

Теоретические и практические аспекты реализации биомеханических принципов организации перемещающих движений в спорте

Янис Ланка, Владимир Гамалий

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы и обобщены теоретические данные о реализации биомеханических принципов организации перемещающих движений в спорте с целью их практического использования в повседневной тренерской практике. Биомеханические принципы – общие условия организации координационной структуры движений – базируются на закономерностях физики и биологии. В качестве практических примеров приведены фрагменты реализации бросковых и ударных движений в спорте, поскольку они в своей основе содержат общий механизм разгона дистальных звеньев кинематической цепи и имеют практически идентичные особенности его функционирования. Предложенная информация дает возможность практическому тренеру глубже понимать сущность элементов техники перемещающих движений и всего действия в целом, что повысит качество технической подготовки спортсменов на всех этапах спортивного совершенствования.

Ключевые слова: биомеханические принципы, механизм организации движений, физические и биологические особенности движений, спорт.

ABSTRACT

The paper analyzes and summarizes the theoretical information about implementation of biomechanical principles of organization of moving motions in sports with a view to their practical use in everyday coaching practice. Biomechanical principles, the general conditions for organization of coordination structure of movements, are based on the laws of physics and biology. The fragments of realization of throwing and kicking movements in sports are provided as practical examples, because they are based on the general mechanism of acceleration of distal links of a kinematic chain and have nearly identical features of its functioning. The provided information allows a practical coach to understand deeply the essence of technique elements of moving motions and of all the action as a whole, which will improve the quality of technical preparation of athletes at all stages of sporting advancement.

Keywords: biomechanical principles, mechanism of movement organization, physical and biological characteristics of movements, sport.

Особое место в спортивной практике занимают перемещающие движения. Это, прежде всего, разнообразные удары по мячу во всех игровых видах спорта, теннисе, гольфе и спортивные метательные движения. К перемещающим движениям в спорте обычно предъявляются такие требования: достичь максимальных величин силы действия или скорости, или точности. Однако нередко случаи, когда все эти требования предъявляются одновременно.

Несмотря на то что ударные и метательные движения многообразны, их объединяет общая двигательная задача – мощность выполняемых действий, без чего невозможен далекий бросок снаряда или сильный удар рукой, ногой, ракеткой. Сравнительный анализ организационной структуры (техники выполнения) бросковых и ударных действий позволяет констатировать, что она по основным, базовым механизмам реализации идентична и остается практически неизменной независимо от силы удара и дальности броска. Структурная схема сохраняется инвариантной как с поступательным, так и с вращательным разгоном снаряда или рабочего звена [2]. Основные организационные принципы бросковых и ударных движений не зависят от пола и возраста исполнителя, и от того, в каком направлении выполняется движение руки – снизу вверх, в горизонтальной плоскости или в другом направлении [18].

В биомеханике спорта ударные и метательные движения включают в одну группу, принимая, что у них не только общая двигательная задача – сообщить рабочему звену максимальную скорость, но и одинаковая организация движений [6]. Бросковые и ударные движения построены на механизме разгона дистальных звеньев кинематической цепи, осуществляемого с использованием опорных взаимодействий. Эти действия характерны максимальной мобилизацией двигательных возможностей спортсмена и, как правило, быстродействием. Это сложные движения с лавинообразным нарастанием

энергетики от стадии подготовительных к основным действиям. Поэтому техническое совершенство, рациональность исполнения таких движений особенно важны. Им следует уделять особое внимание, применяя упражнения, позволяющие осваивать и совершенствовать навык исполнения данных движений в решающей их части, связанной с приложением максимальных усилий в броске или ударе.

Р. Бартлетт [21] характеризует удар как движение, подобное броску (англ. *throw-like movement*). Чтобы лучше понять биомеханику ударов, часто используют данные, которые получены при изучении биомеханики метаний, и, наоборот, объясняя особенности техники видов метаний, специалисты пользуются данными, полученными при изучении тех или иных ударов. В монографии Д. Копсик [61] показано, что более глубокому пониманию теннисных ударов способствуют знания биомеханики метаний, о чем свидетельствует идентичность поз дискбола и теннисиста, выполняющего удар справа (рис. 1).

Характеризуя принципиальную структуру метательных и ударных движений, Ю. Гавердовский [2] подчеркивает, что структурные элементы должны образовать системное целое, начиная с подготовительных движений (начальный разгон тела спортсмена и снаряда, рис. 2, а), основных (генерация и передача механического импульса в системе звеньев тела спортсмена с нижних звеньев биокинематической цепи на ее вышележащие, рис. 2, б) и завершающих действий (финальный разгон и выпуск снаряда или удар, рис. 2, в).

Автор отмечает, что такая схема организации движений показывает их сложность, требует определенной последовательности, четкой координационной преемственности всех компонентов двигательного действия, точной согласованности во времени и пространстве. При обучении такому сложному движению главный упор должен быть направлен на овладение целостной

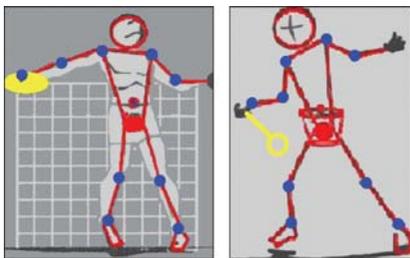


РИСУНОК 1 – Финальное усилие в метании диска и удар справа в теннисе [61]

структурой упражнения. Обучение должно осуществляться на основе тщательного анализа техники упражнения, исключая грубые нарушения системных свойств движения, сохраняя причинно-следственные связи между частями, фазами, подфазами и элементами движения [6] с учетом биомеханических принципов и механизмов их реализации.

В основе освоения и выполнения быстрых, мощных и точных движений, как считает Р. Барлетт [20], должны лежать биомеханические принципы организации движений, представляющие «общие условия организации координационной структуры движений, основанные на закономерностях физики и биологии и обуславливающие эффективность движений» [31]. Более упрощенно, биомеханический принцип – это любое научно обоснованное обобщенное положение, относящееся к организации движений, которым в процессе обучения нельзя игнорировать без вероятного ущерба для его результата.

Биомеханические принципы можно разделить на:

- общие, реализация которых важна для определенной группы движений;
- частные, которые важны при выполнении специфического двигательного задания.

Указанные принципы составляют теоретическую основу координационных особенностей взаимосвязи частей тела, суставов и мышечных групп при реализации двигательного задания, чем и обеспечивается эффективное его исполнение. Как отмечает Барлетт [22], модель любого движения, которая предлагается для освоения учеником, можно считать правильной только при условии, если она выполнена согласно биомеханическим принципам организации координационной структуры движений. Однако следует добавить, что любое теоретическое знание, имея вполне относительную независимость, остается

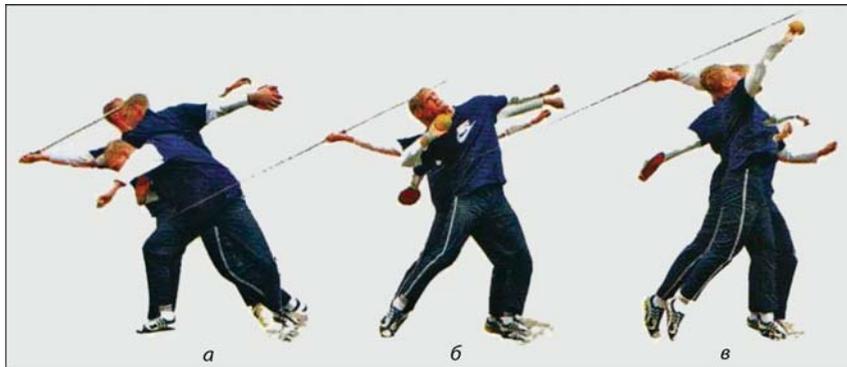


РИСУНОК 2 – Структурные элементы техники метательных и ударных движений [34]: а – подготовительные движения; б – генерация и передача механического импульса в системе звеньев; в – финальные разгон и выпуск снаряда или удар

безрезультатным, если, в конечном счете, не подтверждено практикой. Относительно двигательной деятельности человека – это решение поставленной двигательной задачи.

Понятие «биомеханические принципы» введено в научный глоссарий немецким специалистом по биомеханике Г. Хочшюзом, еще в 1960-е годы [48]. Разработанные им принципы (первоначальной силы (генерации импульса), временной координации отдельных импульсов, оптимального пути ускорения, оптимального тренда в кривой ускорения, противодействия, сохранения импульса) базировались на теоретико-механических основах построения движений и фокусировались на рациональную организацию сил при выполнении физических упражнений как основополагающий компонент производства движения, без учета биомеханической специфики реализации разноцелевых движений в спорте. Позже в его же работах [49, 50] и работах других исследователей [19, 30, 44] учение о биомеханических принципах было расширено и адаптировано практически ко всему спектру физических и физиологических проявлений, связанных с освоением и совершенствованием спортивных движений.

Современное представление об изучении движений связано прежде всего с такими понятиями, как биомеханический системный анализ и системный синтез действий с использованием количественных характеристик, в частности моделирования [6], включая понятия «кинематический механизм», «биомеханизм» [11, 14, 65], что, на наш взгляд, методологически может быть усилено использованием биомеханических принципов организации движений. При построении движений с заданными характери-

стиками и детерминированными условиями их реализации более рациональным может быть подход с позиции использования теоретической базы биомеханических принципов, поскольку каждый из них, определяя генеральную научную концепцию производства и организации движений человека с желаемым двигательным эффектом, может быть реализован при использовании нескольких различных биомеханизмов. Это значительно расширяет теоретические и практические представления о вариативности решения идентичных двигательных задач в разных группах движений с учетом индивидуальных моторных возможностей спортсмена и условий соревнований.

В основе каждого биомеханического принципа лежат определенные фундаментальные научно аргументированные знания в области соответствующих наук, на которых и базируется сам принцип, и механизмы его реализации, при отсутствии которых спортивное упражнение и связанная с ним двигательная задача принципиально неисполнимы. Как отмечает Ю. Гавердовский [2], это прежде всего **физические механизмы**, которые должны при определенных условиях срабатывать, давая конкретный механический эффект в виде пространственного движения, силового взаимодействия, стабилизации положения и т. п. Каждый из таких физических механизмов может быть реализован только при наличии суммы определенных факторов, главный из которых – активные действия, осуществляемые самим спортсменом. Эти действия, в конечном итоге, также сводятся к механическим эффектам мышечной тяги и представляют собой **физиологический механизм** данного двигательного действия.

Оба названных механизма (или группы частных механизмов) действуют в неразрывной связи друг с другом и обуславливают принципиальную возможность и технику исполнения данного упражнения, которая, в сущности, и является главным предметом работы при обучении упражнению и его совершенствованию: исполнение целостного упражнения принципиально возможно только в том случае, когда верно срабатывает этот совокупный биомеханический механизм упражнения.

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕМЕЩАЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ

В каждой отдельной группе движений (перемещающие, локомоторные, вращательные и др.) существуют свои, только для данной группы характерные принципы их организации, от реализации которых зависит эффективность исполнения всего действия [31, 49, 62, 63]. Относительно перемещающих двигательных действий актуальными являются принципы генерирования импульса (механической энергии), использования энергии упругой деформации мышечно-сухожильных структур, трансмиссии (передачи) импульса, увеличения пути приложения силы, сохранения устойчивости, снижения линейного и вращательного импульса (замедление движения).

ПРИНЦИП ГЕНЕРИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСА (МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ)

Содержательную часть этого принципа, который значимый во всех перемещающих движениях, удобно раскрыть на примере метаний, поскольку теоретическая база этого вида перемещающих движений основательно представлена в работах многих авторов [6, 13, 25 и др.].

Тело, которое вылетает со скоростью v на высоте h от земли под углом α к горизонту (при условии, что на траекторию полета снаряда влияние оказывает только сила земного притяжения), пролетело бы расстояние $L_{\text{макс}}$:

$$L_{\text{макс}} = \frac{v_0^2}{g} \cos \alpha_0 \times$$

$$\times \left(\sin \alpha_0 + \sqrt{\sin^2 \alpha_0 + \frac{2gh_0}{v_0^2}} \right).$$

Формула показывает, что три параметра – начальная скорость (v), высота (h)

и угол вылета снаряда (α) определяют траекторию полета таких тел, как мяч, ядро и молот (g – ускорение свободного падения – $9,8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$). Самое большое влияние оказывает скорость вылета – дальность полета снаряда при постоянных значениях высоты и угла вылета пропорциональна квадрату той скорости, с которой он покидает руку спортсмена и переходит в свободный полет. Скорость вылета – величина вектора скорости центра масс снаряда в момент вылета.

Определить зависимость между скоростью вылета и дальностью полета таких снарядов, как диск и копье, сложнее, поскольку влияние на их полет оказывают особенности конструкции снарядов, положение снаряда во время полета к воздушному потоку, вибрации, вращение во время полета и др., а также сложная взаимосвязь скорости вылета с высотой и углом вылета. Например, в метании копья в реальных бросках (женщины – 45–65 м, мужчины – 75–90 м) взаимосвязь между скоростью вылета и дальностью полета практически линейная [25, 84]. Чтобы увеличить дальность полета снаряда на 10 %, скорость вылета должна увеличиться в среднем также на 10 %. Пролететь 75 м копье может, вылетая со скоростью 26, 27 или даже 29 $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$, т.е. со скоростью, при которой в удачных бросках снаряд может пролететь 90 м и больше. Коэффициент корреляции между скоростью вылета копья и дальностью полета достигает 0,90–0,97 [25] или даже 0,99 [51], что подтверждает мнение большинства тренеров – снаряд летит дальше у тех спортсменов, кто выпускает его с большей скоростью. Так, в броске Я. Лусиса на 93,80 м скорость вылета была 29,95 $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$, а в броске У. Хона на 104, 80 м – 31,50 $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ [80]. Однако это не означает, что копье, выпущенное с одинаковой скоростью, пролетит одинаковое расстояние. Аэродинамические свойства снарядов и условия их вылета (угол атаки, направление ветра и др.) существенно могут повлиять на дальность полета.

Скорость вылета спортивного снаряда в метаниях или при ударах является главным фактором, определяющим дальность его полета. Причиной изменения скорости любого тела являются действующие на него силы. Действие силы проявляется в пространстве и во времени, количественной мерой чего являются соответственно работа W и импульс силы (произведение силы на время ее действия) – Ft . Чем большую силу удается приложить к снаряду и чем продолжитель-

нее ее воздействие, тем больше ее импульс. Поскольку импульс силы равен количеству движения (произведению массы тела m на его скорость v) $Ft = mv$, то это значит, что при большем импульсе и скорость вылета, и спортивный результат будут выше. Возможность увеличения времени действия силы на снаряд ограничивается, например, в толкании ядра, размером круга и кратковременностью самого движения (0,25–0,3 с). Длительность фазы выбрасывания копья еще меньше – 0,2 с, а у метателей высокого класса не превышает 0,12–0,15 с [73]. Поэтому первостепенное значение для достижения необходимой скорости снаряда имеет увеличение силы.

Работа, выполненная по перемещению снаряда, равна произведению силы, приложенной к нему, на пройденный путь – Fs . Связь между работой и скоростью снаряда можно установить из следующей зависимости:

$$W = \Delta mgh_0 + \Delta^{1/2} mv_0^2 + \Delta^{1/2} I\omega_0^2,$$

где: W – работа; h – высота вылета снаряда; m – масса снаряда; I – момент инерции снаряда; v и ω – соответственно линейная и угловая скорости в момент вылета; g – ускорение свободного падения.

Работа по перемещению снаряда в каждом виде метаний различная. Так в толкании ядра примерно 80 % работы уходит на разгон снаряда по горизонтали, 20 % – на подъем, работа по изменению вращения ядра так мала, что ею можно пренебречь [13]. По данным К. Bartonietz [25], в метании копья это соотношение в далеких бросках составляет 30:1, т.е. почти все усилия спортсмена направлены на сообщение снаряду горизонтальной скорости в направлении полета. Количество кинетической энергии вращательного движения копья, несмотря на то, что снаряд в момент вылета вращается со скоростью 15–28 $\text{об}\cdot\text{с}^{-1}$, так же, как и в толкании ядра, незначительно.

Кратковременность активного разгона снаряда и большая работа, выполненная за это время, свидетельствуют о том, что спортсмен должен развивать большую мощность:

$$P = W/t,$$

где: P – мощность; W – работа; t – время, за которое совершена работа.

Мощность можно выразить так же, как произведение силы, приложенной к снаряду, и скорости:

$$P = F \cdot v,$$

где P – мощность; F – сила; v – скорость.

Большую мощность проявит тот спортсмен, который сможет в быстром движении приложить к снаряду большую силу. Это означает, что быстрота изменения механической энергии снаряда (или скорости) зависит от мощности силы, приложенной к снаряду:

$$\Delta E_n / \Delta t = P_{\text{сум}}$$

где: E_n – полная механическая энергия снаряда; $P_{\text{сум}}$ – суммарная мощность; t – время.

Для того чтобы копые вылетело со скоростью $28 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$, максимальная мощность должна достичь 8 кВт , со скоростью $30 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ – 11 кВт [25]. Мощность, развиваемая спортсменом при разгоне снаряда, зависит от величины приложенной к снаряду силы. Меняется сила, меняется мощность, и как следствие, – ускорение снаряда и его скорость. Поэтому актуальным является ответ на два важных вопроса: 1) как в процессе всего движения должна изменяться сила, действующая на снаряд; 2) что должен делать спортсмен, чтобы генерировать и передавать возможно больший механический импульс с нижних звеньев биокинематической цепи на вышележащие звенья и к рабочему звену или снаряду. Как практически увеличить силу действия на снаряд в метаниях или на мяч и др. в ударных движениях?

ПРИНЦИП ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЫШЕЧНО-СУХОЖИЛЬНЫХ СТРУКТУР

Одним из условий, от которого зависит быстрота движений человека, является растягивание участвующих в движении мышц перед их сокращением и, если сокращение мышцы следует сразу после ее удлинения, она способна сокращаться с большей силой и развивать большую мощность [32, 33, 38, 47, 51, 57, 89]. Такой тип (режим) мышечной активности, когда сокращение следует сразу после удлинения, в биомеханике называют циклом растягивания–сокращения (PC) (англ. – *stretch-shortening cycle*) или реверсивным режимом сокращения мышц (англ. – *reversible muscle action*) [8, 56, 57, 59, 89]. Если сопротивление, приложенное к мышце, останется неизменным, скорость ее сокращения увеличится, что соответственно увеличит скорость движения звена, к которому мышца прикреплена.

Величина силы и возможное ее увеличение в фазе концентрического сокращения

в цикле PC определяется несколькими факторами.

Первый фактор – максимальная изометрическая сила мышц. В середине цикла PC, когда происходит переход от удлинения мышц к укорочению, от эксцентрического к концентрическому режиму работы, мышцы проявляют силу в изометрическом режиме. Величины силы и мощности, которые могут проявить мышцы в эксцентрическом или концентрическом режимах, зависят от их максимальной изометрической силы [87]. Однако по данным экспериментальных исследований [59, 84] доказано, что увеличение максимальной изометрической силы мышц в меньшей мере, чем тренировка, направленная на совершенствование действия в реверсивном режиме, может способствовать улучшению результатов в видах спорта, в которых спортсмену одновременно надо продемонстрировать большую силу и скорость. У тренированных людей максимальная изометрическая сила мышц (F_{mm}) и сила, которую мышцы могут продуцировать в быстром реверсивном движении (F_m), взаимно не коррелирует. Это различные проявления мышечной силы и каждую из них надо развивать своими методами, используя избирательно специальные упражнения [87, 91].

Второй фактор – зависимость «сила – длина мышцы». Многими экспериментами на мышцах животных и человека показано, что максимальная изометрическая сила, которую развивает мышца при сокращении в ответ на импульсацию, исходящую от мотонейронов, зависит от длины мышцы в момент ее стимулирования [9, 85, 89]. В естественной анатомической рабочей зоне мышц связь «сила–длина» носит почти линейный характер [37]. Длину, при которой мышца может развить максимальную силу, в физиологии называют длиной покоя мышцы, в биомеханике – оптимальной длиной мышцы (достигается при максимальном удалении друг от друга костных рычагов и точек прикрепления мышц) [85]. Ни одно упражнение, рассчитанное на мощную мышечную работу, не может быть выполнено эффективно, если не учитывается эта закономерность, отмечает Ю. Гаверовский [2]. От величины деформации, от скорости деформирования, от того, в каком состоянии мышца – расслабленная или возбужденная – удлиняется и какие при этом

нейральные механизмы задействованы, зависит качество выполненного движения.

Третий фактор – нейральные механизмы. В первой фазе цикла PC под действием силы тяжести и особенно сил инерции мышцы удлиняются. Резко возрастает сила, которую мышцы развивают во второй фазе цикла – фазе сокращения (рис. 3).

При длине L_0 максимальная сила, проявляемая мышцей, равна F_0 . После удлинения до длины L_1 мышца способна развить силу F_1 , значительно превышающую F_0 . Увеличение силы происходит за счет растягивания мышцы и активизации миотатического рефлекса в ответ на растяжение мышцы. Миотатический рефлекс или рефлекс на растяжение проявляется в форме возбуждения мышцы в ответ на ее растяжение.

Быстрое удлинение мышцы вызывает резкое увеличение частоты импульсации, обеспечивает активизацию дополнительных мышечных волокон, в том числе быстрых и мощных, синхронизирует активность двигательных единиц, повышает силу, с которой мышца противодействует ее растягиванию [9, 41]. В результате сила, приложенная мышцей к кости, значительно превышает то значение силы, что она может проявить без предварительного растягивания. Рефлекс на растяжение не только повышает силу мышц, но одновременно затормаживает (угнетает) активацию мышц-антагонистов, активность которых может уменьшить скорость движения [85]. Рефлекс на растяжение действует автоматически, без участия сознания человека. Поэтому прирост силы сокращения мышцы, вызванный рефлексом, может значительно превысить ту величину силы, которую человек может проявить произвольно [70].

Наряду с увеличением силы, под действием рефлекса на растяжение столь же значительно может увеличиться и скорость нарастания силы, что означает соответствующее увеличение и мощности мышечного сокращения. По мнению Т. Иванкевич, рефлекс на растяжение лежит в основе большинства спортивных движений, от него зависит продуцируемые спортсменом сила и скорость [53]. Особенно важное значение этот рефлекс имеет при выполнении двигательных действий, требующих проявления значительных по величине и быстрых мышечных усилий [2].

Одновременно с рефлексом на растяжение при удлинении мышечно-сухожильных

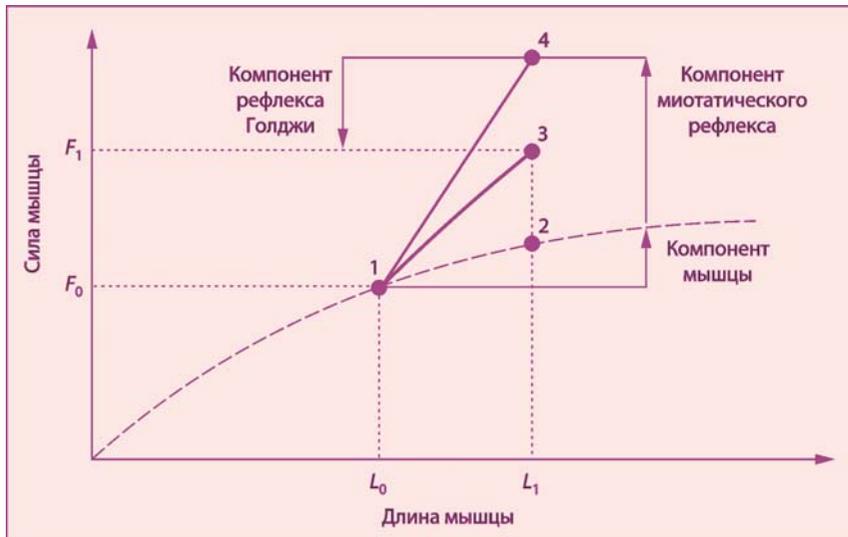


РИСУНОК 3 – Механизмы, определяющие увеличение силовых возможностей при предварительном растягивании мышц [цит. по: 91]. При удлинении мышцы от L_0 до L_1 сила увеличивается с F_0 до F_1 . Возрастание силы происходит в результате действия трех функциональных компонентов:

1 – компонент мышцы – сила мышцы при ее удлинении увеличивается за счет упругости мышечно-сухожильного комплекса; 2 – сила мышцы увеличивается за счет действия миотатического рефлекса; 3 – нарастание силы ограничивает действие рефлекса Гольджи; 4 – под действием рефлекса на растяжение увеличивается жесткость мышцы, рефлекс Гольджи ее снижает. Суммарное действие двигательных рефлексов отражает линия от 1 до 3. Наклон этой линии – жесткость мышечно-сухожильных структур

структур активируется и сухожильный рефлекс Гольджи. Если рефлекс на растяжение обеспечивает неизменную длину мышцы, несмотря на увеличение приложенной внешней силы, то задача сухожильного рефлекса – реагировать на изменение силы, проявляемой мышцей, предохранить сухожильно-мышечный комплекс от перегрузки. В случае резкого нарастания силы мышцы (рис. 3, 4) рефлекс Гольджи уменьшает интенсивность эфферентной импульсации, идущей к мышце, а в результате и силу сокращения мышцы, что показано стрелкой, идущей, вниз на рисунке 3.

Экспериментально доказано, что влияние на проявляемые мышцами силу и мощность миотатического рефлекса и сухожильного рефлекса тренируемо. Удлинение на одну и ту же величину тренированной мышцы дает больший прирост силы и мощности, чем мало тренированной [55]. Также экспериментально подтверждено, что под влиянием специальной тренировки уменьшается и угнетающая роль рефлекса Гольджи [33, 89]. Хорошо тренированные спортсмены в фазах движений с эксцентрическим режимом работы мышц способны проявить значительно большие значения силы, чем недостаточно тренированные [91].

Четвертый фактор – упругость сухожильно-мышечных

структур. Известно, что все биологические материалы и ткани обладают упругостью, т.е. при деформировании накапливают энергию упругой деформации и после освобождения восстанавливают начальную геометрическую форму [51, 78]. В первой, эксцентрической фазе цикла РС в сухожильно-мышечных структурах происходит накопление энергии упругой деформации в виде потенциальной, в концентрической фазе цикла энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию. Сила упругой деформации суммируется с силой сокращения мышцы и на конце мышцы (в местах прикрепления сухожилий к кости) увеличивается сила и, соответственно, скорость движения звена тела [59]. Экспериментально доказано, что способность в фазе растягивания сухожильно-мышечных структур накапливать энергию упругой деформации и эффективно ее использовать в концентрической фазе цикла РС тренируема [39, 43, 58, 91]. Увеличение вклада упругой компоненты – это важный показатель тренированности спортсмена [33].

Количество энергии упругой деформации зависит от жесткости материала и величины его деформации. Так как мышца с сухожилием соединены последовательно, то при растягивании на них действует оди-

наковая по величине сила, и распределение количества накопленной энергии будет зависеть только от величины деформации. В свою очередь, величина деформации зависит от коэффициента жесткости мышцы и сухожилия. Жесткость сухожилия постоянная, мышцы – изменчивая, зависящая от степени ее напряжения [41, 83].

Пассивная, расслабленная мышца легко растяжима. Жесткость активной мышцы увеличивается пропорционально степени напряжения [47], и у максимально возбужденной мышцы она в 4–5 раз больше, чем у расслабленной [89]. Это означает, что при удлинении расслабленной и возбужденной мышцы на одну и ту же величину количество накопленной энергии упругой деформации будет отличаться в несколько раз. Установлено, что жесткость мышцы увеличивается на 30 % и больше, если повышается скорость ее удлинения [89]. Скорость растягивания мышц, как отмечает известный тренер метателей копья В. Маззалинис [69], является важным показателем качества спортивной техники: величина приложенной к копыю силы зависит не только от скоростно-силовых возможностей мышц спортсмена, но и от того, как (быстро или медленно) произойдет растягивание этих мышц. Чем это время короче, тем с большей силой мышцы сократятся.

От жесткости мышц зависит не только количество накопленной энергии в первой фазе цикла РС, но и количество потерянной (диссипированной) энергии при переходе потенциальной энергии в кинетическую во второй фазе. Процесс перехода энергии проходит более эффективно, если жесткость мышцы выше [60], однако при одном важном и в реальных движениях трудно выполняемом требовании – максимально сократить интервал времени между фазой растягивания и сокращения.

Упругие свойства мышц зависят от многих факторов. Масса мышц, расположение волокон, соотношение медленных и быстрых волокон, количество соединительнотканых образований, соотношение площади поперечного сечения мышцы и сухожилия, температура, усталость – каждый фактор в отдельности и все вместе определяют механические свойства сухожильно-мышечного комплекса.

Свойство мышц накапливать энергию упругой деформации и утилизировать ее, т.е. превращать из потенциальной в кинетическую, тренируема [38, 43, 60]. Вклад так называемой упругой компоненты в спортив-

ный результат у спортсменов экстракласса значительно выше, чем у атлетов более низкой подготовленности [25].

Мышцы спортсменов высокого класса хорошо тренированы, способны сокращаться с большой силой. Жесткость таких мышц, когда они максимально напряжены, может превышать жесткость сухожилий [89]. Это означает, что под действием растягивающей силы сухожилие деформируется на большую величину, чем мышца и в сухожилиях может аккумулироваться больше энергии упругой деформации, чем в самой мышце (рис. 4). При таком варианте сухожилия из пассивных структурных элементов превращаются в активные, способные накапливать и отдавать упругую энергию, суммировать силу упругой деформации с силой сокращения мышцы.

По мнению специалистов [15, 40, 91], в упражнениях, направленных на развитие максимальной мощности, упругость сухожилий по некоторым показателям может оказаться важнее упругости мышц. Количество аккумулированной в сухожилиях энергии в 5–10 раз может превысить количество энергии, накопленной в мышце. Растянутые сухожилия после освобождения от внешней силы укорачиваются со значительно большей скоростью, чем способны сокращаться мышцы в концентрическом режиме. Это приводит к тому, что даже в очень быстрых движениях мышечные волокна сокращаются с меньшей скоростью, т.е., близко к изометрическому режиму, и таким образом снижается степень влияния зависимости «сила–скорость» на проявляемую мышцей силу. Девяносто три процента накопленной энергии упругой деформации в сухожилиях и других соединительнотканых структурах превращается в механическую работу и только 7 % – в тепло [27, 29].

В мышцах это соотношение намного ниже. Количество механической работы не зависит от скорости укорочения. Чем длиннее сухожилия, тем больше энергии упругой деформации в них может аккумулироваться. Поэтому важно отношение «длина сухожилия–длина мышечного волокна».

Обобщая результаты исследований, проведенных по изучению цикла РС и путей повышения его эффективности, можно выделить три главные условия выполнения реверсивных движений [58]:

- краткосрочная и быстрая эксцентрическая фаза (жесткость мышц зависит от скорости растягивания);



РИСУНОК 4 – Жесткость мышцы и сухожилия [91]

Мышцы спортсменов высокого класса могут развить большие силы и жесткость этих мышц, пока они активны, может превысить жесткость сухожилий. При растягивании мышечно-сухожильных структур сухожилия деформируются больше мышц и в них может накапливаться больше энергии упругой деформации, чем в мышцах

- в нужный момент времени перед началом эксцентрической фазы должна быть проведена преактивация мышц (жесткость увеличивается пропорционально степени возбуждения мышц);

- мгновенный переход от эксцентрической фазы к концентрической. При появлении интервала времени между фазами цикла часть накопленной энергии упругой деформации успевает превратиться в тепло.

Специальные исследования в теннисе показывают, что за счет действия цикла РС скорость ракетки возрастает примерно на 10–20 % [36]. Эффективность цикла главным образом зависела от того, какой интервал времени был между фазами замаха и разгона ракетки. Почти 50 % накопленной в фазе замаха упругой энергии было потеряно, если интервал составлял 1 с. При интервале 2 с потеря составляла 80 %, а в течение 4 с вся накопленная энергия была рассеяна. По данным Б. Эллиота [37], пауза в 1 с дает всего 10 % прироста скорости ракетки, что в 2 раза меньше, если разгон ракетки следует сразу же после замаха. Использование энер-

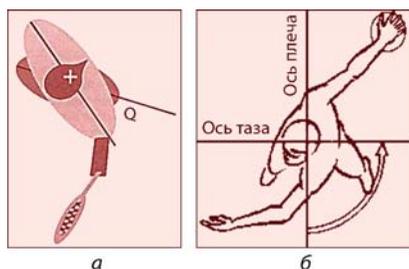


РИСУНОК 5 – «Обгон звеньев»:

а – при выполнении удара в теннисе. Угол **Q** – угол «скручивания» или «натяжения», угол между осями таза и плечевого пояса [37]; **б** – угол «натяжения» при метании диска [13]

гии упругой деформации в теннисном ударе особенно важно: 1) в начале разгона ракетки, когда сила сокращения мышц еще мала; 2) для новичков, силовые возможности мышц которых недостаточны для быстрого разгона ракетки [37]. Известно, что сила сокращения мышц увеличивается не эксплозивно, а сравнительно медленно. Даже спортсменам, хорошо тренированным на достижение максимальных силовых показателей, требуется 300–400 мс [7, 41]. Роль скорости нарастания силы (градиент силы) и использования силы упругой деформации особо повышается в кратковременных, быстрых движениях, время выполнения которых не превышает 200 мс [76].

Действие цикла РС в многозвенной кинематической цепи человека обеспечивается: выполнением отведения, сгибания, скручивания, замаха и т.п. перед главной фазой движения; резким ускорением в определенном направлении проксимального сустава, вызывающим ускоренное вращение присоединенного звена в противоположную сторону [2, 21]. Угол в суставе, в котором звенья соединены, изменяется. Соответственно изменяется длина мышц, сухожилий, связок, т.е. тех анатомических структурных элементов, которые обслуживают и укрепляют данный сустав.

Перед ударом или выбрасыванием снаряда особо важно обеспечить растягивание мышц туловища и плечевого пояса, что достигается отклонением в сторону, противоположную направлению главного движения, и поворотом верхней части тела и плечевого пояса относительно тазобедренной области, скручиванием тела относительно его вертикальной оси и отведением руки (рис. 5).

При выполнении удара одной рукой в теннисе у квалифицированных спортсменов величина этого угла в среднем достигает 30° [36], у толкателей ядра – 20–25° [10].

Механический импульс волнообразно перемещается от звеньев, расположенных ближе к опоре, к периферическим, расположенным ближе к рабочему звену, обгоняет во вращении вышележащие звенья, обеспечивая активное растягивание соответствующих мышц. Подобная организация движений особо важна в подготовке мышц к последующей эффективной работе и по обеспечению «передачи» механической энергии от нижележащих звеньев к вышележащим [2]. Нижележащие звенья в данном случае это те звенья, которые первыми включаются в движение. Особую роль в переходе меха-

нической энергии от звена к другим звеньям в многозвенной системе играют двуставные мышцы [89].

Особенно активно эффект обгона звеньев происходит в плечевом поясе и в руке со снарядом. В движениях, выполненных технически целесообразно, плечевой пояс отстает от движения таза, верхняя конечность – от движения плеча, кисть со снарядом от предплечья, тесно связывая звено со звеном и обеспечивая активное растяжение сухожильно-мышечных структур. Важно, чтобы отставание дистальных звеньев от проксимальных достигало реальных морфологических пределов подвижности. Только тогда создаются условия для эффективного приложения усилия к разгоняемому снаряду [2].

ПРИНЦИП ТРАНСМИССИИ ИМПУЛЬСА В СИСТЕМЕ ЗВЕНЬЕВ

В исследованиях техники спортивных движений особое место занимает изучение положения и взаимодействия разных звеньев тела при выполнении физического упражнения. Известно, что результирующая сила воздействия спортсмена на снаряд зависит от величины и направления сил, продуцируемых каждым звеном. Следовательно, проявление наибольших усилий в оптимальном направлении зависит от согласования ускорений и замедлений движения разных звеньев тела и от последовательности их включения в работу, что является определяющим для достижения необходимой скорости рабочего звена тела спортсмена или снаряда.

В зависимости от цели, которая решается посредством данного движения, можно выделить три вида взаимодействия звеньев тела [20, 22, 32, 35]:

- если стоит задача развить максимальную силу, все звенья, исключая «слабые», действуют одновременно;
- если важна скорость снаряда или биозвена, звенья действуют последовательно, каждое следующее включается в действие в момент, когда предыдущее достигает максимальной скорости;
- если происходит действие одного или нескольких звеньев, нижележащие звенья должны быть зафиксированы и создать базу (опору) для более эффективного взаимодействия вышележащих звеньев.

Задача оптимизации сложения сил отдельных звеньев осложняется тем, что

метатель должен объединить все эти виды взаимодействия звеньев тела в определенной последовательности. Во-первых, он должен сообщить снаряду максимальную скорость вылета, во-вторых, для разгона снаряда необходимо проявить максимум усилий и, в-третьих, – бросок завершается одной рукой. Следовательно, все три вида взаимодействия звеньев тела необходимо так сочетать, чтобы за 0,12–0,15 с в метании копья или за 0,25–0,30 с в толкании ядра (время финального усилия) наилучшим образом реализовать скоростно-силовые возможности спортсмена.

Рассматривая последовательность включения в работу разных звеньев, необходимо учитывать, что для спортсмена возникает задача использовать силу разных звеньев тогда, когда мышцы, перемещающие эти звенья, способны сокращаться с такой скоростью, чтобы силовое воздействие на ускоряемые массы было максимальным. Самые сильные звенья тела наиболее массивны и, следовательно, обладают большей инертностью. Поэтому начинать движение должны мощные мышцы тазовой области, а заканчивать – мышцы конечностей [35].

В основе передачи импульса по кинематической цепи лежит механизм последовательного включения звеньев тела, который в специальной литературе имеет несколько альтернативных названий: принцип суммирования внутренних сил [20], принцип серийной организации движения [25], принцип суммирования скоростей [37], принцип (механизм) мышечной волны [2]. При реализации этого механизма важно как можно более точно координировать переключения с одного звена кинематической цепи на другое. По важности (степени влияния на спортивный результат) этот принцип организации движения специалисты приравнивают к принципу предварительного растягивания мышечно-сухожильного комплекса, отмечая, что особенно важно применение данного принципа в бросковых дисциплинах (метание копья и диска, толкание ядра), а также при выполнении ударных действий.

Движение начинают большие и сильные группы мышц проксимальных сегментов, которые расположены вблизи ОЦМ тела. Это мышцы преимущественно с веерообразным расположением волокон, т.е. с большим физиологическим поперечником, обладающие большой силой сокращения. Главная

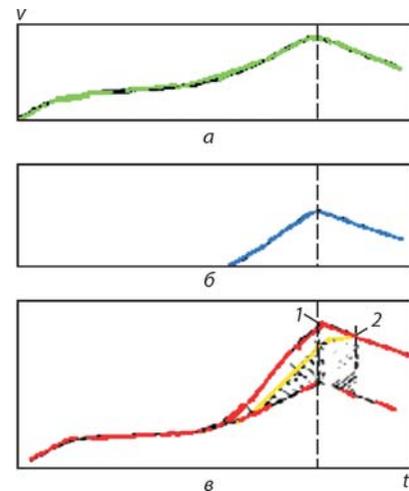


РИСУНОК 6 – Схема сочетания скоростей отдельных звеньев тела [68]: а – скорость туловища; б – скорость плеча; в – скорость снаряда; 1 – скорость снаряда максимальная, если максимумы скоростей звеньев совпадают во времени; 2 – несовпадение максимумов скоростей во времени туловища и плеча уменьшает скорость снаряда

задача этих мышц – сообщить скорость всей системе спортсмен–снаряд, преодолеть инертность тела спортсмена и спортивного снаряда [22]. Продолжение движения (разгон рабочего звена и снаряда) обеспечивают с точки зрения проявления силы менее сильные, но более быстрые мышцы верхних конечностей. Их задача обеспечить не только быстрое движение звеньев тела, но и достаточную точность выполняемого движения. В этих мышцах число волокон меньше, нежели в более массивных и сильных мышцах, что сказывается на силе сокращения. Меньше и количество мышечных волокон, иннервируемых одним мотонейроном. Это означает, что центральная нервная система может обеспечить более совершенное управление работой данных мышц, повышая не только скорость движения, но и точность его выполнения [21, 47].

Скорость рабочего звена в ударах, снаряда в бросках является результатом суммирования скоростей отдельных звеньев тела – ног, туловища, руки. Возникает вопрос о том, как должны сочетаться скорости отдельных звеньев тела во времени, чтобы скорости конечного звена и снаряда были максимальными.

Теоретически существуют два способа взаимодействия звеньев тела для достижения максимальной скорости конечного звена. Первый характеризуется такой органи-

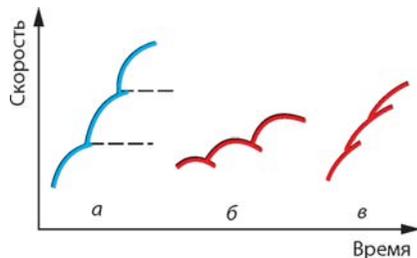


РИСУНОК 7 – Варианты сочетания скоростей отдельных звеньев тела [35]: а – своевременно; б – поздно; в – рано

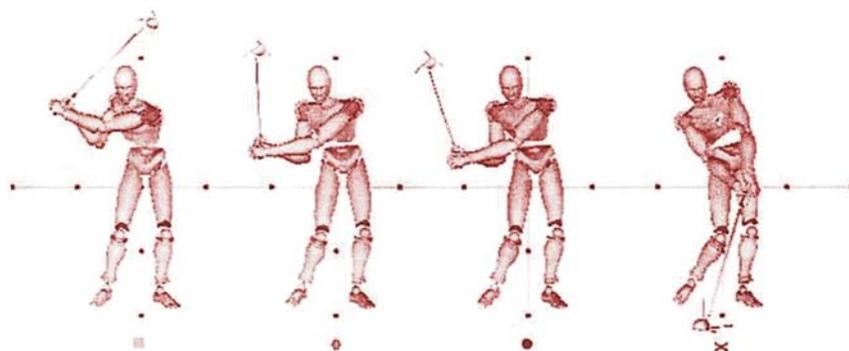
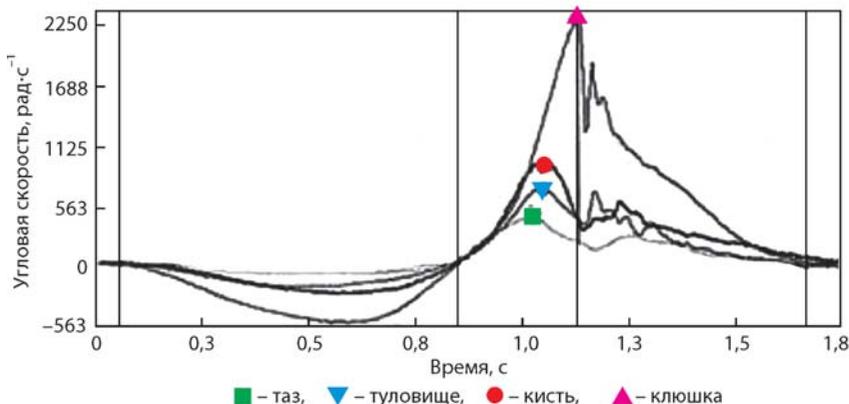


РИСУНОК 8 – Угловая скорость основных звеньев тела при выполнении удара в гольфе квалифицированным спортсменом [66]



зацией движений, при которой максимумы скоростей отдельных звеньев совпадают во времени (рис. 6).

При втором способе происходит последовательный разгон звеньев тела снизу–вверх, т.е. каждое последующее (вышележащее) звено начинает свое движение, когда скорость предыдущего достигла определенной величины. Схематично такое взаимодействие звеньев представлено на рисунке 7. С точки зрения механики наиболее рациональным является вариант (а) – вышележащее звено активизируется в момент, когда скорость нижележащего звена достигает возможного максимума. Происходит эффективное накопление энергии движения. Вариант (б) – запаздывающий, вышележащее звено включается, когда скорость нижележащего звена начала снижаться, часть энергии уже рассеялась; (в) – опережающий, вышележащее звено включается преждевременно, спортсмен тратит энергию

на поддержание скорости движения.

Упомянутые варианты взаимодействия звеньев тела рациональны с точки зрения механики. Но при их практической реализации приходится считаться с некоторыми биомеханическими особенностями. Во-первых, у каждой мышцы не только свои максимальные силовые и мощностные возможности, но и механические свойства, например, упругость. Во-вторых, звенья тела отличаются своими инерционными характеристиками. Даже при условии, что к ним будут приложены одинаковые по величине моменты силы, каждое из них ускорится по-разному. В-третьих, время, необходимое для достижения максимальных силовых показателей у мышц разных мышечных групп, значительно варьирует. В-четвертых, силовые возможности мышц зависят от таких условий выполнения движения, как скорость движения, сопротивление, углы в суставах. Кроме того, существенно изменяется биоди-

намика сокращения мышц, если оно следует после их растягивания. Это означает, что выработать единую, пригодную для всех рациональную модель взаимодействия звеньев тела, основанную только на выполнении требований механики, в принципе невозможно. Поэтому поиски рациональной техники идут в основном через анализ практических вариантов выполнения бросковых и ударных движений спортсменами разной подготовленности и спортивного мастерства.

Имеющиеся многочисленные экспериментальные данные подтверждают, что для обеспечения возможно большего импульса и момента импульса звеньям тела, и, как результат, наибольшей конечной скорости рабочего звена и снаряда, самой эффективной моделью взаимодействия звеньев тела является последовательное «включение» (активация) их от проксимальных к дистальным [3, 10, 13, 25, 34, 65]. Эта модель взаимодействия звеньев не зависит от вида броска или удара, возраста или пола исполнителя и уровня его подготовленности.

Результаты исследований динамики угловой скорости основных звеньев тела при ударе в гольфе [66], полученные с помощью скоростной видеосъемки, подтвердили рациональность последовательного характера не только разгона, но и торможения звеньев тела снизу–вверх (рис. 8).

По мере роста квалификации спортсменов увеличиваются значения максимальной скорости отдельных звеньев тела, начиная с правого тазобедренного сустава и заканчивая клюшкой. При этом важны не только значения скоростей отдельных звеньев, но и время их достижения. Излишне раннее достижение максимальной скорости, как и позднее, одним звеном по отношению к другому или к моменту удара снижает результат. Существуют оптимальная последовательность и временная структура движения звеньев тела, особенно массивных и сильных, при которых достигается высший результат.

Аналогичная схема организации движений наблюдается и при выполнении ударов в теннисе (рис. 9).

Движение начинается с активного взаимодействия ног с опорой, потом следует постепенное включение мышц туловища, плечевого пояса и верхних конечностей, действие завершает рука: в последовательности плечо, предплечье и кисть с ракеткой. Последовательно от звена к звену увеличивается и их скорость. Движения отдельных

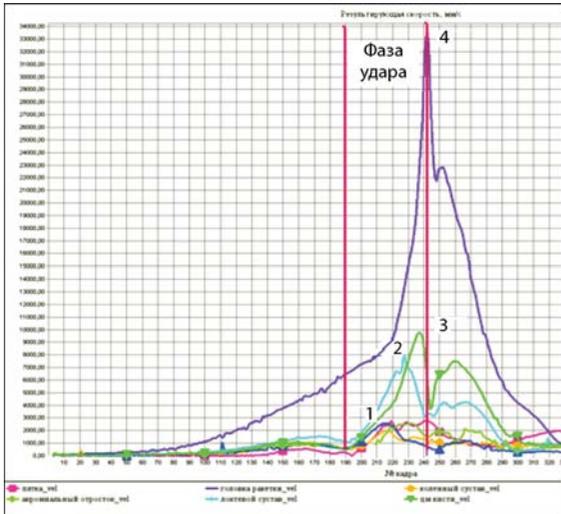


РИСУНОК 9 — Графики скоростей центров суставов и ракетки при выполнении удара справа в теннисе квалифицированным спортсменом (распечатка с экрана монитора) [4]:
 1 — максимум скорости правого тазобедренного сустава;
 2 — максимум скорости правого плечевого сустава;
 3 — максимум скорости ЦМ правой кисти;
 4 — максимум скорости головки ракетки

частей тела подчинены одной общей цели — обеспечению необходимого количества механического движения телу спортсмена и рабочему звену в вертикальном и горизонтальном направлениях [19].

Основной вывод, который вытекает из полученных данных, состоит в том, что у квалифицированных спортсменов наблюдается сходство в хронологической последовательности движения биоэвеньев снизу-вверх. У спортсменов низкой квалификации разброс временных показателей согласованности движений значительно больше.

Принцип последовательной работы звеньев тела во время выполнения ударных действий подразумевает реализацию трех стратегий [52]:

- индивидуализацию «включения» звеньев тела;
- активацию звеньев от проксимальных к дистальным;
- последовательное ускорение и последовательное торможение звеньев тела.

Любое ударное действие можно охарактеризовать как серию координированных во времени поступательно-вращательных движений частей тела. При этом проксимальные звенья продуцируют более 50 % общей скорости конечного звена кинематической цепи или снаряда [37].

Какие же механизмы, обеспечивающие максимальную скорость снаряду, могут лежать в основе рассмотренного принципа взаимодействия звеньев тела?

Известно, что если на тело или систему тел не действуют внешние силы, то скорость ОЦМ системы остается постоянной (внутренние силы не могут изменить его

движение). Однако внутри самой системы возможно перераспределение количества движения, т.е. если уменьшить скорость какого-либо из тел, входящих в систему (за счет действия внутренних сил), затормозив его, то это приведет к увеличению скорости остальной части системы. Разумеется, закон сохранения количества движения в применении к движениям спортсмена не проявляется в чистом виде, поскольку на спортсмена действуют внешние силы (силы реакции опоры, трения и т.п.), однако с его помощью можно объяснить последовательный характер увеличения скорости звеньев тела от опорных к рабочим в ударных и бросковых движениях.

Процесс сообщения скорости снаряду можно разделить на два этапа. На первом этапе сообщается скорость всей системе спортсмен—снаряд, вследствие чего система приобретает определенное количество движения. На втором этапе за счет тормозящего действия левой ногой, а затем и правой происходит последовательное торможение звеньев тела снизу-вверх. Это приводит к уменьшению движущейся массы тела спортсмена и как следствие — к увеличению скорости вышележащих звеньев вплоть до кисти и снаряда. Иными словами, происходит перераспределение количества движения (импульса) между звеньями тела. Скорость движения звеньев, последовательно вовлекаемых в волну торможений, изменяется обратно пропорционально их массе, т.е. чем легче звено, тем больше его скорость. Таким образом, кисть со снарядом, будучи не только конечными, но и самыми легкими звеньями системы, получают наибольшую

скорость в сравнении с другими звеньями, предшествовавшими им в цепи действий [2].

Второй механизм, обеспечивающий нарастание скорости снаряда при последовательном разгоне звеньев тела, основан на использовании энергии упругой деформации мышц. В метаниях и ударах предварительное натяжение мышц создается обгоном звеньев. При последовательном активном включении звена тела проксимальный сустав звена ускоряется в направлении метания. Ускорение сустава вызвано так называемой суставной силой, линия действия которой проходит через суставную ось [88]. Поскольку звено имеет определенную массу, т.е. обладает инерционными свойствами, его дистальный конец отстает в своем движении, поворачивается в противоположную ускорению сторону. Вследствие этого происходит растягивание мышц, которые будут участвовать в разгоне звена. В результате в них накапливается потенциальная энергия упругой деформации, которая при последующем сокращении мышц частично переходит в кинетическую энергию движущегося звена, увеличивая скорость его движения.

Подобное выполнение вращательного движения в спортивной практике нередко называют «хлестом» (англ. *whip technique*). Выполнение движения «хлестом» основано на том, что проксимальный сустав сначала быстро движется в направлении метания или удара, а затем резко тормозится. Это вызывает быстрое вращательное движение дистальной части звена тела. К сожалению, в настоящее время нет точных данных о том, каков количественный вклад, получаемый за счет использования энергии упругой деформации мышц, в скорость рабочего звена и снаряда. Косвенно об этом можно судить по вкладу кисти в скорость вылета ядра (около $2 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$) и копья (около $8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$). Движение кисти в конце фазы выбрасывания происходит за счет активности мышц-сгибателей кисти и пальцев, а также сил упругой деформации, возникающих в результате растягивания этих мышц силой, действующей со стороны ускоряемого снаряда. Величина сил упругой деформации мышц при правильном выполнении упражнения значительно больше, чем величина силы, вызванной активностью мышц [43, 51, 55, 91].

Таким образом, умелое использование энергии упругой деформации мышц явля-

ется одним из основных источников повышения скорости рабочего звена и снаряда [19].

При растягивании мышц, которое возникает при последовательном включении звеньев тела, происходит возбуждение расположенных в них рецепторов (нервно-мышечных веретен), что может привести к рефлекторному усилению нервной импульсации (так называемый стреч-рефлекс).

Механизм активного управления волнообразным движением в кинематической цепи предполагает не только правильно скоординированные ускорения звеньев, включающиеся в работу, но и столь же четкое их торможение, необходимое для передачи импульса по цепи [2]. Необходимость четкой временной организации ускорений и торможений звеньев тела отмечают и другие специалисты [2, 16, 17]. Некоторые из них, подчеркивая важность эффективности последовательного торможения скорости звеньев в заключительной фазе метаний или ударов, обсуждаемый принцип организации взаимодействия звеньев тела называют «принципом трансмиссии» (передачи кинетического момента в многозвенной кинематической цепи [31] или «принципом трансмиссии импульса» [45].

Если признать последовательный разгон звеньев тела важным условием правильного выполнения ударного или броскового движения, то вторым таким же важным условием является последовательное торможение звеньев тела в заключительной фазе движения, что также влияет на разгон рабочего звена и снаряда. Данный механизм обеспечивает перенос линейного и вращательного импульсов от сегмента к сегменту, от нижней части тела к верхней и от верхней к снаряду.

ПРИНЦИП УВЕЛИЧЕНИЯ ПУТИ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ

В основе этого принципа лежит соотношение между механической работой и энергией ($\Delta E = F \cdot s$): чтобы изменить механическую энергию тела (ΔE), необходимо увеличить или приложенную силу (F), или путь (s), на котором сила действует на тело. Как отмечает В. Тутевич [13], у всех изменений техники бросковых движений одна цель – увеличить приложенную к снаряду силу или продлить время ее действия. Единственная возможность увеличения времени действия силы не уменьшая величину силы – увеличение пути, на котором действует сила, увеличение

длины траектории, которую снаряд проходит в руке метателя в фазе разгона. Это подтверждается формулой [13]:

$$v = \frac{Ft}{m} = \sqrt{\frac{2Fs}{m}},$$

где v – скорость снаряда; F – сила, приложенная к снаряду; t – время действия сил; s – путь приложения силы; m – масса снаряда

Правильность этого вывода подтверждена специальными расчетами [13, 25] и позволяет заключить, что:

- увеличение силы F или пути s (обоих или одного из них) увеличит скорость снаряда. Удлинение пути силы воздействия метателя на снаряд эквивалентно увеличению времени воздействия этой силы и приводит к возрастанию скорости движения снаряда;
- если увеличится один показатель (F или s) и уменьшится другой (соответственно s или F) на одну и ту же величину в процентном исчислении, скорость снаряда снизится. Это означает, что спортсмен не может самовольно варьировать величину силы и путь приложения, не рискуя существенно ухудшить спортивный результат. Чтобы компенсировать уменьшение одного показателя, значение второго необходимо будет увеличить на большую в процентном исчислении величину [13].

Роль увеличения пути приложения силы для увеличения скорости снаряда представлена в работе В. Тутевича [13] и сводится к тому, что скорость снаряда в конце разгона будет тем больше, чем длинее путь приложения силы (при условии, что величина силы не уменьшится) и короче время перемещения снаряда по этому пути. Это положение подтверждают данные анализа техники толкания ядра (табл. 1).

Сравнивая приведенные в таблице данные, можно сделать несколько очевидных и важных для практики выводов. Чтобы снаряд улетел дальше, метатель должен производить большую механическую ра-

боту. Чтобы производить большую работу, к снаряду должна быть приложена по возможности большая сила на более длинном пути. Чтобы увеличить механическую работу в короткий промежуток времени, спортсмен должен развить большую мощность. То, по какой траектории (короткой или длинной) происходит разгон снаряда, зависит от особенностей техники данного вида метаний и технического мастерства спортсмена. За какое время и с каким ускорением снаряд пройдет путь разгона, зависит от силовых и скоростных способностей метателя [5]. Именно здесь может проявиться преимущество быстрых, сильных, высокого роста, с длинными руками спортсменов [1].

Поиски наиболее рациональной техники метаний тесно связаны со стремлением увеличить путь разгона снаряда (важно подчеркнуть, что увеличение пути без приложения на его протяжении силы, т.е. при постоянной скорости снаряда, бесполезно). В то же время многими исследованиями показано, что спортсмену не удается реализовать максимальную силу на максимально длинном пути. Приходится изменять динамику силы на пути разгона или уменьшать путь.

Теоретически у спортсмена есть несколько возможностей увеличения пути разгона снаряда в финальной фазе броска. Первый из них связан с изменением формы, а значит, и длины траектории снаряда как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях. Разумеется, что при этом решаются и другие задачи, такие, как повышение эффективности использования скоростно-силовых возможностей атлета, обеспечение необходимой устойчивости, поиск наилучшего сложения скоростей снаряда в стартовом и финальном разгонах и т.п.

Одни специалисты [12, 50] считают, что идеальный вариант – разгон снаряда по прямолинейной в проекции снаряда как на вертикальную, так и на горизонтальную плоскость и наклоненной под оптимальным углом к горизонту траектории, подобно тому,

ТАБЛИЦА 1 – Зависимость между длиной пути приложения силы, временем действия силы и результатом в толкании ядра [10]

Результат, м	Время выталкивания ядра, с	Путь приложения силы, м	Высота выталкивания, м	Угол выталкивания, град
19,00	0,28	1,55	2,25	42
20,27	0,26	1,70	2,25	42
21,54	0,20	1,70	2,27	40

как разгоняется снаряд в стрелковых орудиях. Ствол должен быть прямой и длинный. Любое изменение направления скорости снаряда из-за кривизны траектории при прочих равных условиях будет снижать скорость вылета. Другие исследователи [2, 64, 81, 88] считают, что прямолинейная траектория даже в видах метаний с линейным разгоном снаряда (толкание ядра, метание копья и т.п.) невыгодна с точки зрения ни механики, ни биомеханики. Во-первых, выравнивание траектории уменьшает ее длину. Во-вторых, разгон снаряда по прямой траектории ограничивает возможности проявления максимальных силовых воздействий. Вогнутость траектории в вертикальной плоскости при подготовке к финальному усилию косвенно свидетельствует о понижении ОЦМ системы метатель—снаряд, что может увеличить давление на нижние конечности спортсмена и создать эффект предварительного растягивания мышц. В-третьих, при выполнении сложных вращательно-поступательных движений, чем характеризуется современная техника бросковых движений, чрезвычайно сложно обеспечить движение рабочего звена по прямой линии.

Поиски наиболее рациональных вариантов техники с целью увеличения скорости вылета снаряда привели к использованию вращательных движений туловища и пояса верхних конечностей в фазе финального разгона, что отражается в искривлении траектории снаряда.

Реальные траектории рабочего звена в ударных и бросковых движениях далеки от прямолинейности в какой-либо плоскости.

Известно, что при вращении тела вокруг оси линейная скорость какой-либо точки будет тем больше, чем по большему радиусу движется эта точка:

$$v = \omega r,$$

где v – линейная скорость; ω – угловая скорость; r – радиус вращения.

В фазе финального разгона пояс верхних конечностей участвует в двух движениях – поступательном (спортсмен перемещается в направлении полета снаряда) и вращательном (плечевая ось поворачивается против хода часовой стрелки с одновременным движением грудью вверх–вперед в сторону метания, если метание осуществляется правой рукой). В зависимости от того, где пройдет вертикальная ось вращения, снаряд будет двигаться по большему или меньшему

радиусу. Чем ближе она к левому плечу, тем больше будет радиус поворота и линейная скорость снаряда (при постоянной угловой скорости). Продвигаясь по большему радиусу, снаряд проходит более длинный путь и соответственно увеличивается время приложения силы. Однако чем больше радиус движения снаряда, тем больше нагрузка на мышечный аппарат и тем выше требования к силовой подготовленности спортсмена.

Возникает вопрос: по какому радиусу следует пронести снаряд – по большему или по меньшему? Решающим при ответе на этот вопрос является не возможный выигрыш в скорости при повороте, а возможность приложения силы для увеличения скорости снаряда [69]. Особо выгодно перемещать снаряд по большему радиусу в тех фазах разгона, в которых для приложения силы имеются наилучшие условия: спортсмен находится в двухопорном положении, в работу вовлечены большие группы мышц и снаряд еще движется с небольшой скоростью [13].

Вторая возможность увеличения пути разгона снаряда связана с действиями самого метателя при подготовке к финальному разгону снаряда и зависит от:

- переноса веса тела с правой ноги на левую в направлении броска;
- отклонения тела или верхней его части в сторону, противоположную направлению броска;
- «обгона звеньев» – последовательного включения звеньев от проксимальных к дистальным;
- увеличения угла между осью плеч и осью таза, которая проходит через тазобедренные суставы;
- оптимального увеличения расстояния между правой и левой ногой;
- полного выпрямления руки со снарядом в конце финального разгона;
- «включения» рабочей руки в активное финальное движение после того, как нижерасположенные звенья завершат активные действия;
- активного движения верхней части туловища вперед в направлении броска в конце финального разгона (хлест туловищем).

В зависимости от доминирования поступательного или вращательного движений в завершающей фазе броска варианты разгона снаряда можно разделить на линейный, вращательный и комбинированный [24, 72–79].

В линейном варианте преобладают разгибательные движения в суставах тела, звенья тела и снаряд перемещаются по прямолинейным и параллельным к направлению броска траекториям. Стопы ориентированы в направлении броска, поворот туловища и плечевого пояса вправо от линии броска не превышает 45° .

Положительными моментами линейной техники является то, что она подходит метателям высокого роста с «быстрой рукой» и достаточно легко соединить разбег с финальной частью броска. К недостаткам этой техники следует отнести укороченный путь приложения силы, неполное использование силы мышц таза и плечевого пояса, а также, как правило, завышение угла вылета снаряда.

При выполнении броска с использованием вращательных элементов техники, в подготовительных фазах происходит последовательное скручивание, а в финальном разгоне – раскручивание тела метателя по продольной оси тела.

Вращательная техника подходит быстрым, гибким и небольшого роста метателям. Она позволяет удлинить путь приложения силы и эффективно использовать силу мышц туловища и плечевого пояса. Однако этот вариант техники имеет и существенные недостатки:

- сложно перейти от быстрого разбега к броску, от движения всей системы метатель—снаряд в сторону броска к ускоренному вращению туловища вокруг вертикальной оси тела;
- возникают проблемы с приложением силы к копы, «попаданием в копь». Введение в технику броска вращательных элементов движений и выполнение броска по большому радиусу осложняет приложение силы вдоль продольной оси копья. Боковая сила может достигать значительных величин – одной трети и больше от общей приложенной к копы силы [79]; рисунок 10;
- увеличивается опасность травмирования коленного и голеностопного суставов правой ноги;
- увеличивается нагрузка на локтевой сустав и позвоночный столб.

Соотношение вращательных и разгибательных движений имеет сугубо индивидуальный характер даже в одном виде метаний и у спортсменов одинакового уровня мастерства и в основном зависит от двух факторов: первоначально освоенных двига-



РИСУНОК 10 – Действие боковой силы деформирует копье, увеличивает его вибрацию в полете и снижает спортивный результат

тельных навыков; уровня физической подготовленности и ее структуры. Спортсмены с высокими скоростными качествами отдают предпочтение технике с линейным или комбинированным разгоном, а сильные, но с менее выраженными скоростными способностями, – технике с вращательными элементами [69, 79].

Рекорды в метании копья и толкании ядра устанавливались как с использованием линейного, вращательного, так и комбинированного вариантов. Однако лучшие метатели мира все больше в своей технике включают вращательные элементы, которые при достаточной физической подготовленности дают возможность увеличить как силу воздействия на снаряд, так и путь ее приложения [25, 26, 82].

ПРИНЦИП СОХРАНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

Для эффективного выполнения движений, которые требуют значительного уровня устойчивости, например, в спортивной гимнастике или в стрельбе, а также движений, которые связаны с резкой сменой направления или скорости, как это происходит, например, при выполнении различных прыжков или метаний с быстрого разбега, необходима большая площадь опоры, хорошее сцепление с поверхностью опоры и устойчивое положение тела. В первом случае речь идет о сохранении статического равновесия, во втором – динамического.

Разгон снаряда спортсмен может осуществлять, находясь в разных положениях, – двухопорном, одноопорном и даже безопорном. Продуцировать большую силу и тем самым обеспечить максимальное ускорение

своему телу, частям тела и снаряду, спортсмен может при хорошем контакте с опорой, т.е. в двухопорном положении. Не зря изучению вопроса о зависимости скорости движения и контакта с опорой, посвящено множество исследований в разных видах спорта. Например, Дж. Дайсон [35] контакт с опорой во время выполнения метательных движений называет критическим фактором техники. Выполнение движений в двухопорном положении напоминает толчок в прыжках, когда сила реакции опоры используется для увеличения количества механической энергии тела в отдельных его частях и в спортивном снаряде [2]. Контакт с опорой особенно важен в тех фазах движения, когда одновременно необходимо обеспечить вращательные и поступательные движения. Например, для того, чтобы обеспечить увеличение угловой скорости диска, необходим либо неполный контакт обеих стоп с опорой, либо полный контакт одной стопы [86], при условии, что поверхность опоры сухая и не скользит.

Выполняя удары и метания центры масс сегментов тела и снаряд движутся по криволинейным траекториям. Это означает, что для сохранения равновесия спортсмену необходимо компенсировать влияние центробежной силы инерции, величина которой зависит от массы, скорости ее движения и расстояния до оси вращения. Если эти моменты центробежной силы не будут компенсированы, то система «спортсмен–снаряд» потеряет равновесие. Единственная возможность компенсировать влияние центробежной силы инерции на спортсмена – это создать такой же по величине, но противоположно направленный момент силы тяжести. Для того чтобы в данных условиях система «спортсмен–снаряд» была уравновешена и центробежные инерционные силы по обе стороны оси вращения были сбалансированы, необходимо, чтобы ОЦМ системы удерживался на центральной вертикальной оси вращения и проецировался на площадь опоры спортсмена. Этот механизм сохранения равновесия спортсмен реализует путем наклона тела в сторону, противоположную направлению действия центробежной силы, и таким образом уравновешивает возникшие центробежные силы с противоположных сторон от оси вращения. В этом процессе чрезвычайно важен надежный контакт с опорой (рис. 11).

Хороший контакт с опорой необходим не только для эффективного ускорения снаряда

в процессе его предварительного разгона, но и в завершающей, финальной фазе метания.

Вопрос о потере контакта с опорой в момент выпуска снаряда дискутируется несколько десятилетий. Одни специалисты [5, 36, 67] считают, что наибольшую силу можно приложить к снаряду только при хорошем контакте с опорой, а другие [13, 54] допускают возможность отрыва ног от опоры до момента вылета снаряда.

Без сомнения, преждевременный отрыв ног от опоры может уменьшить скорость вылета снаряда. Однако возникает вопрос: Не возможна ли компенсация последствий снижения скорости снаряда за счет увеличения пути приложения силы и высоты вылета снаряда при выбрасывании его в безопорном положении?

Результаты экспериментальных исследований [65, 68] показывают, что потеря за счет снижения скорости вылета больше, чем выигрыш от повышения точки вылета. Наши собственные данные, например, показывают, что по мере роста спортивного мастерства закономерно уменьшается время безопорного разгона ядра: у спортсменов высокой квалификации оно близко к нулю, а некоторые спортсмены заканчивают выталкивание ядра, находясь еще в опорном положении на левой ноге. Коэффициент корреляции между временем безопорного положения и спортивным результатом равен – 0,55 (n = 50).

Еще один из способов стабилизации системы «метатель–снаряд» в конце фазы



РИСУНОК 11 – Уравновешивание центробежных сил при метании молота путем наклона туловища



РИСУНОК 12 – Скользящий контакт в метании копья

финального усилия – использование так называемого скользящего контакта с опорой. Скользящий контакт создается задерживанием отрыва ноги, находящейся позади от опоры, до вылета снаряда из руки метателя (рис. 12). Наряду с повышением устойчивости тела скользящий контакт усиливает эффект торможения опорных звеньев, способствует передаче момента импульса [2, 75, 81].

Похожая картина наблюдается и в других видах метаний, в том числе в толкании ядра [65]. За 60–80 мс до вылета снаряда продольная составляющая силы реакции опоры ноги, находящейся позади туловища, становится отрицательной, достигая у квалифицированных толкателей ядра 200–300 Н. Эта сила возникает в результате трения стопы об опору и обусловлена стремлением спортсмена при движении туловища вперед сохранить контакт с опорой. Сила трения ноги, расположенной сзади, вместе с тормозящими усилиями впереди стоящей ноги создают благоприятные условия для ускорения верхних звеньев тела и снаряда. При этом максимум отрицательных воздействий ноги, расположенной сзади (противоположно направленным вектору скорости ЦМ верхней части туловища), совпадает по времени с максимальными тормозящими усилиями впереди стоящей ноги. Следовательно, эти силы суммируются, и общий тормозящий импульс силы способствует передаче механического импульса от опорных звеньев к дистальным, запуская «реактивную волну» [2]. Кроме того, скользящий контакт дает еще несколько положительно влияющих на скорость вылета снаряда эффектов: 1) сохранение условного двухопорного положения повышает устойчивость системы метатель–снаряд в направлении вправо–влево; 2) напряженная впереди стоящая нога создает

хорошие условия для эффективного завершения броска рукой: мышцы ног, таза, спины и брюшного пресса своим напряжением соединяют нижние конечности с верхней частью тела, создают жесткую конструкцию тела и благоприятные условия для работы руки, обеспечивают удержание левой стороны тела, в значительной степени определяют пусковой момент переноса механического импульса от правой ноги на верхнюю часть тела [12]; 3) завершить бросок «над вертикалью» или «за вертикалью» (ОЦМ проецируется над стопой левой ноги или впереди ее), что удлиняет путь приложения силы к снаряду, обеспечивает увеличение скорости тела и его дистальных сегментов за счет действия силы тяжести и инерции, задействовать «механизм перевернутого маятника».

ПРИНЦИП УМЕНЬШЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСОВ

В специальной литературе этот принцип имеет несколько названий: падение в круг [5, 13], инерционное опрокидывание [2], перенос веса тела вперед [25], торможение линейной скорости [23], механизм перевернутого маятника [10]. Организация движений согласно этому принципу – еще один важный механизм повышения скорости дистальных звеньев тела, особенно в тех видах метаний, которые завершают одной рукой. Активный перенос веса тела с правой ноги на левую не только удлиняет путь приложения силы к снаряду, но увеличивает и саму силу – к силе сокращения мышц прибавляется сила тяжести верхних частей тела [19, 69, 82]. Сознательная потеря равновесия в направлении броска, благодаря действию силы тяжести, дает дополнительную горизонтальную составляющую, увеличивающую скорость продвижения тела спортсмена в направлении выброса снаряда. Более выраженный эффект этого механизма возникает в метаниях с разбега, когда вращение вперед–вниз падающего тела с дополнительным ускорением его дистальных звеньев в направлении разгона снаряда обусловлено не только силой тяжести, но и горизонтальной составляющей силы инерции, которая возникает при активном торможении опорных звеньев тела. Прирост скорости дистальных звеньев и снаряда будет тем больше, чем выше скорость разбега, чем активнее торможение и больше радиус вращения – расстояние от оси вращения, которая проходит

через стопу впереди стоящей ноги, до кисти со снарядом [25, 35, 73, 79].

Важный, но часто не принимаемый во внимание показатель технической подготовленности метателя, – скорость его в разбеге и динамика скорости. Важна не только максимальная контролируемая горизонтальная скорость системы «метатель–снаряд», но и то, чтобы ее максимум был достигнут непосредственно перед началом финального усилия. Исследованиями установлено, что технику лучших метателей отличает: 1) более высокая скорость в разбеге по сравнению со спортсменами более низкой квалификации (6,5–7,3 м·с⁻¹ в метании копья, 2,6–3,5 м·с⁻¹ в толкании ядра в момент постановки левой ноги на опору); 2) скорость выше в лучших попытках спортсмена; 3) равномерное увеличение скорости снаряда, которая достигает максимума к моменту начала его свободно полета [25, 46, 75].

От скорости, приобретенной в разбеге, зависит количество кинетической энергии системы «метатель–снаряд» перед броском, которая определяет количество механической работы, произведенной спортсменом, мощность броска и, в конечном итоге, скорость вылета снаряда. О степени трансформации энергии системы, приобретенной в разбеге, в энергию движения вылетающего снаряда можно судить по движениям, которые метатель совершает после вылета снаряда. Проблемы с остановкой после броска свидетельствуют о том количестве неиспользованной энергии движения, которую спортсмен не смог передать снаряду. Об эффективности использования энергии разбега можно судить по разнице горизонтальной составляющей скорости в начале финальной части разгона снаряда и в момент вылета снаряда. По данным Бартонче [25], у лучших метателей копья эта разница составляет 50–70 %. Главная роль как в замедлении скорости разбега, так и в переносе энергии движения на снаряд, принадлежит тормозящим эффектам опорных звеньев за счет движений впереди стоящей ноги. В подтверждение автор приводит следующий расчет, полученный на основании данных в реальном броске копья на 90 м. Скорость ОЦМ спортсмена перед началом броска 7 м·с⁻¹, в момент вылета – 3,5 м·с⁻¹. Уменьшение скорости на 50 %. Масса тела спортсмена 100 кг, время финальной части выбрасывания копья 0,12 с. Чтобы за столь короткое

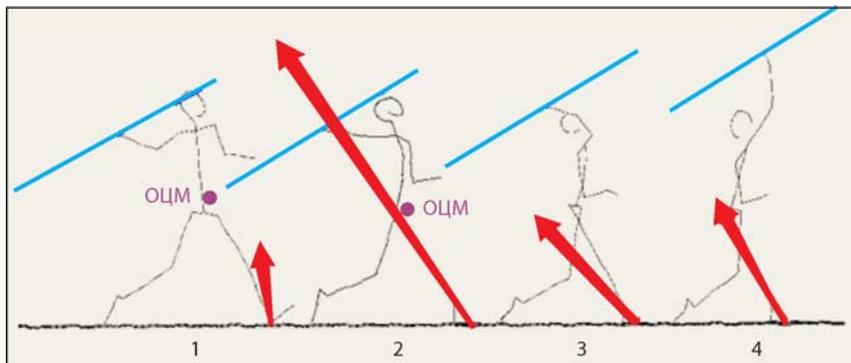


РИСУНОК 13 – Сила реакции опоры и ее направление в метании копья в броске на 75 м [25]: 1 – момент постановки левой ноги на опору; 2 – после постановки левой ноги на опору (0,04 с); 3 – после постановки левой ноги на опору (0,08 с); 4 – момент вылета снаряда (0,10 с). Стрелки показывают величину и направление результирующей силы реакции опоры

время обеспечить такое снижение скорости, левая нога должна выдержать нагрузку, превышающую в десять раз массу собственного тела и развить мощность, равную 5,1 кВт. При этом наибольшее замедление скорости происходит непосредственно после постановки левой ноги на опору – в первую треть финальной части разгона копья (рис. 13).

Чтобы создать эффективное торможение, левая нога ставится под острым углом к опоре (42–52°), угол в коленном суставе – 170–180°. В течение всего выброса нога должна оставаться максимально жесткой. Амплитуда сгибания и разгибания ноги в коленном суставе не превышает 5–10°. От момента постановки ноги на опору до вылета снаряда положение ноги остается практически неизменным, т.е. сохраняется острый угол наклона ноги к опоре, поворот ноги не превышает 5–12°. Это означает, что поворот ноги (а вместе с ногой и поворот тела) относительно оси, проходящей через точку опоры, как жесткого механического рычага (механизм перевернутого маятника, «поворот вперед через ногу»), что в свое время рекомендовали некоторые специалисты для увеличения скорости вылета снаряда [10, 13], не является основной функцией левой ноги в фазе финального разгона. Более значимый вклад в скорость вылета могут внести два других «перевернутых маятника», эффективность действия которых также зависит от работы левой ноги: 1) верхняя часть тела с поворотом вокруг оси, проходящей через тазобедренные суставы; 2) рука со снарядом, как составной рычаг с осью вращения в плечевом суставе.

Сразу после касания ногой опоры, в первые 0,02–0,03 с (позиция 1 на рис. 13), сила реакции опоры проходит впереди ОЦМ спортсмена и вызывает поворот его тела,

особенно верхней части, в направлении, противоположном метанию. Это вызывает растягивание мышц передней части тела и способствует приходу тела метателя в положение «натянутого лука». В то же время на верхнюю конечность со снарядом действует момент силы инерции, вызванный стопорящей работой ноги, пытающейся ее повернуть вперед, что способствует растягиванию мышц плечевого пояса и руки. Одновременное действие разнонаправленных моментов сил, вызванное реакцией опоры, создает в верхней части тела как натяжение мышц, так и отставание руки со снарядом, что увеличивает путь приложения силы к снаряду в завершающей фазе броска [69].

Существует мнение, что основной вклад в скорость вылета снаряда вносит положение «натянутый лук», которое создается в грудной и плечевой частях тела и рукой со снарядом [25, 54, 74]. Приход в такое положение невозможен без правильной работы левой ноги [28, 69]. Менее эффективным считается положение «натянутый лук», которое создается в пояснично-крестцовой области тела путем продвижения правой ногой таза в направлении вперед–вверх и одновременным отклонением верхней части туловища назад [26, 44].

Сила реакции опоры возрастает и меняет свое направление по отношению к ОЦМ спортсмена и в позиции 2 (рис. 13) достигает максимальной величины. Вектор силы, проходя позади ОЦМ тела, создает вращательный момент верхней части тела и руки со снарядом в сторону метания. Ускоренное вращение верхней части тела и руки со снарядом вокруг оси таза практики называют «хлестом туловища». Хорошую технику характеризует быстрое хлыстообразное дви-

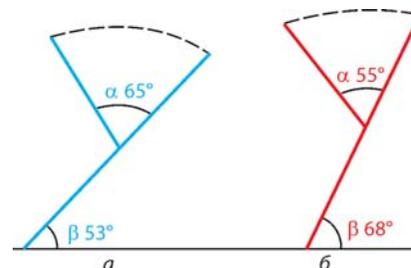


РИСУНОК 14 – Амплитуда движения плечевого пояса в двух бросках копья одним спортсменом [44]:

α – угол поворота туловища; β – угол между горизонталью и голенью левой ноги в момент вылета копья; а – бросок на 91,72 м; б – бросок на 84,70 м

жение верхней части тела вперед, в результате поворота вокруг оси, проходящей через тазобедренные суставы, отмечает знаменитый тренер В. Маззалитис [69]. «Хлест туловища» должен начинаться в момент, когда вращательный момент, вызванный стопорящей работой левой ноги, меняет направление – с направления против хода часовой стрелки в сторону по ходу часовой стрелки, т.е. в направлении броска. Критерием эффективного выполнения данного технического элемента может служить амплитуда поворота туловища [44]; рисунок 14.

Не только туловище, но и руку со снарядом можно рассматривать как составной рычаг, состоящий из трех отдельных рычагов (плечо, предплечье и кисть), или перевернутого составной маятник с осью вращения в плечевом суставе. Ускорение звена тела как маятника зависит от приложенного момента силы и момента инерции маятника. Уменьшить инертность руки со снарядом можно только одним способом – сгибанием в локтевом суставе. Поэтому в начале рывка рука сгибается. Завершается бросок выпрямленной рукой – при вращении тела вокруг оси линейная скорость какой-либо точки будет тем больше, чем по большему радиусу движется эта точка.

Еще одна из причин, по которой руку в конце броска выгодно полностью выпрямлять, связана с так называемым ускорением Кориолиса, которое возникает в случае, когда точка P (рис. 15) меняет свое положение во вращательной системе отсчета.

Когда во вращательном движении конечная точка системы звеньев меняет свое положение от P_1 к P_2 , т.е. увеличивается расстояние от оси вращения до данной точки (в нашем случае от оси в плечевом суставе до

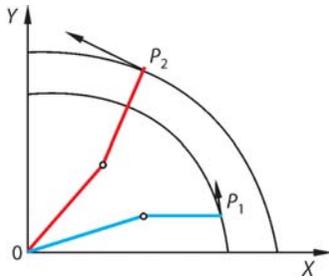


РИСУНОК 15 – Увеличение линейной скорости конечной точки системы звеньев при постоянной угловой скорости [90]

кости со снарядом), даже при постоянной угловой скорости системы, линейная скорость конечной точки увеличится. Одновременно изменится и направление вектора скорости. Это означает, что выпрямление руки в завершающей фазе разгона снаряда выгодно не только из-за увеличения радиуса вращения, но и в какой-то степени из-за появления ускорения Кориолиса, от величины которого зависит сила Кориолиса, которая в приведенном примере будет способствовать дополнительному растягиванию мышц.

Приведенные выше примеры доказывают исключительную роль левой ноги в повышении скорости вылета снаряда. Резюмируя можно заключить, что согласованная по времени, достаточная по силе и правильная по направлению работа левой ноги может способствовать: 1) приходу метателя в положение «натянутого лука» (позиция 2, рис. 14); 2) созданию условий для эффективной реализации феномена удлинение–укорочение соответствующих мышц при завершении броска; 3) увеличению линейной скорости плечевого пояса и руки со снарядом в сторону броска активным «хлестом туловища и руки со снарядом».

Подобная организация движений работы левой ноги наблюдается и в других видах метаний, в том числе толкании ядра, где снаряд намного тяжелее, скорости меньше, а время выполнения движений в несколько раз больше, чем в метании копья.

Горизонтальная составляющая силы реакции опоры левой ноги в фазе финального разгона у всех спортсменов ориентирована против направления толкания и тормозит продвижение тела спортсмена вперед (рис. 16).

Это означает, что движения левой ноги в фазе финального разгона имеют исключительно стопорящий характер, а также способствуют подъему ОЦМ тела спортсмена и ядра вверх. Спортсменов высокого класса отличает большая величина и крутизна нарастания как вертикальной, так и горизонтальной составляющих силы и меньшее ее снижение во время амортизации в суставах ноги.

Несмотря на имеющиеся индивидуальные различия, которые обусловлены разными способами постановки ноги на опору, разной манерой движения ноги в финале (акцент на разгибательную или вращательную работу) и согласованием в действиях правой и левой ноги, можно предполагать, что при современной тенденции к увеличению горизонтальной скорости движения системы «метатель–снаряд» [71] и активности торможения звеньев тела снизу–вверх с целью увеличить скорость вышележащих звеньев тела и снаряда [10], жесткая постановка левой ноги на опору и стремительное нарастание значительных по величине сил можно считать рациональными.

Одна из основных задач спортсмена в начале финального разгона заключается в том, чтобы, не потеряв горизонтальной скорости, дополнительно разогнать всю систему

«метатель–снаряд» в направлении броска. В связи с этим большое значение приобретают характер работы правой ноги и интервал времени от постановки правой ноги до касания левой ногой опоры (фазы переката), рисунок 17.

Мнения специалистов по поводу длительности фазы переката (или транзитной фазы) различны. Одни из них [13, 81] считают, что время переката с ноги на ногу должно быть как можно короче, т.е. целесообразно приземление почти одновременно на обе ноги, так как оно до минимума сократит эту пассивную с точки зрения ускорения снаряда фазу. Другие [63, 71, 77] полагают, что необходим некоторый интервал между моментами постановки ног, чтобы сохранить непрерывность разгона снаряда и избежать снижения горизонтальной скорости тела, которое может возникнуть вследствие преждевременного стопорящего действия левой ноги.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные данные позволяют утверждать, что разгон снаряда и спортивный результат зависят от индивидуальных согласований временных интервалов постановки как правой, так и левой ноги.

Правая нога в начале финального разгона должна разогнать всю систему «метатель–снаряд» в направлении броска, при этом до минимума снизив стопорящие (горизонтальные) силы и время их действия при ее постановке на опору после скрестного шага в метании копья или скачка в толкании ядра и сразу же создать возможно большие силы, продвигающие спортсмена и снаряд вверх–вперед в направлении вылета снаряда (рис. 18).

В дальнейшем ускоряющее действие правой ноги прекращается, направление го-

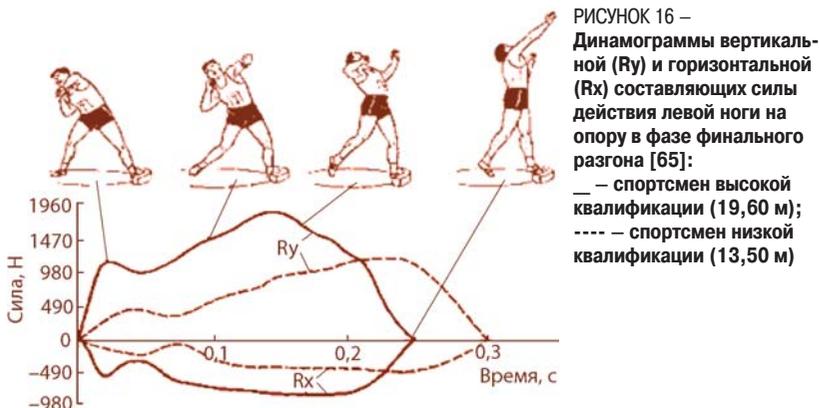
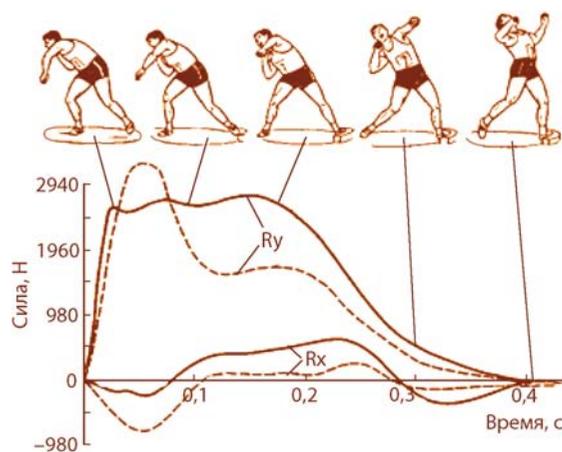


РИСУНОК 16 – Динамограммы вертикальной (R_y) и горизонтальной (R_x) составляющих силы действия левой ноги на опору в фазе финального разгона [65]:
— спортсмен высокой квалификации (19,60 м);
---- спортсмен низкой квалификации (13,50 м)



РИСУНОК 17 – Проталкивание правой ногой увеличивает скорость системы «метатель–снаряд»

РИСУНОК 18 – Динамограммы вертикальной (R_y) и горизонтальной (R_x) составляющих силы действия правой ноги на опору в фазе финального разгона [65]:
 — спортсмен высокой квалификации (19,60 м);
 - - - - спортсмен низкой квалификации (13,50 м)



ризонгальной составляющей силы давления на опору меняется на противоположное и тормозит продвижение спортсмена. Тормозящее действие правой ноги совпадает по времени с началом действия на опору левой ноги. Поскольку оно имеет исключительно стопорящий характер, то это приводит к активному торможению опорных звеньев тела.

Таким образом, правая нога в фазе финального разгона выполняет двойную функцию: сначала ускоряет движение всей системы «спортсмен–снаряд», а затем совместно с левой ногой тормозит движение звеньев тела в направлении снизу-вверх,

что в конечном итоге увеличивает скорость вышележащих звеньев тела и снаряда.

Какой должна быть длительность фазы переката? Поскольку высоких результатов спортсмены добиваются как при малом, так и при относительно большом времени переката, то решающим фактором является не длительность интервала времени до постановки левой ноги на опору после правой, а те силы, которые спортсмен развивает, действуя на опору: стопорящее действие левой ноги следует проявлять тогда, когда правая нога заканчивает ускоряющее действие на систему «спортсмен–снаряд». Такое распределение силы действия ног на

опору присуще большинству сильнейших метателей.

Выводы. Известный специалист по анализу движений Дж. Хей [45] определил биомеханику, как «науку о внутренних и внешних силах, действующих на тело человека, и эффектах, вызываемых этими силами». Это в очередной раз подчеркивает, что понимание динамической структуры физического упражнения, умение управлять ее составляющими – залог получения желаемых двигательных эффектов. Главное назначение тренера заключается в помощи спортсмену на пути достижения поставленной цели. И весомым вкладом со стороны тренера в достижение этой цели могут быть конкретные знания и понимание специфики применения биомеханических принципов организации движений в спортивной деятельности. Важнейшей особенностью спортивной техники является ее постоянное развитие и совершенствование. Изложенное позволяет предположить, что предложенная информация расширит теоретические представления о важности каждого компонента техники и его роли в системном единстве целостного двигательного акта, а также создаст предпосылки для разработки новых педагогических программ и технологий технической подготовки спортсменов на всех этапах спортивного совершенствования.

■ Литература

- Верхошанский Ю. В. Основы специальной физической подготовки спортсменов / Ю. В. Верхошанский. – М. : Физкультура и спорт, 1982. – 330 с.
- Гаввердовский Ю. К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика / Ю. К. Гаввердовский. – М. : Физкультура и спорт, 2007. – 911 с.
- Гамалий В. В. Теоретико-методические основы моделирования техники двигательных действий в спорте: [монография] / В. В. Гамалий. – К.: Полиграфсервис, 2013. – 300 с.
- Гамалий В. В. Исследование кинематической структуры ударного действия при выполнении подачи в теннисе с использованием современной оптико-электронной системы регистрации движений «QUALYSIS» / В. В. Гамалий, Ю. В. Литвиненко // Наука в олимп. спорте. – 2013. – № 1. – С. 80–89.
- Григалка О. Я. Толкание ядра и метание диска: [учеб. тренера по легкой атлетике] / О. Я. Григалка. – М. : Физкультура и спорт, 1974. – 423–447 с.
- Донской Д. Д. Биомеханика / Д. Д. Донской, В. М. Зацiorский. – М. : Физкультура и спорт, 1979. – 263 с.
- Зацiorский В. М. Физические качества спортсмена. Основы теории и воспитания / В. М. Зацiorский. – М. : Сов. спорт, 2010. – 200 с.
- Зацiorский В. М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В. М. Зацiorский, А. С. Аруин, В. Н. Селуянов. – М. : Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
- Коц Я. Спортивная физиология / Я. Коц. – М. : Физкультура и спорт, 1986. – 239 с.
- Ланка Я. Е. Обоснование техники спортивных метаний на основе изучения биомеханических принципов и кинематических механизмов / Я. Е. Ланка, А. А. Шалманов, // Материалы междунар. конф. «Спортивная наука и физическое воспитание». – Рига, Латвий. пед. акад. спорта, 2004. – С. 103–110.
- Селуянов В. Н. Физиология активности Н.А. Бернштейна как основа теории технической подготовки в спорте / В. Н. Селуянов, М. П. Шестаков // Теория и практика физ. культуры. – 1996. – № 2. – С. 64–70.

■ References

- Verkhoshanskiy YV. Basics of special physical preparation of athletes. Moscow: Fizkultura i sport; 1982. 330 p.
- Gavverdovskii YK. Teaching sports exercise. Biomechanics. Methodology. Didactics. Moscow: Fizkultura i sport; 2007. 911 p.
- Gamaliy VV. Theoretical and methodological bases for modeling technique of motor action in sports. Kyiv: Poligrafservis; 2013. 300 p.
- Gamaliy VV, Litvinenko YV. Study on kinematic structure of shot action when performing a stroke in tennis using modern opto-electronic motion capture system "QUALYSIS". Science in Olympic Sport. 2013;1:80–89.
- Grigalka OY. Shot put and discus throw: [tutorial for athletics coach]. Moscow: Fizkultura i sport; 1974. p. 423–447.
- Donskoi DD, Zatsiorsky VM. Biomechanics. Moscow: Fizkultura i sport; 1979. 263 p.
- Zatsiorsky VM. Physical qualities of an athlete. Basics of theory and development. Moscow: Sovetskii sport; 2010. 200 p.
- Zatsiorsky VM, Aruin AS, Seluyanov VN. Biomechanics of the human locomotor system. Moscow: Fizkultura i sport; 1981. 143 p.
- Kots Y. Sports physiology. Moscow: Fizkultura i sport; 1986. 239 p.
- Lanka YE, Shalmanov AA. Justification of throwing technique in sport through the study of biomechanical principles and kinematic mechanisms. In: Proceedings of the Internat. conf. Sports science and physical education. Riga: Latvian Pedagogical Academy of sport; 2004. p. 103–110.
- Seluyanov VN, Shestakov MP. N.A. Bernstein's physiology of activity as a basis of the theory of technical preparation in sport. Theory and practice of physical culture. 1996;2:64–70.
- Skrpichenko IN. Javelin throw. Belgorod; 2001. 134 p.
- Tutevich VN. Theory of athletic throwing motions. Mechanical and mathematical foundations. Moscow: Fizkultura i sport; 1969. 311 p.

12. Скрипниченко И. Н. Метание копья: [текст] / И. Н. Скрипниченко. — Белгород, 2001. — 134 с.
13. Тувевич В. Н. Теория спортивных метаний. Механико-математические основы / В. Н. Тувевич. — М.: Физкультура и спорт, 1969. — 311 с.
14. Шалманов А. А. Методологические основы изучения двигательных действий в спортивной биомеханике: дис. . . . доктора пед. наук / А. А. Шалманов. — М., 2002. — 334 с.
15. Alexander R. M. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues / R. M. Alexander, H. Bennet-Clark. — 1977. — Vol. 265. — P. 114–117.
16. Ariel G.B. Biomechanical Analysis of shotputting / G. B. Ariel // *Track and Field Quarterly Review*. — 1980. — N 79. — P. 27–37.
17. Ariel G.B. Biomechanical analysis of the shot-put event at the 2004 Athens Olympic games / G.B. Ariel // *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in sports*. — 2005. — Vol. 1. — P. 271–274.
18. Atwater Anne E. Movement characteristics of the overarm throw: A kinematic analysis of men and women performers / Anne E. Atwater. — University of Wisconsin-Madison, 1970. — Vol. 1. — P. 3–41.
19. Bahamonde R. Ground reaction forces of two types of strokes and tennis serve / R. Bahamonde, D. Knudson // *Med. and Sci. in Sports and Exercise*. — 2000. — Vol. 33 (5). — P. 102–112.
20. Bartlett R. Introduction to Sports Biomechanics / R. Bartlett. — London & New York: E& FN Spon, 1997. — 287 p.
21. Bartlett R. Sports Biomechanics. Reducing Injury and Improving Performance / R. Bartlett. — London & New York: E& FN Spon, 1999. — P. 276.
22. Bartlett R. M. Principles of throwing / R. M. Bartlett. — IOC Encyclopedia of Sports Medicine: Biomechanics in Sport, 2000. — P. 365–380.
23. Bartlett R. Biomechanics of throwing. Handbook of biomechanics and human movement science / R. Bartlett, M. Robins // New York: Routledge, 2008. — P. 285–296.
24. Bartlett R. Future Trends in Sports Biomechanics: Reducing Injury Risk or Improving Performance / R. Bartlett // *Proc. of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. — Beijing, China, 2005. — Vol. 1. — P. 3–15.
25. Bartonietz K. Javelin throwing: an approach to performance development: Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention / K. Bartonietz. — 2000. — P. 401–434.
26. Bartonietz K. Zum lernen ist niemand zu alt... / K. Bartonietz // *Leitch athletic training*. — 2006. — N 11. — S. 38–49.
27. Bennett M. B. Mechanical properties of various mammalian tendons / M. B. Bennett et al. // *J. Zool.* — 1986. — Vol. 209.4. — P. 537–548.
28. Best R. J. A three-dimension analysis of javelin throwing technique / R. J. Best, R. M. Bartlett, C. J. Morris // *J. Sport Sci.* — 1993. — N 11. — P. 315–328.
29. Biewener Andrew A. Muscle and tendon contributions to force, work, and elastic energy savings: a comparative perspective / Andrew A. Biewener, Thomas J. Roberts // *Exercise and sport sciences reviews*. — 2000. — Vol. 28. — P. 99–107.
30. Bober T. Biomechanical aspects of sports techniques / T. Bober. — Biomechanics VII (eds. A. Morecky, K. Fidelus, A. Witt) : University Park Press, Baltimore, 1980. — P. 501–509.
31. Bober T. Biomechanical aspects of sports techniques / T. Bober // *Biomechanics VII*. — University Park Press, Baltimore, 1981. — P. 501–509.
32. Broer M.R. Efficiency of Human Movement / M.R. Broer. — Philadelphia: Saunders Company, 1960. — 320 p.
33. Challis J. H. Muscle-tendon architecture and athletic performance / J. H. Challis // *Biomechanics in Sport Blackwell Sci.* — 2000. — P. 33–55.
34. Deutscher Leichtftletik-Verband (DLV) (Hrsg.): Schulerleichtftletik. Offizieller Rahmentrainingsplan des Deutschen Leichtftletik-Verbandes für das Grundlagentraining. Philippka Verlag, Munster. — 2004. — S. 117.
35. Dyson J. The Mechanics of Athletics / J. Dyson. — London: University of London Press, 7th edn. — 1984. — P. 74–81.
36. Ecker T. Track and Field Dynamics / T. Ecker. — Tafnews Press, 2nd edn. — 1974. — 148 p.
37. Elliott B. Technique effects on upper limb loading in the tennis serve / B. Elliott et al. // *J. of Sci. and Med. Sport*. — 2003. — Vol. 6.1. — P. 76–87.
38. Enoka R. Muscle strength and its development / R. Enoka // *Sports Medicine*. — 1988. — Vol. 6. — P. 146–168.
39. Frey A. C. Special considerations in strength training / A. C. Frey, W. J. Kraemer, K. Häkkinen. — Blackwell Science, LTD, Oxford, 2002. — P. 20–36
40. Fukunaga Tetsuo Muscle and tendon interaction during human movements / Tetsuo Fukunaga et al. // *Exercise and sport sciences reviews*. — 2002. — Vol. 30.3. — P. 106–110.
41. Shalmanov AA. Methodological bases of the study of motor actions in sports biomechanics [dissertation]. Moscow; 2002. 334 p.
42. Alexander R, Bennet-Clark H. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues. *Nature*. 1977;265(5590):114–117.
43. Ariel GB. Biomechanical Analysis of shotputting. *Track and Field Quarterly Review*. 1980;79:27–37.
44. Ariel GB. Biomechanical analysis of the shot-put event at the 2004 Athens Olympic games. In: *Proceedings of XXIII Intern. Symposium on Biomechanics in sports*; 2005;1:271–274.
45. Atwater AF. Movement Characteristics of the Overarm Throw: a Kinematic Analysis of Men and Women Performers. University of Wisconsin. 1970;1:3–41.
46. Bahamonde R, Knudson D. Ground reaction forces of two types of strokes and tennis serve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2000;33(5):102–112.
47. Bartlett R. Introduction to Sports Biomechanics. London & New York: E& FN Spon; 1997. 287 p.
48. Bartlett R. Sports Biomechanics. Reducing Injury and Improving Performance. London & New York: E& FN Spon; 1999; p.276.
49. Bartlett R. Principles of Throwing. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 365–380.
50. Bartlett R, Robins M. Biomechanics of Throwing. In: Hong Y, Bartlett R, editors. *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*. London: Routledge International Handbooks; 2008; p. 285–296
51. Bartlett R. Future Trends in Sports Biomechanics: Reducing Injury Risk or Improving Performance. In: *Proc. of XXIII Intern. Symposium on Biomechanics in Sports*. Beijing, China; 2005; 1; p. 3–15.
52. Bartonietz K. Javelin Throwing: an Approach to Performance. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 401–434.
53. Bartonietz K. Zum lernen ist niemand zu alt... *Leichtathletiktraining*. 2006;11:38–49; 12:16–28.
54. Bennet MB, Ker RF, Dimery NJ, Alexander RM. Mechanical properties of various mammalian tendons. *J. Zool Lond A*. 1986;209:537–548.
55. Best RJ, Bartlett RM, Morris CJ. A three-dimension analysis of javelin throwing technique. *J. of Sport Sciences*. 1993;11:315–328.
56. Biewenes AA, Roberts TJ. Muscle and tendon contributions to force, work and elastic energy savings: a comparative perspective. *Exerc. Sport Sci Rev*. 2000;28:99–107.
57. Bober T. Biomechanical aspects of sports techniques. In: Morecky A, Fidelus K, Witt A, editors. *Biomechanics VII*. Baltimore: University Park Press; 1980:501–509.
58. Bober T. Biomechanical aspects of sports techniques. In: Morecky A, Fidelus K, Witt A, editors. *Biomechanics VII*. Baltimore: University Park Press; 1981:501–509.
59. Broer MR. Efficiency of Human Movement. Philadelphia: Saunders Comp; 1960. 320 p.
60. Challis JH. Muscle-Tendon Architecture and Athletic Performance. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 33–55.
61. Verlag P. Deutscher Leichtftletik-Verband (DLV). Hrsg.: *Schulerleichtftletik*, Munster; 2004; p. 117.
62. Dyson J. The Mechanics of Athletics. 7th ed. London: University of London Press; 1984; p. 74–81.
63. Ecker T. Track and Field Dynamics. 2nd ed. Tafnews Press; 1974; p. 148.
64. Elliott B. The development of racket speed. In: *Biomechanics of Advanced Tennis*. ITF Ltd.; 2003; p. 33–47.
65. Enoka R. Muscle strength and its development. *Sports Medicine*. 1988;6:146–168.
66. Frey AC, Kraemer WJ, Häkkinen K. Special considerations in strength training. In: Kraemer W, Haakkinen K, editors. *Strength Training for Sport*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2002; p. 20–36.
67. Fukunaga T, Kawasaki Y, Kubo K, Keneshisa A. Muscle and tendon interaction during human movements. *Exerc. Sports Sci Rev*. 2002;30:106–110.
68. Gollhofer A. Muscle mechanics and neural control. In: Hong Y, Bartlett R, editors. *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*. London: Routledge International Handbooks; 2008; p. 83–91.
69. Groppe JL, Roetert EP. Applied physiology of tennis. *Sports and Medicine*. 1992;14(4):8.
70. Häkkinen K. Training-specific characteristics of neuromuscular performance. In: Kraemer W, Haakkinen K, editors. *Strength Training for Sport*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2002; p. 135–163.

41. Gollhofer A. Muscle mechanics and neural control: [Handbook of Biomechanics and Human Movement Science] / A. Gollhofer. — London: Routledge International Handbooks, 2008. — P. 83–91.
42. Groppe J. L. Applied physiology of tennis / J. L. Groppe, E. P. Roetert // *Sports and Medicine*. — 1992. — Vol. 4, N 14. — P. 8.
43. Häkkinen K. Training-specific characteristics of neuromuscular performance / Häkkinen K. — Blackwell Science, LTD., Oxford, 2002. — P. 135–163.
44. Harnes E. Javelin Technique. The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training / E. Harnes. — Tafnews Press, Los Altos, CA, 1974. — P. 118–121.
45. Hay J. G. The Biomechanics of Sports Technique / J. G. Hay. — Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. — P. 35–42.
46. Helenberger D. Temporal analysis of the javelin runup / D. Helenberger, M. Sander // *Contemporary Theory, Technique and Training*. — Tafnews Press, California 2000. — P. 155–163.
47. Herzog W. Mechanical properties and performance in skeletal muscles / W. Herzog. — *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Biomechanics in Sport*. — Oxford, Blackwell Science, 2000. — P. 21–32.
48. Hochmuth G. Biomechanik sportlicher Bewegungen / G. Hochmuth. — Berlin: Sportverlag Berlin, 1967. — 223 p.
49. Hochmuth G. Biomechanik sportlicher Bewegungen / G. Hochmuth. — Berlin: Sportverlag Berlin, 1981. — 208 p.
50. Hochmuth G. Biomechanics of Athletic Movement / G. Hochmuth. — Berlin: Sportverlag, 1984. — 171 p.
51. Huijing P. A. Elastic Potential of Muscle. Strength and Power in Sport / P. A. Huijing // *Oxford: Blackwell Scientific Publications*, 1992. — P. 151–168.
52. Ikegami Y. Biomechanical analysis of the javelin throw / Y. Ikegami, M. Miura, H. Matsui, I. Hashimoto. — VII-B, 1981. — P. 271–276.
53. Ivancevic T. Paradigm shift for future tennis / T. Ivancevic et al. — Berlin: Springer, 2011. — P. 373.
54. Koltai J. Athletes in Action: [the Official IAAF Book on Track and Field Techniques] / J. Koltai. — London: Pelham, 1985. — P. 2263–293.
55. Komi P.V. Elastic potentiation of muscle and its influence on sport performance. Biomechanik und sportliche Leistung / P.V. Komi. — Germany: Verlag Karl Hofman, 1983. — P. 59–70.
56. Komi P.V. Physiological and Biomechanical Analysis of Muscle Function / P.V. Komi // *Exercise and sport sciences reviews*. — 1984. — 12.1. — P. 81–122.
57. Komi P.V. Stretch-shortening cycle / P.V. Komi // *Strength and Power in Sports* / Komi P. (ed.). Blackwell Sciences, Oxford, 1992. — P. 169–179.
58. Komi P. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise / P. Komi, A. Gollhofer // *J. Appl. Biom.* — 1997. — Vol. 23. — P. 451–468.
59. Komi P.V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle / P.V. Komi // *J. Biom.* — 2000. — Vol. 33.10. — P. 1197–1206.
60. Komi P.V. Stretch-shortening cycle of muscle function / P.V. Komi, C. Nicol // *The Encyclopaedia of Sports Medicine: Biomechanics in Sport*. — 2000. — P. 87–102.
61. Kopsic Segal D. Tennis biodynamic system / Segal D. Kopsic. — Buenos Aires, Argentina. — 2003. — P. 275.
62. Lanka J. Shot putting / J. Lanka // *Biomechanics in sport*. — Blackwell Science, LTD, Oxford, 2000. — P. 435–457.
63. Lanka J. Evaluation methodology for assessing the effectiveness of sports techniques / J. Lanka, A. Konrads, A. Shalmanov // *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. — Beijing, China, 2006. — P. 202–206.
64. Lanka J. Integrative approach to the study and evaluation of technical preparedness in sports biomechanics / J. Lanka, A. Shalmanov, V. Medvedjev // *J. Sport Sci.* — 2012. — Vol. 3. — P. 3–21.
65. Lanka J. Biomechanical research of legwork in sport throwing events / J. Lanka // *Abstracts of 3rd Baltic Sport Science Conference «Physical Activity and Sport in Changing Society: Research, Theory, Practice and Management»*. — Riga, Latvia. — 2010. — P. 90.
66. Lees A. Technique analysis in sports: a critical review / A. Lees // *Journal of Sports Sciences*. — 2002. — N 20.10. — P. 813–828.
67. Lawler P. Developments in Javelin Technique / P. Lawler // *The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training*. — California: Tafnews Press, 2000. — P. 174–179.
68. Marhold G. Biomechanical analysis of the shot put / G. Marhold. — Baltimore, London, Tokyo: University Park Press. — 1974. — P. 175–180.
69. Mazzalitis V. Šķēpa mešanas ābece / V. Mazzalitis. — Riga: Latvijas šķēpa metēju klubs. — 1999. — 161 p.
44. Harnes E. Javelin Technique. In: Wilt F, editor. *The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training*. Los Altos, CA: Tafnews Press; 1974; p. 118–121.
45. Hay JG. *The Biomechanics of Sports Technique*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall; 1993; p. 35–42.
46. Helenberger D, Sanders MT. Temporal analysis of the javelin runup. In: Jarver J, editor. *The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training*. California: Tafnews Press; 2000; p. 155–163.
47. Herzog W. Mechanical properties and performance in skeletal muscles. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 21–32.
48. Hochmuth G. *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sportverlag Berlin; 1967. 1. Auflage; 223 p.
49. Hochmuth, G. *Biomechanik sportlicher Bewegungen*. Berlin: Sportverlag Berlin, 1981. 4. Präzisierte und erweiterte Auflage; 208 p.
50. Hochmuth G. *Biomechanics of Athletic Movement*. Berlin: Sportverlag; 1984. 171 p.
51. Huijing PA. Elastic Potential of Muscle. In: Komi PV, editor. *Strength and Power in Sport*. Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1992; p. 151–168.
52. Ikegami Y, Miura M, Matsui H, Hashimoto I. Biomechanical analysis of the javelin throw. In: *Biomechanics VII-B*; 1981; p. 271–276.
53. Ivancevic T, Jovanovic B, Jovanovic S, Djukic M, Lukman A. Paradigm shift for future tennis. Berlin: Springer; 2011. 373 p.
54. Koltai J. Javelin. In: Payne H, editor. *Athletes in Action: the Official IAAF Book on Track and Field Techniques*. London: Pelham; 1985; p. 2263–2293.
55. Komi PV. Elastic potentiation of muscles and its influence on sport performance. In: Baumann W, editor. *Biomechanik und Sportliche Leistung*. Schorndorf: Verlag Karl Hofmann; 1983; pp. 59–70.
56. Komi PV. *Physiological and Biomechanical Analysis of Muscle Function*. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 1984;12:81–121.
57. Komi PV. Stretch-shortening cycle. In: Komi P, editor. *Strength and Power in Sports*. Oxford: Blackwell Sciences; 1992; p. 169–179.
58. Komi P, Gollhofer A. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise. *Journal of Applied Biomechanics*. 1997;23:451–468.
59. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *Journal of Biomechanics*. 2000;33:1197–2006.
60. Komi PV, Nicol C. Stretch-shortening cycle of muscle function. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 87–102.
61. Kopsic Segal D. *Tennis biodynamic system*. Buenos Aires, Argentina: Indugraf S.A.; 2003; p. 275.
62. Lanka J. Shot putting. In: Zatsiorsky VM, editor. *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 435–457.
63. Lanka J, Konrads A, Shalmanov A. Evaluation methodology for assessing the effectiveness of sports techniques. In: *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Beijing, China; 2006. p. 202–206.
64. Lanka J, Shalmanov A, Medvedjev V. Integrative approach to the study and evaluation of technical preparedness in sports biomechanics. *LASE Journal of Sport Science*. 2012;3(1):3–21.
65. Lanka J. Biomechanical research of legwork in sport throwing events. In: *Abstracts of 3rd Baltic Sport Science Conference Physical Activity and Sport in Changing Society: Research, Theory, Practice and Management*. Riga, Latvia; (2010). p. 90.
66. Lees A. Technique analysis in sports: a critical review. *J Sports Sci*. 2002 Oct;20(10):813–828.
67. Lawler P. Developments in Javelin Technique. In: Jarver J, editor. *The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training*. California: Tafnews Press; 2000; p. 174–179.
68. Marhold G. Biomechanical analysis of the shot put. In: *Biomechanics IV*. Baltimore, London, Tokyo: University Park Press; 1974; p. 175–180.
69. Mazzalitis V. Šķēpa mešanas ābece. Riga: Latvijas šķēpa metēju klubs; 1999. 161 p.
70. McGinnis PM. *Biomechanics of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics; 2005. 401 p.
71. Milller DI, Munro CF. Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding release. *J. of Human Movement Studies*. 1993;9(1):1–20.
72. Morris CJ, Bartlett RM. The height of carry of the javelin and its relationship with throwing performance. In: Vitasalo J, Kujala U, editors. *The way to win*. Helsinki; 1995; p. 133–136.

70. McGinnis P. M. Biomechanics of Sport and Exercise. Human Kinetics / P. M. McGinnis. – Champaign, IL, 2005. – 401 p.
71. Miller D. I. Javelin position and velocity patterns during final foot plant preceding release / D. I. Miller, C. F. Munro // J. Human Movement Studies. – 1993. – Vol. 9, N1. – P. 1–20.
72. Morriss C. J. The height of carry of the javelin and its relationship with throwing performance / C. J. Morriss, R.M. Bartlett. – Helsinki, 1995. – P. 133–136.
73. Morriss C. Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics / C. Morriss, R. Bartlett, N. Fowler // New Studies in Athletics. – 1997. – N 2/3. – P. 31–41.
74. Navarro E. A procedure for determining the acceleration phase in javelin throwing / E. Navarro, J. Campos, P. Vera, E. Chillaron // Biomechanics in Sports XII, Proceedings of the 12th Intern. Symposium on Biomechanics in sports. – Budapest, 2004. – P. 357–359.
75. Ogioldo P. The javelin throw and the role of speed in throwing events / P. Ogioldo. – California: Tafnews Press, 2000. – P. 169–174.
76. Reid M. Muscle activity: an indicator for training / M. Reid, J. Chow, M. Crespo // Biomechanics of Advanced Tennis. – 2003. – P. 111–136.
77. Rich R. G. Kinematic analysis of elite javelin throwers / R. G. Rich // The Throws. XIV Congress of the European Athletics Coaches Association. – Aix-Les-Bains, 1987. – P. 69–73.
78. Semmler J. G. Muscle action in sport and exercise / J. G. Semmler, R. M. Enoka // Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention. – Oxford: LTD, 2000. – P. 3–21.
79. Sing R. F. The Dynamics of the Javelin Throw / R. F. Sing. – Cherry Hill: Reynolds Publishers, 1984. – P. 123–132.
80. Terauds J. How does your javelin behave? / J. Terauds // The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training. Jarver, J. (ed). Tafnews Press, 1980. – P. 98–107.
81. Terauds J. Biomechanics of the Javelin Throw / J. Terauds. – California: Academic Publishers, 1985. – P. 239.
82. Tidow G. Factors determining ballistic movement speed / G. Tidow // Abstract book of 3rd International Conference on Strength Training, Budapest, 2003. – P. 44–48.
83. Tihanyi J. Biomechanics of Tendon Ligaments / J. Tihanyi // Abstract book of 3rd International Conference on Strength Training, Budapest, 2003. – P. 49–53.
84. Viitasalo J. Biomechanical research during sports competitions. / J. Viitasalo // The way to win. Ed. J. Viitasalo, U. Kajala. Helsinki, 1995. – P. 137–140.
85. Watkins J. Structure and Function of the Musculoskeletal System. Human Kinetics / J. Watkins. – Champaign, IL., 1999. – P. 365.
86. Wick D. Biomechanik im Sport / D. Wick. – Balingen, 2009. – 290 p.
87. Zatsiorsky V. Science and Practice of Strength Training. Human Kinetics / V. Zatsiorsky, W. Kraemer. – 2006. – 251 p.
88. Zatsiorsky V. M. Biomechanical Analysis of Shot Put Technique / V. M. Zatsiorsky, G. E. Lanka, A. A. Shalmanov // Exercise and Sport Sciences Reviews. – 1982. – N 9. – P. 353–389.
89. Zatsiorsky V. Biomechanics of Skeletal Muscles / V. Zatsiorsky, B. Prilutsky // Human Kinetics. – 2012. – Ed. 1. – P. 536
90. Zatsiorsky V. M. Kinematics of Human Motion / V. M. Zatsiorsky. – Compaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1998. – P. 419.
91. Zatsiorsky V. M. Strength and Practice of Strength Training / V. M. Zatsiorsky. – Compaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1995. – P. 242.
73. Morriss C, Bartlett R, Fowler N. Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics. New Studies in Athletics. 1997;2/3:31–41.
74. Navarro E, Campos J, Vera P, Chillaron E. A procedure for determining the acceleration phase in javelin throwing. In: Proceedings of the 12th Intern. Symposium on Biomechanics in sports. Budapest; 1994. p. 357–359.
75. Ogioldo P. The javelin throw and the role of speed in throwing events. In: Jarver J, editor. The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training. California: Tafnews Press; 2000; p. 169–174.
76. Reid M, Chow J, Crespo M. Muscle activity: an indicator for training. In: Elliott B, Reid M, Crespo M, editors. Biomechanics of Advanced Tennis. ITF LTD; 2003; p. 111–136.
77. Rich RG, Gregor RJ, Whiting WC, McCoy RW. Kinematic analysis of elite javelin throwers. In: XIV Congress of the European Athletics Coaches Association The Throws. Aix-Les-Bains; 1987. p. 69–73.
78. Semmler JG, Enoka RM. Muscle action in sport and exercise. In: Zatsiorsky VM, editor. Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention. Oxford: Blackwell Science, LTD; 2000; p. 3–21.
79. Sing RF. The Dynamics of the Javelin Throw. Cherry Hill, N.J.: Reynolds Publishers; 1984; p. 123–132.
80. Terauds J. How does your javelin behave? In: Jarver J, editor. The Throws. Contemporary Theory, Technique and Training. California: Tafnews Press; 2000.
81. Terauds J. Biomechanics of the Javelin Throw. Del Mar, California: Academic Publishers; 1985; p. 239.
82. Tidow G. Factors determining ballistic movement speed. In: Abstract book of 3rd Intern. Conf. on Strength Training. Budapest; 2003. p. 44–48.
83. Tihanyi J. Biomechanics of Tendon Ligaments. In: Abstract book of 3rd Intern. Conf. on Strength Training. Budapest; 2003. p. 49–53.
84. Viitasalo J. Biomechanical research during sports competitions. In: Viitasalo J, Kajala U, editors. The way to win. Helsinki; 1995; p. 137–140.
85. Watkins J. Structure and Function of the Musculoskeletal System. Champaign, IL.: Human Kinetics; 1999; p. 365.
86. Wick D. Biomechanik im Sport. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co; 2009. 290 p.
87. Zatsiorsky V, Kraemer W. Science and Practice of Strength Training. Compaign, IL: Human Kinetics; 2006. 251 p.
88. Zatsiorsky V, Lanka J, Shalmanov A. Biomechanical Analysis of Shot Put Technique. Exercise and Sport Sciences Reviews. 1982;9:353–389.
89. Zatsiorsky V, Prilutsky B. Biomechanics of Skeletal Muscles. Compaign, IL: Human Kinetics; 2012. 536 p.
90. Zatsiorsky VM. Kinematics of Human Motion. Compaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1998. 419 p.
91. Zatsiorsky VM. Strength and Practice of Strength Training. Compaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1995. 242 p.

Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина
gamali@ua.fm

Поступила 19.01.2017