни биомеханических показателей. Относительно невысокая эффективность такого подхода очевидна, а главное, наличие высокой корреляции с результатом не говорит о том, что данный показатель характеризует технику выполнения упражнения. В любом измеряемом показателе отражены и техника и физические возможности и многие другие факторы, определяющие спортивный результат. Поэтому исследователи искали более эффективные методы решения проблемы.

Один из таких методов был разработан для оценки уровня технического мастерства атлетов. Он возник на основе идеи об использовании спортсменом своего двигательного потенциала в соревновательном упражнении [5]. Наиболее корректным количественным способом реализации этой идеи является метод регрессионных остатков.

Основная его идея сводится к тому, что спортсмену предлагают выполнить два задания. Результат в первом должен в существенной мере зависеть от развития у спортсмена

той или иной двигательной способности (например, быстроты, силы или выносливости), а техника исполнения – предельно простой, тем самым оценивается двигательный потенциал. Результат во втором задании должен определяться технической подготовленностью спортсмена и той же двигательной способностью. Если корреляция между результатами достаточно высока, то рассчитывают уравнение регрессии, в котором аргументом является результат в задании, оценивающим потенциал спортсмена, а функцией – результат в задании, технику которого нужно оценить. По уравнению регрессии можно определить теоретический результат спортсмена, который он должен показать, исходя из своих двигательных возможностей. Разница между теоретическим результатом и действительно показанным, называемая регрессионным остатком, используется для оценки реализационной эффективности техники. Например, скорость в беге с барьерами зависит как минимум от двух факторов: дистанционной скорости в гладком беге и техники преодоления барьеров.

Предложим барьеристам выполнить два задания [17]. В первом требуется пробежать максимально быстро отрезок дистанции 30 м с ходу и по результатам оценить скоростные возможности спортсменов. Во втором надо выполнить то же самое, но уже с барьерами. После этого рассчитаем корреляцию и линию регрессии между результатами, которая свидетельствует, какой в среднем результат в барьерном беге должен показать спортсмен при таком же в гладком беге. Если время в барьерном беге меньше того, что предсказывает уравнение регрессии, то можно предположить, что это связано с лучшей техникой барьерного бега. И наоборот, если время в беге с барьерами больше того, что предсказывает уравнение регрессии, то его техническое мастерство хуже. Таким образом, количественной мерой эффективности реализации скоростных качеств барьериста является разница между результатом в барьерном беге, рассчитанным по уравнению регрессии, и действительно показанным, а не сам спортивный результат.

В дальнейшем исследователи расширили область применения метода регрессионных остатков. Первоначальная идея использования двигательного потенциала спортсмена дополнилась идеей оценки степени использования тех или иных компонентов целостного действия или свойств его

двигательного аппарата в соревновательном упражнении (например, некоторых частей двигательного действия, маховых движений звеньев тела, биомеханических свойств мышц и т.п.). Например, сравнение результатов выполнения легкоатлетических метаний с места и с разбега позволяет оценить степень реализации последнего в данном упражнении [8], а сравнение результатов в прыжках вверх с места с махом и без маха руками дает возможность оценить технику выполнения маховых движений и их вклад в высоту прыжка [16].

Преимущество метода регрессионных остатков состоит в том, что критерием оценки технического мастерства спортсменов является не спортивный результат, который зависит от большого числа факторов, а умение реализовать свои двигательные возможности. Предполагается, что это зависит от уровня технического мастерства спортсмена. Кроме того, метод позволяет избирательно или комплексно (в случае использования множественного регрессионного анализа) оценивать реализационную эффективность его техники. Однако в рассматриваемом методе есть существенный недостаток: с его помощью можно сделать лишь вывод о том, что техника данного спортсмена лучше или хуже среднего уровня, но нельзя ответить почему. Ответ следует искать с помощью других биомеханических методов исследования спортивных двигательных действий, в частности механико-математических и системных.

Использование методов механико-математического моделирования в биомеханических исследованиях можно разделить на два основных этапа.

Задачи первого заключаются в использовании существующих и разработке новых механико-математических моделей и проверке их работоспособности в решении определенного круга задач [6, 7, 15, 38]. Основная его цель состоит в том, чтобы получить количественную информацию о внешней картине движений (угловые и линейные кинематические характеристики движений), а также изучить движения человека на уровне динамики, т.е. определить силы и моменты сил в суставах, работу, мощность и механическую энергию всего тела и отдельных звеньев, механические характеристики мышечного сокращения и многое другое. При решении этих задач исследователи сталкиваются со многими трудностями, такими как точность измерительной аппаратуры и ее возможно-

сти; проблемы предварительной обработки исходных данных; построение самой модели и соответствующего программного обеспечения; экспериментальная проверка ее работоспособности и многие другие.

Задачи второго состоят в том, чтобы использовать механико-математический аппарат для изучения проблем биомеханики, в том числе и спортивной, например, оценить экономичность выполнения разных вариантов техники [23, 26], определить различные показатели механической эффективности того или иного двигательного действия [29, 36], оценить величины нагрузок в суставах с целью раскрыть механические причины возникновения травм [18, 19], осуществить поиск источников ошибок в технике выполнения упражнений [22, 24, 25, 27, 31] и многое другое. В этом смысле механико-математический подход следует рассматривать как один из методов решения задач спортивной биомеханики. Их решение осуществляется на основе многих принципов и законов механики, которые составляют основу того или иного метода. Примером этого может служить работа В.Т. Назарова [11] по использованию методов механики управляемого тела для изучения и конструирования спортивных движений, исследования Г.И. Попова и др. [12] по применению методов волновой механики для изучения техники легкоатлетических метаний, работы J. Dapena [21], M.R. Yeadon [35], R. Bartlett [19, 20], Ю.К. Гавердовского [3], M.J. Safrit [34] и др. по использованию законов сохранения импульса и момента импульса для изучения движений спортсменов в безопорном положении.

Первоначальное использование методов механики сводилось к измерению и расчету кинематических и динамических характеристик движений отдельных точек, звеньев или всего тела человека с использованием различных экспериментальных методик (гониометрии, спидометрии, акселерометрии, видеосъемки, различных вариантов динамометрии). Получаемые с помощью этих методик количественные данные о движении человека в основном касались его взаимодействия с внешним окружением.

Стремление проникнуть во внутреннюю динамику, а через нее выйти на решение проблемы управления движениями такой сложной системы, какой является человек, потребовало разработки различных моделей его тела – от материальной точки до многозвенных моделей. Разработка более совершен-

шенных моделей, их математического и программного обеспечения привела к тому, что в их состав стали включать не только жесткие звенья, но и мышечно-сухожильные структуры, поскольку основным и наиболее интересным, с точки зрения управления движениями, источником возникновения составных моментов являются силы мышечной тяги [6, 15, 37]. Поэтому научиться измерять или рассчитывать механические характеристики действия мышц в теле человека (силы тяги, плечи сил, режимы сокращения и т.п.) принципиально важно. Для реализации таких моделей необходимы также сведения о массо-геометрических характеристиках тела (массы и моменты инерции звеньев тела, положение их центров масс) [7].

Использование механико-математических методов совместно с регистрацией электрической активности мышц дает возможность получить большое количество кинематических, динамических и электрофизиологических показателей движений спортсменов. Однако их применение, с одной стороны, весьма трудоемко и требует квалифицированных специалистов, а с другой – не дает возможности оценить техническое мастерство, если так можно выразиться, в чистом виде.

Особое место в биомеханике занимают методы, основанные на идее блочного строения двигательных действий человека [1] и на принципах системности и иерархического, многоуровневого построения системы управления движениями [2]. Хотя авторы вкладывают разный смысл в понятие блоков, всех их объединяет мысль о том, что эти блоки существуют, их довольно много, что они взаимодействуют друг с другом и функционируют параллельно или последовательно. С позиций кибернетики, такая организация двигательных актов позволяет решить проблему минимизации числа управляемых параметров и облегчить центральной нервной системе управление движениями человека.

Идеи системного подхода, основанного на принципах целостности и системности строения сложных объектов и явлений, получили широкое распространение и применение в науках о человеке. Применительно к двигательным действиям человека можно сказать, что свойства системы не являются результатом механического суммирования свойств составляющих ее элементов, а определяются свойством структуры как целого, особыми системообразующими связями

самого объекта [4]. Исходя из этого, чтобы понять сущность строения двигательных действий, в том числе и спортивных, нужно разработать метод выделения и изучения как элементов системы (блоков), так и отношений между ними, т.е. ее структуру. Отсюда основной акцент в системном подходе делается на выявление элементов и изучение многообразия связей, действующих как внутри системы, так и в ее взаимодействии с внешним окружением.

МЕТОД БИОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ СТРОЕНИЯ ДВИГАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ ЧЕЛОВЕКА

Одним из вариантов системного подхода является метод биомеханического обоснования строения двигательных действий человека, в основу которого положена концепция биомеханизмов, предложенная В.Н. Селуяновым [14]. Введению этого понятия предшествовали работы, связанные с изучением основных кинематических механизмов, лежащих в основе различных прыжковых упражнений [13, 16], перемещающих движений (бросков и метаний) [8, 28, 30] и движений, связанных с сохранением положения тела в упражнениях на равновесие [10].

Биомеханизм – это модель части или всего опорно-двигательного аппарата человека, обеспечивающая достижение цели двигательного действия за счет преобразования одного вида энергии в другой или передачи энергии между звеньями тела. Как целостная подсистема он состоит из совокупности элементов, входящих в её состав. Каждый элемент обладает определёнными свойствами, которые могут по-разному проявляться в движениях человека.

Мышцы, кости и суставы – это конструктивные элементы, из которых мозг создаёт более или менее сложные подсистемы – биомеханизмы, с помощью которых достигается заранее поставленная цель движения.

Важно подчеркнуть, что биомеханизм объединяет как некоторую конструкцию (подсистему), состоящую из совокупности звеньев тела, так и способ взаимодействия этих звеньев, который позволяет использовать свойства элементов, входящих в систему.

При разработке своего варианта метода биомеханического обоснования строения двигательных действий человека мы исходили из следующих предположений.

1. Поскольку тело человека представляет собой сложную систему, состоящую из многих звеньев, то для управления движением мозг объединяет часть звеньев в соответствующие подсистемы (биомеханизмы), которые могут действовать независимо друг от друга, но при этом их функционирование направлено на достижение общей цели действия.

2. Каждый из биомеханизмов может формироваться как из разных, так и из одних и тех же звеньев тела; имеет принципиальное отличие в своём функционировании, но при этом может реализовываться по-разному в зависимости от выполняемого двигательного задания.

3. Реализация каждого биомеханизма обусловлена строением двигательного аппарата человека и биомеханическими свойствами мышц, участвующих в выполнении двигательного действия.

4. Относительно независимые биомеханизмы зависят друг от друга в процессе выполнения двигательного действия, т.е. реализация одного из них может положительно или отрицательно влиять на реализацию других.

Таким образом, при использовании данного метода изучения тех или иных двигательных действий необходимо на основе содержательного анализа выделить биомеханизмы, затем, основываясь на экспериментальных данных, изучить закономерности их реализации и, используя знания об особенностях строения и функции двигательного аппарата человека, объяснить способ их функционирования.

Метод биомеханического обоснования строения двигательного действия включает поэтапное решение следующих задач.

Первый этап. Логико-содержательный анализ изучаемого двигательного действия с описанием кинематики и динамики движущих звеньев и всего тела в целом.

Второй этап. Объяснение физического механизма движений.

Третий этап. Установление строения двигательного действия, основанного на выделении биомеханизмов его организации и их функционирования.

На первом этапе основная задача исследователя состоит в анализе внешней картины движения и сил, действующих на тело человека. Также необходимо установить источник возникновения и природу действующих сил и их роль в достижении цели действия.

Основная задача второго этапа биомеханического обоснования двигательного действия – раскрытие физического механизма движений, под которым понимают процесс изменения движений в результате приложенных сил, в том числе и мышечных, обусловленный действием законов механики. Речь идет о том, чтобы по факту изменения движений установить их причины, найти соответствующие силы и закон их приложения.

Третий этап включает установление способа организации всего действия. При этом исходят из следующих основных положений.

1. Множество суставных движений объединяются в блоки, которые рассматривают как биомеханизмы.

2. Каждый из биомеханизмов имеет свою особую организацию и функцию, направленную на достижение конечной цели действия.

3. Управление блоками строится на основе многоуровневой системы управления движениями с учетом особенностей строения и свойств двигательного аппарата человека.

Таким образом, установление строения двигательного действия сводится к определению биомеханизмов, способов их реализации и взаимной связи в целостном действии, а также вклада в его конечный результат.

Успешность применения метода предполагает изучение выделенных биомеханизмов в упражнениях, имеющих общую цель (например, добиться наибольшей высоты или дальности в прыжках), но выполняемых с разными двигательными заданиями (например, прыжок вверх с места без маха руками, прыжок в глубину, прыжок в длину с разбега и т.п.). Основная цель этого методического приёма состоит в том, что варьирование двигательного задания изменяет значимость того или иного биомеханизма или полностью исключает возможность его использования, что позволяет глубже изучить закономерности функционирования других биомеханизмов и способы их реализации. Кроме того, в некоторых случаях он даёт возможность косвенно оценить количественный вклад того или иного биомеханизма в целостное действие.

Для количественной оценки вклада биомеханизмов в одно и то же двигательное действие необходимо использовать методы механико-математического моделирования с применением соответствующих аппаратно-

программных комплексов (динамометрических платформ, видеосъемки, многоканальной электромиографии и др.), позволяющих измерять характеристики движений и активность мышц.

Метод биомеханического обоснования строения двигательных действий позволяет глубже проникнуть в сущность организации множества суставных движений в целостные двигательные акты. Однако использование только этого метода для изучения техники спортивных упражнений и оценки уровня технического мастерства спортсменов не позволяет полностью решить поставленную задачу. Необходимо использовать интегративный подход, в котором можно было бы объединить преимущества всех рассмотренных методов исследования и установить последовательность их применения.

ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ И ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО МАСТЕРСТВА СПОРТСМЕНОВ

Основная идея интегративного подхода состоит в том, чтобы объединить положительные возможности метода биомеханического обоснования строения двигательных действий, логико-статистического метода оценки реализационной эффективности техники и механико-математического моделирования для повышения эффективности изучения технической подготовленности спортсменов.

Рассмотрим применение интегративного подхода на простом конкретном примере: изучение и оценка техники прыжка вверх с места. Это упражнение используют в тренировочном процессе, при тестировании двигательной подготовленности спортсменов, чаще всего оно являлось предметом исследования в спортивной биомеханике.

Поэтапное использование метода биомеханического обоснования строения двигательных действий для изучения техники прыжка вверх с места сводится к следующему. Основная цель – добиться наибольшей высоты подъема общего центра массы (ОЦМ) тела после отрыва от опоры, которая зависит от скорости ОЦМ тела в момент отрыва от опоры, а та – от импульса вертикальной составляющей силы реакции опоры. Поскольку силой сопротивления воздуха можно пренебречь, то основной внешней силой, определяющей движение ОЦМ тела вверх, является сила реакции опоры. Таким

образом, импульс тела, созданный к моменту отрыва от опоры, определяется импульсом вертикальной составляющей силы реакции опоры, который создает спортсмен во время отталкивания. Важно подчеркнуть, что она не является движущей, а возникает лишь как противодействие давлению стоп на опору в соответствии с третьим законом динамики. В этом суть физического механизма движения тела спортсмена.

Величина вертикального импульса силы реакции опоры и характер ее изменения зависят от скоростно-силовых возможностей спортсмена и характера взаимодействия звеньев тела во время прыжка. Использование метода биомеханического обоснования строения двигательных действий для изучения техники прыжков вверх с места показало, что в их основе лежат три основных биомеханизма: разгибания ног, разгибания туловища (туловище и голова) и маховых движений руками. Определены основные закономерности реализации этих биомеханизмов. Экспериментальное исследование позволило выявить общие закономерности их реализации вне зависимости от уровня подготовленности спортсменов.

Реализация биомеханизмов разгибания ног и туловища сводится к следующим основным фактам.

1. Звенья ног разгибаются последовательно: сначала тазобедренные, затем коленные и голеностопные суставы. Последовательный характер обусловлен различиями в силовых возможностях мышц, обслуживающих эти суставы, т.е. от сильных к слабым.

2. В соседних суставах ног (тазобедренном и коленном, коленном и голеностопном) во время разгибания наблюдается разнонаправленное движение. При переходе от подседания к отталкиванию происходит разнонаправленное изменение углов в тазобедренных и коленных суставах. Во время активного разгибания тазобедренных суставов в коленных происходит сгибание. Такое движение дает возможность двусуставным прямым мышцам бедра длительное время сокращаться в уступающем и изометрическом режимах, а значит создавать большую силу тяги за кости. Кроме того, прямые мышцы бедра передают часть мощности от мышц-разгибателей тазобедренных суставов в коленные. Аналогичные закономерности относятся к движениям в коленных и голеностопных суставах.

3. Во время подседания оптимальное сгибание ног в коленных суставах составляет примерно 85°. Уменьшение или увеличение глубины подседания приводит к уменьшению высоты прыжка.

4. Поскольку туловище и голова обладают большой массой (около 50 % массы тела), то во время отталкивания от опоры это приводит к возникновению больших сил инерции, увеличивающих давление на опору и создающих существенное сопротивление мышцам-разгибателям ног.

Эффективность реализации биомеханизмов разгибания ног и туловища повышается за счет выполнения предварительного подседания, которое дает возможность накапливать энергию упругой деформации в мышцах нижних конечностей, а использование ее увеличивает импульс силы реакции опоры.

Реализация биомеханизма маховых движений руками сводится к следующему.

1. Ускоренное выполнение маховых движений руками приводит к возникновению сил инерции в центрах масс их звеньев, которые увеличивают или уменьшают давление на опору. Кроме того, они создают дополнительное сопротивление для мышц-разгибателей нижних конечностей в конце амортизации и в начале отталкивания, что позволяет развивать большие силы мышечной тяги.

2. Скорость ОЦМ тела в момент отрыва от опоры зависит от положения и скорости звеньев рук, поэтому активное и своевременное выполнение маховых движений способствует увеличению высоты прыжка.

Закономерности проявления рассматриваемых биомеханизмов были выявлены при изучении прыжковых упражнений, когда критерием эффективности их выполнения являлась высота прыжка. Однако результат не является достаточно надежным критерием для характеристики техники выполнения упражнения, поэтому, прежде чем изучать биомеханизмы, нужно каким-то образом оценить уровень технического мастерства спортсмена, например, как он использует движение маховых звеньев тела для увеличения высоты прыжка. Такую оценку можно сделать с помощью метода регрессионных остатков, сравнивая результаты в прыжках без маха и с махом руками.

Испытуемые выполняли прыжки вверх с места без маха и с махом руками на динамометрической платформе (АМТИ). По вертикальной составляющей силы реакции

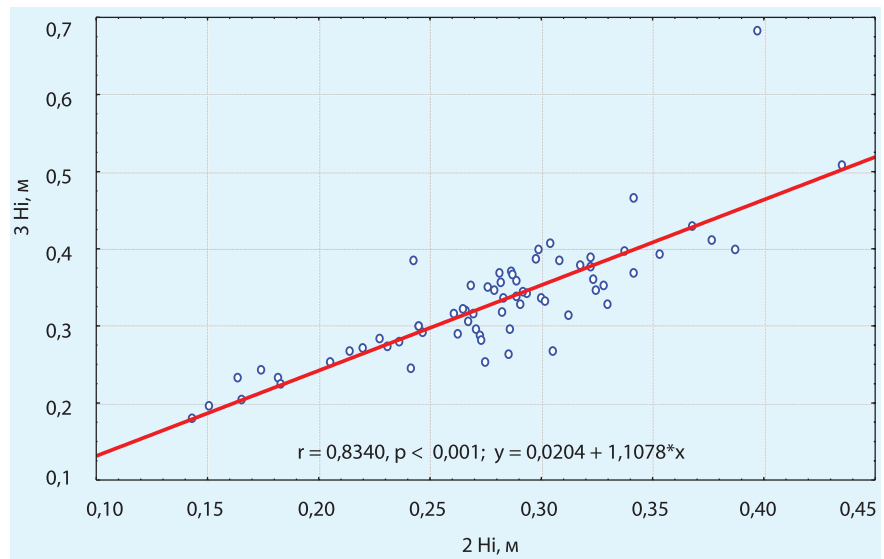


Рисунок 1 – Корреляция между результатами в прыжках вверх с места без маха и с махом руками

опоры рассчитывали высоту прыжка и другие кинематические и динамические показатели. В эксперименте приняли участие 68 лиц, специализирующихся в различных видах спорта. Средний показатель: возраст – $23,3 \pm 4,6$, масса тела – $68,9 \pm 12,6$ кг, длина тела – $1,70 \pm 0,06$ м.

Средний результат в прыжке вверх с места без маха руками составил $0,28 \pm 0,058$ м, а в прыжке с махом руками – $0,33 \pm 0,077$ м ($p < 0,001$). Таким образом, использование маховых движений руками в среднем увеличивает результат на 0,05 м (рис.1).

То, насколько эффективно спортсмен использует мах руками в прыжке вверх с места, можно определить с помощью уравнения регрессии и дать оценку реализационной эффективности этого биомеханизма. Так, например, если спортсмен показал в прыжке без маха руками результат 0,3 м, то теоретически в прыжке с махом руками он должен показать результат 0,35 м. В действительности спортсмены могут показать как такой же, так и больший или меньший результат: если больше расчетного, то можно предположить, что техника выполнения маховых движений у него лучше средней, а если меньше расчетного, то техника хуже средней. Как видно из рисунка 1, встречаются спортсмены, которым руки «мешают», так как у них высота прыжка с махом руками меньше, чем без маха. Таким образом, количественной мерой техники выполнения маховых движений является разность между действительно показанным результатом в прыжке с махом руками и результатом,

рассчитанным по уравнению регрессии. Важно подчеркнуть, что такую оценку можно сделать во всем диапазоне показанных результатов. При этом показателем техники спортсмена является не результат в прыжке с махом руками, а степень использования этого биомеханизма.

На основе уравнения регрессии можно построить таблицу, по которой легко оценить реализационную эффективность техники движений маховых звеньев в прыжке (табл. 1). В этой таблице каждому результату в прыжке без маха руками (X) соответствуют пять интервалов результатов в прыжке с махом руками, которые характеризуются соответствующей качественной оценкой техники: «очень плохая», «плохая», «средняя», «хорошая» и «отличная». Ширина интервалов рассчитывается на основе величины среднего квадратического отклонения результатов прыжков с махом руками относительно линии регрессии, а количество интервалов выбирается исследователем.

Воспользоваться таблицей можно так. Если спортсмен прыгнул без маха руками на 0,4 м (X), а с махом руками на 0,56 м, то его техника «хорошая».

Как отмечалось выше, рассматриваемым методом можно лишь констатировать факт, что техника данного спортсмена лучше или хуже среднего уровня. Чтобы ответить на вопрос о том, почему это происходит, использовали механико-математические методы исследования.

Анализ техники выполнения маховых движений в прыжке вверх с места проводили

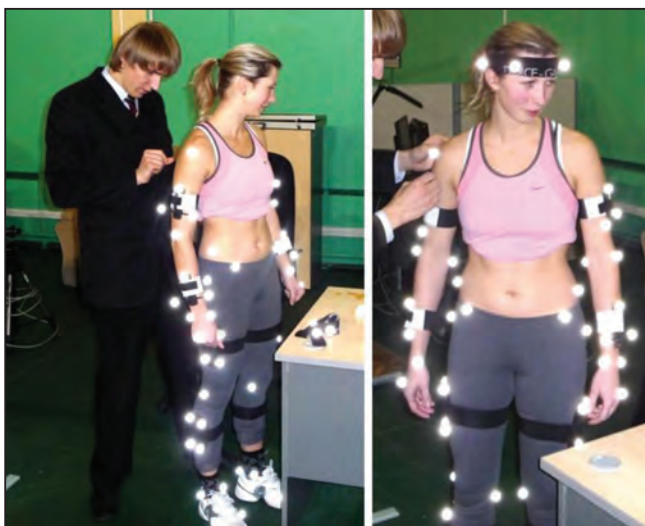


Рисунок 2 – Использование пассивных маркеров

с использованием оптико-электронного и динамометрического аппаратно-программного комплекса «Qualisys» с программным обеспечением «QTM» и «Visual 3D» (C-Motion).

Для регистрации движений звеньев тела человека пассивные маркеры крепили на тех участках тела, которые представляют интерес для анализа. В данном исследовании были маркированы анатомические точки, рекомендуемые производителем (C-Motion). Таким образом, на теле человека было закреплено 38 светоотражающих маркеров (рис. 2).

В программе «Visual 3D» (C-Motion) (рис. 3), используя полученные из «QTM» данные о координатах пассивных маркеров, можно построить скелетную модель человека (рис. 3, а). Для этого программа использует встроенные уравнения регрессии.

Данные о кинематике и динамике звеньев тела при выполнении двигательного задания получают в результате интеграции в «Visual 3D» статического файла, с помощью которого была построена скелетная модель испытуемого, и динамического файла с данными о выполнении этим же испытуемым двигательного задания. В результате программа осуществляет визуализацию выполнения двигательного задания скелетной моделью, а также графическое представление изменения таких характеристик, как траектория ОЦМ тела, траектории, скорости и ускорения частных центров масс, а также динамограмма силы реакции опоры (без учета веса тела) (рис. 3, б).

Для изучения различий в технике выполнения маховых движений были выбраны

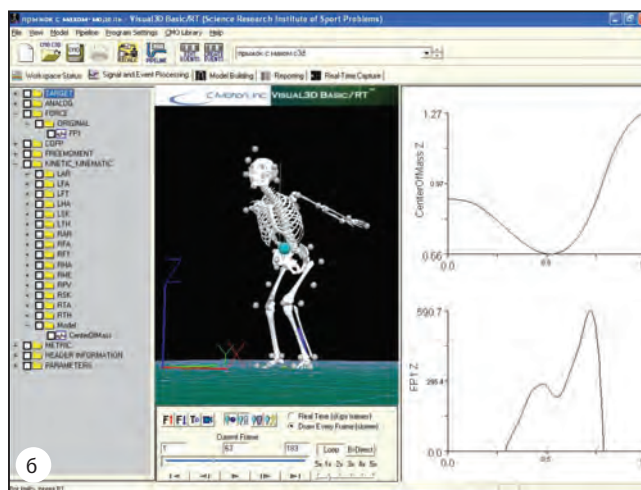
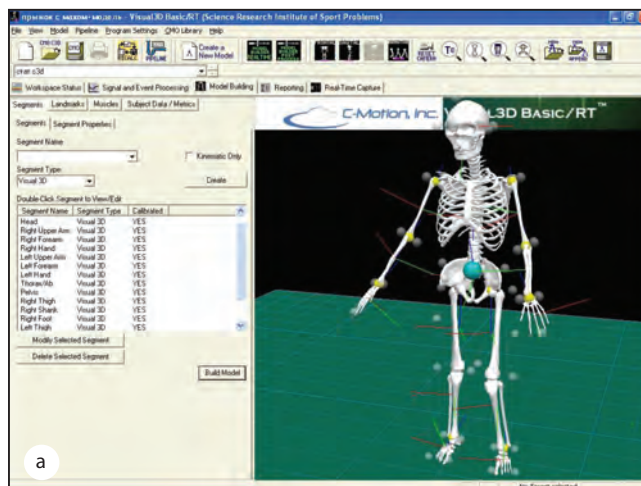


Рисунок 3 – Интерфейс программы «Visual 3D» (C-Motion): а) раздел построения скелетной модели; б) раздел анализа двигательного задания

Таблица 1 – Шкала оценок реализационной эффективности техники движений маховых звеньев в прыжке вверх с места

Высота прыжка X (м)	Оценка				
	очень плохая	плохая	средняя	хорошая	отличная
0,20	<0,13	0,13-0,20	0,20-0,28	0,28-0,36	>0,36
0,22	<0,15	0,15-0,23	0,23-0,30	0,30-0,38	>0,38
0,24	<0,17	0,17-0,25	0,25-0,32	0,32-0,40	>0,40
0,26	<0,19	0,19-0,27	0,27-0,35	0,35-0,42	>0,42
0,28	<0,22	0,22-0,29	0,29-0,37	0,37-0,45	>0,45
0,30	<0,24	0,24-0,31	0,31-0,39	0,39-0,47	>0,47
0,32	<0,26	0,26-0,34	0,34-0,41	0,41-0,49	>0,49
0,34	<0,28	0,28-0,36	0,36-0,44	0,44-0,51	>0,51
0,36	<0,30	0,30-0,38	0,38-0,46	0,46-0,53	>0,53
0,38	<0,33	0,33-0,40	0,40-0,48	0,48-0,56	>0,56
0,40	<0,35	0,35-0,43	0,43-0,50	0,50-0,58	>0,58
0,42	<0,37	0,37-0,45	0,45-0,52	0,52-0,60	>0,60
0,44	<0,39	0,39-0,47	0,47-0,55	0,55-0,62	>0,62

Таблица 2 – Характеристика испытуемых с разным уровнем реализационной эффективности техники маховых движений руками

Испытуемый	Масса (кг)	Рост (м)	Возраст (лет)	Оценка за технику
ПВ	63,7	1,77	22	Плохая
АА	45,2	1,63	18	Плохая
ИД	75,7	1,78	24	Хорошая
ТМ	56,0	1,70	19	Хорошая

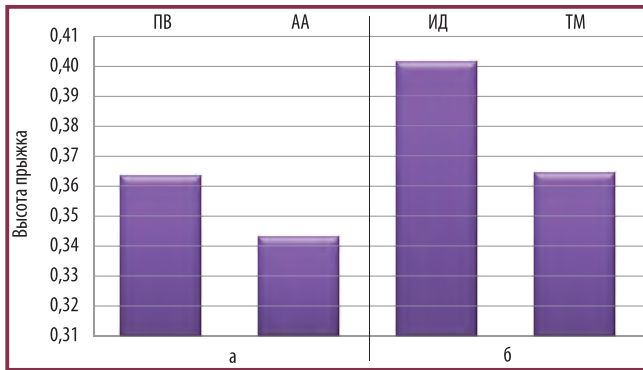


Рисунок 4 – Вклад маховых движений руками у испытуемых с различными оценками за технику: а) ниже среднего; б) выше среднего

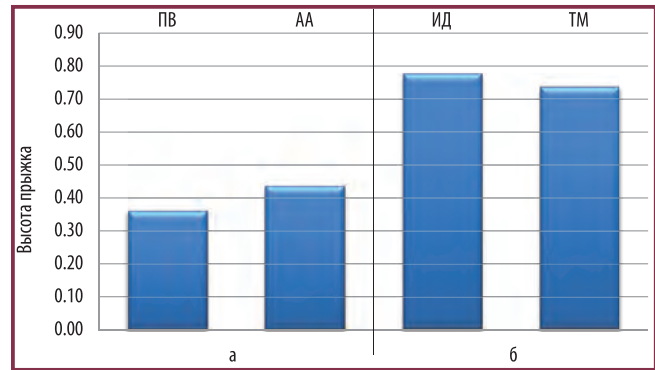


Рисунок 5 – Вклад движения туловища у испытуемых с различными оценками за технику: а) ниже среднего; б) выше среднего

четыре спортсмена с разным уровнем технического мастерства, который определялся по данным таблицы 1. Сведения об испытуемых представлены в таблице 2.

Сравнительный анализ показал, что суммарный импульс силы инерции в центрах масс звеньев рук у спортсменов с хорошей техникой создает больший вклад в импульс силы отталкивания, чем у спортсменов с плохой техникой (рис.4). Кроме того, использование маха руками спортсменами с высокой оценкой реализационной эффективности их выполнения приводит к существенному увеличению вклада импульса силы инерции, возникшего в центре

масс туловища (рис. 5), которое обладает большой массой, поэтому при ускоренном движении оно улучшает результат в прыжке. Отметим, что маховые движения руками способствуют более эффективному движению туловища и реализации биомеханизмов разгибания ног и туловища.

Поскольку основная цель данной статьи состояла в том, чтобы изложить логику применения интегративного подхода к анализу и оценке технического мастерства спортсменов, мы не будем подробно рассматривать результаты, полученные при использовании механико-математических методов исследования. Важно было показать возможность

последовательного применения существующих методов, раскрыть их достоинства и недостатки.

На примере изучения и оценки техники выполнения прыжка вверх с места показана необходимость использования интегративного подхода, основная суть которого состоит в последовательном применении метода биомеханического обоснования строения двигательных действий, логико-статистического метода регрессионных остатков и механико-математического моделирования для повышения эффективности изучения и оценки технического мастерства спортсменов.

■ Литература

1. Беркенблит М.Б. Проблема управления многими степенями свободы: организация взаимодействия модулей / М.Б. Беркенблит, И.М. Гельфанд, А.Г. Фельдман // Управление движениями. – М.: Наука, 1990. – С. 184–189.
2. Бернштейн Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – 254 с.
3. Гавердовский Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю.К.Гавердовский. – М: Физкультура и спорт, 2007. – 912 с.
4. Донской Д.Д. Системно-структурный подход и методы биомеханического обоснования спортивной техники: лекции для студентов институтов физической культуры / Д.Д. Донской. – М.: ГЦОЛИФК, 1981. – 27 с.
5. Донской Д.Д. Биомеханика: учебник для институтов физической культуры / Д.Д. Донской, В.М. Зацiorsкий. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
6. Зацiorsкий В.М. Модель для определения мышечных сил в заданном движении человека / В.М. Зацiorsкий, Б.И. Прилуцкий // Биофизика. – 1989. – Т. XXXIV. – Вып. 6. – С. 1036–1040.
7. Зацiorsкий В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зацiorsкий, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и спорт. 1981. – 143 с.
8. Ланка Я.Е. Биомеханика толкания ядра / Я.Е. Ланка, А.А. Шалманов. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 73 с.
9. Ланка Я. Соотношение общего и индивидуального в изучении и оценке спортивной техники / Я.Ланка, А. Конрадс, А. Шалманов // Наука в олимп. спорте. – № 2. – 2006. – С. 103–113.
10. Лукунина Е.А. Сохранение положения тела человека в условиях отсутствия внешних возмущающих воздействий: метод. разработки для слушателей факультета усовершенствования и студентов / Е.А. Лукунина, А.А. Шалманов. – М.: РГАФК, 2000. – 48 с.
11. Назаров В.Т. Движения спортсмена / В.Т. Назаров. – Минск: Полымя, 1984. – 176 с.
12. Попов Г.И. Координационные перестройки в технике метания копья: модельные и экспериментальные оценки / Г.И. Попов, Б.В. Ермолаев, А.В. Аракелов // Теория и практика физ. культуры. – 1993. – № 1. – С. 7–13.

■ References

1. Berkenblit M.B. Problem of management of many degrees of freedom: Organization of modules interaction / Berkenblit M.B., Gelfand I.M., Feldman A.G. // Management of movements. – M.: Nauka, 1990. – P. 184–189.
2. Bernshtein N.A. About building of movements / Bernshtein N.A. – M.: Medgiz, 1947. – 254 p.
3. Gaverdovskii Yu.K. Sports exercises teaching / Gaverdovskii Yu.K.. Biomechanics. Methodology. Didactics. – Moscow: Fizkultura i sport, 2007. – 912 p.
4. Donskoi D.D. The system-structural approach and methods of biomechanical substantiation of sports technique: Lectures for students of physical culture / Donskoi D.D. – Moscow: SCOLIFE, 1981. – 27 p.
5. Donskoi D.D. Biomechanics: Textbook for physical culture institutes / Donskoi D.D., Zatsiorskii V.M. – Moscow: Fizkultura i sport, 1979. – 264 p.
6. Zatsiorskii V.M. Model to determine muscular forces in the set movement of an individual / Zatsiorskii V.M., Prilutskii B.I. // Biophysics. – 1989. – Vol. XXXIV. – Is. 6. – P. 1036–1040.
7. Zatsiorskii V.M. Biomechanics of human locomotor system / Zatsiorskii V.M., Aruin A.S., Seluyanov V.N. – Moscow: Fizkultura i sport, 1981. – 143 p.
8. Lanka Ya.E. Biomechanics of shot put / Lanka Ya., Shalmanov An.A. – Moscow: Fizkultura i sport, 1982. – 73 p.
9. Lanka Ya. The ratio of general and individual in studying and evaluation of sports techniques / Lanka Ya., Konrads A., Shalmanov A. // Nauka v Olimpijskom sporte [Science in Olympic sports]. – 2006. – N 2. – P. 103–113.
10. Lukunina E.A. Preservation of human body position in conditions of absence of external perturbing influences: Manual for listeners of faculty of improvement and students / Lukunina E.A., Shalmanov An.A. – M., RSAPC. – 2000. – 48 p.
11. Nazarov V.T. Movements of athlete / Nazarov V.T. – Minsk: Polymia, 1984. – 176 p.
12. Popov G.I. Coordination reorganizations in javelin throw technique: model and experimental estimations / Popov G.I., Yermolaiev B.V., Arakelov A.V. // Teoria i praktika fiz. kultura. – 1993. – № 1. – P. 7–13.

13. Селуянов В.Н. Основные механизмы отталкивания в прыжках в длину с разбега / В.Н. Селуянов, А.А. Шалманов // Теория и практика физ. культуры. — 1983. — № 3. — С. 10—11.
14. Селуянов В.Н. Биомеханизмы как основа развития биомеханики движений человека (спорта) / В.Н. Селуянов, А.А. Шалманов, Берхаием Айд и др. // Теория и практика физ. культуры. — 1995. — № 7. — С. 6—10.
15. Хохлов А.В. Математические модели антропоморфных механизмов с «мышцами» и «сухожилиями» / А.В. Хохлов // На рубеже XXI века. Год 2000-й. — Малаховка, 2000. — С. 204—217.
16. Шалманов А.А. Основные механизмы взаимодействия с опорой в прыжковых упражнениях: метод. рекоменд. / Ал.А. Шалманов, Ан.А. Шалманов. — М., 1990. — 48 с.
17. Шалманов А.А. Методологические основы изучения двигательных действий в спортивной биомеханике: дис. ... доктора пед. наук / А.А. Шалманов. — М., 2002. — 334 с.
18. Abernethy B. The Biophysical Foundations of Human Movement / Abernethy B., Hanrahan S., Kippers V. — Champaign: Human Kinetics, 2005. — P. 63—119.
19. Bartlett R. Sports Biomechanics. Reducing Injury and Improving Performance / R. Bartlett. — London: Spon Press, 1999. — P. 147—244.
20. Bartlett R. Introduction to Sports Biomechanics / Bartlett R. — London: Spon — Press, 2001. — P. 161—28.
21. Dapena J. The High Jump. In: Zatsiorsky V.M. (ed). Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention / Dapena J. — Blackwell Science, LTD, Oxford, 2000. — P. 284—331.
22. Gratton K. Research Methods for Sports Studies / K. Gratton, I. Jones. — London: Routledge, 2004. — 287 p.
23. Haag H. Theoretical Foundation of Sport Science as a Scientific Discipline / Haag H. // Sport science studies. Schorndorf. — Hofmann, 1994. — Vol. 6. — P. 167.
24. Komi P., Knutugen H. (1996). Sport Science and Modern Training / P. Komi, H. Knutugen. Current Issues of Sport Science Schorndorf: Hofmann. — Vol. 8. — P. 44—63.
25. Lanka J. Integration of pedagogy and sports science improving the study content and methodology / Lanka J. // Ph.D. — Riga: Latvian university, 1998.
26. Lanka J. () Shot putting / Lanka J. Biomechanics in sport. Performance Enhancement and Injury Prevention. — Blackwell Science, LTD. — Oxford, 2000. — P. 435—457.
27. Lanka J.. Peculiarities of motion organization of different qualification athletes in the final part of shot put / Lanka J. // New Ideas in Sport Sciences: Current Issues and Perspectives. Part 1. Warsaw — Poznan — Leszno, Poland, 2003. — P.143—146.
28. Lanka J. Realization Conditions of the Kinematical Mechanisms in Javelin Throwing. (Latvian) / Lanka J. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2004. — P. 224—231).
29. Lanka J. Increase of Muscles' Strength and Improvement of Coordination as a Precondition of Raise Movements Speed / Lanka J. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2005. — P. 197—204
30. Lanka J. Biomechanics of Javelin Throwing / Lanka J. Riga: Elpa-2, 2007. — P. 279—335
31. Lanka J. Evaluation Methodology of Technique Quality in Shot Put / Lanka J., Shalmanov A. // Proceedings of the Congress European Society of Biomechanics. Netherland, Eindhoven University of Technology, 2004. (CD-ROM).
32. Lanka J. Individual, Interindividual and Group Variation of technique in throwing sports / Lanka J., Shalmanov A. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2008. — P. 200—207.
33. Lanka J. Evaluation methodology for assesing the effectiveness of sports technique/ Lanka J., Konrad A., & Shalmanov A. // Proceedings of XXIII Intern. Symposium on Biomechanics in Sports. — Beijing, China, 2005. — P. 202—206.
34. Safrit M.J. Measurement Concepts in Physical Education and Exercise Science / Safrit M.J., Wood T. — Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1989. — 382 p.
35. Yeadon M.A. Aerial Movement / Yeadon M.A. Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention. Blackwell Science, LTD, Oxford, 2000. — P. 273—338.
36. Zatsiorsky V.M. Kinematics of Human Motion / Zatsiorsky V.M.. —Champaign: Human Kinetics, 1998. — P. 147—193.
37. Zatsiorsky V.M. Kinetics of Human Motion. — Champaign: Human Kinetics, 2002. —P. 472—499.
38. Zatsiorsky V.M. Model to determine muscle forces in a given motion of man / V.M. Zatsiorsky, Prilutsky B.I. Biophysics. — 1989. — Vol. 6. — P. 1036—1040.
13. Seluianov V.N., Shalmanov Al. A. Basic mechanisms of takeoff in long jump / Seluianov V.N., Shalmanov Al. // Teoria i praktika fiz. kultury. — 1983. — N 3. — P. 10—11.
14. Seluianov V.N. Biomechanisms as a basis for development of biomechanics of human movements (sport) / Seluianov V.N., Шалманов Ан.А., Aied Berhaiem et al. // Teoria i praktika fiz. kultury. — 1995. — № 7. — P. 6—10.
15. Khokhlov A. V. Mathematical models of anthropomorphic mechanisms with "muscles" and "tendons" / Khokhlov A. V. // On the threshold of the XXI century. Year 2000. Scientific almanac. Vol. II, Malakhovka, 2000. — P. 204—217.
16. Shalmanov Al.A., Shalmanov An.A. The basic mechanisms of interaction with support in jumping exercises: Method. recommendations / Al.A. Shalmanov, An.A. Shalmanov. — M., 1990. — 48 p.
17. Shalmanov An.A. Methodological principles of studying movement actions in sports biomechanics. Diss. ... Dr. ped. sci., Moscow, 2002. — 334 p.
18. Abernethy B. The Biophysical Foundations of Human Movement / Abernethy B., Hanrahan S., Kippers V. — Champaign: Human Kinetics, 2005. — P. 63—119.
19. Bartlett R. Sports Biomechanics. Reducing Injury and Improving Performance / Bartlett R. — London: Spon Press, 1999. — P. 147—244.
20. Bartlett R. Introduction to Sports Biomechanics / R. Bartlett. — London: Spon — Press, 2001. — P. 161—28.
21. Dapena J. The High Jump. In: Zatsiorsky V.M. (ed). Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention / Dapena J. — Blackwell Science, LTD, Oxford, 2000. — P. 284—331.
22. Gratton K. Research Methods for Sports Studies / Gratton K., Jones I. — London: Routledge, 2004. — 287 p.
23. Haag H. Theoretical Foundation of Sport Science as a Scientific Discipline / H. Haag // Sport science studies. Schorndorf. — Hofmann, 1994. — Vol. 6. — P. 167.
24. Komi P., Knutugen H. (1996). Sport Science and Modern Training / P. Komi, H. Knutugen. Current Issues of Sport Science Schorndorf: Hofmann. — Vol. 8. — P. 44—63.
25. Lanka J. Integration of pedagogy and sports science improving the study content and methodology / Lanka J. // Ph.D. — Riga: Latvian university, 1998.
26. Lanka J. Shot putting / Lanka J. Biomechanics in sport. Performance Enhancement and Injury Prevention. — Blackwell Science, LTD. — Oxford, 2000. — P. 435—457.
27. Lanka J.. Peculiarities of motion organization of different qualification athletes in the final part of shot put / Lanka J. // New Ideas in Sport Sciences: Current Issues and Perspectives. Part 1. Warsaw — Poznan — Leszno, Poland, 2003. — P.143—146.
28. Lanka J. Realization Conditions of the Kinematical Mechanisms in Javelin Throwing. (Latvian) / Lanka J. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2004. — P. 224—231).
29. Lanka J. Increase of Muscles' Strength and Improvement of Coordination as a Precondition of Raise Movements Speed / Lanka J. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2005. — P. 197—204
30. Lanka J. Biomechanics of Javelin Throwing / Lanka J. Riga: Elpa-2, 2007. — P. 279—335
31. Lanka J. Evaluation Methodology of Technique Quality in Shot Put / Lanka J., Shalmanov A. // Proceedings of the Congress European Society of Biomechanics. Netherland, Eindhoven University of Technology, 2004. (CD-ROM).
32. Lanka J. Individual, Interindividual and Group Variation of technique in throwing sports / Lanka J., Shalmanov A. // Scientific Proceedings of Riga Technical University. — Riga: RTU, 2008. — P. 200—207.
33. Lanka J. Evaluation methodology for assesing the effectiveness of sports technique/ Lanka J., Konrad A., & Shalmanov A. // Proceedings of XXIII Intern. Symposium on Biomechanics in Sports. — Beijing, China, 2005. — P. 202—206.
34. Safrit M.J. Measurement Concepts in Physical Education and Exercise Science / Safrit M.J., Wood T. — Champaign, Illinois: Human Kinetics Books, 1989. — 382 p.
35. Yeadon M.A. Aerial Movement / Yeadon M.A. Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention. Blackwell Science, LTD, Oxford, 2000. —P. 273—338.
36. Zatsiorsky V.M. Model to determine muscle forces in a given motion of man / Zatsiorsky V.M., Prilutsky B.I. Biophysics. — 1989. — Vol. 6. — P. 1036—1040.
37. Zatsiorsky V.M. Kinematics of Human Motion / V.M. Zatsiorsky. — Champaign: Human Kinetics, 1998. — P. 147—193.
38. Zatsiorsky V.M. Kinetics of Human Motion. — Champaign: Human Kinetics, 2002. — P. 472—499.

¹ *Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, Москва, Россия*
Shalmanov_bio@bk.ru

² *Академия физического воспитания, Рига, Латвия*
Janis.lanka@lspa.lv

Поступила 28.04.2013