



**ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧЕСКИЕ  
АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УПРУГИХ  
СВОЙСТВ СУХОЖИЛЬНО-МЫШЕЧНЫХ  
СТРУКТУР ЧЕЛОВЕКА В ОРГАНИЗАЦИИ  
ПЕРЕМЕЩАЮЩИХ ДВИЖЕНИЙ В СПОРТЕ**

*Ланка Янис*

Латвийская академия спортивной педагогики  
*Гамалий Владимир, Литвиненко Юрий., Шевчук Елена*  
Национальный университет физического воспитания и спорта  
Украины

**Анотація**

Вивчено можливості використання пружних властивостей сухожильно-м'язових структур людини в організації переміщувальних рухів, в спорті, до яких відносяться різні ударні дії і метання. Проведено аналіз літературних джерел щодо реверсивного режиму скорочення м'язів. Вивчено фактори і механізми, що визначають величину сили і можливе її збільшення у фазі концентричного скорочення в циклі розтягнення-скорочення. Показана біомеханічна складова практичної реалізації пружних властивостей сухожильно-м'язових структур людини при виконанні ударних рухів і метань.

**Ключові слова:** переміщувальні рухи, сухожильно-м'язові структури, сила скорочення м'язів, спортивна техніка.

**Annotation**

The possibilities of using the elastic properties of the tendon-muscle structures of a person in the organization of propulsive motion in sports, which include various stroke actions and throwing, are studied. An analysis of literature sources on the reverse mode of muscle contraction has been carried out. Factors and mechanisms determining the magnitude of the force and its possible increase in the phase of concentric contraction in the stretching-contraction cycle are studied. The biomechanical component of the practical realization of the elastic properties of the human tendon-muscle structures is shown in the performance of stroke actions and throwing.

**Key words:** propulsive motion, tendon-muscle structures, muscle contraction force, sports technique.

**Актуальность.** 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 развивает большую мощность [12, 13, 16, 26, 39]. Такой тип (режим) мышечной активности, когда сокращение следует сразу после удлинения, в биомеханике называют циклом растягивания-сокращения (PC) (stretch-shortening cycle – на англ.) или реверсивным режимом сокращения мышц (reversible muscle action – на англ.) [3, 25, 26, 29, 39]. Если сопротивление, приложенное к мышце, останется неизменным, скорость ее сокращения увеличится, что соответственно увеличит скорость движения звена, к которому мышца прикреплена.

Этот физиологический феномен достаточно широко используется в спортивной практике при организации перемещающих движений, к которым относятся



различные ударные действия и метания. Главной, объединяющей целью этих движений является достижение максимальной скорости или взаимодействующего биоэвена в момент удара, или спортивного снаряда в момент вылета [1]. Теоретическое обоснование физиологических механизмов построения движений с реверсивным режимом сокращения мышц требует более глубокого рассмотрения процессов, обеспечивающих необходимый эффект действия, с позиции биомеханической составляющей их практической реализации в спортивной практике.

**Связь работы с научными программами.** Работа выполнена в соответствии с «Планом научно-исследовательской работы Национального университета физического воспитания и спорта Украины на 2016-2020 гг.» по теме 2.32 «Техническая подготовка квалифицированных спортсменов на основе моделирования рациональной двигательной структуры спортивных упражнений» (номер государственной регистрации 0114U001531).

**Цель.** Изучить возможности использования упругих свойств сухожильно-мышечных структур человека в организации перемещающих движений в спорте.

**Методы исследования.** Теоретический анализ и обобщение данных научно-методической литературы и информации мировой сети Internet.

**Результаты исследования.** Величина силы и возможное ее увеличение в фазе концентрического сокращения в цикле растяжение-сокращение определяется несколькими факторами.

\* Первый – максимальная изометрическая сила мышц. В середине цикла растяжение-сокращение, когда происходит переход от удлинения мышц к укорочению, от эксцентрического к концентрическому режиму работы, мышцы проявляют силу в изометриче-

ском режиме. Величины силы и мощности, которые могут проявить мышцы в эксцентрическом или концентрическом режимах, зависят от их максимальной изометрической силы [38]. Однако, по данным экспериментальных исследований [29, 36] 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 демонстрировать 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 тренировать своими методами, используя избирательно специальные упражнения [38, 40].

\* Второй – зависимость «сила – длина». 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 [4, 37, 39]. В естественной анатомической рабочей зоне мышц связь «сила – длина» носит почти линейный характер [16]. Длину, при которой мышца может развить максимальную силу, в физиологии называют длиной покоя мышцы, в биомеханике – оптимальной длиной мышцы. Оптимальная длина мышцы обычно достигается при максимальном удалении друг от друга костных рычагов и точек прикрепления мышц [37]. Ни одно упражнение, рассчитанное на мощную мышечную работу, не может быть выполнено эффективно, если не учитывается

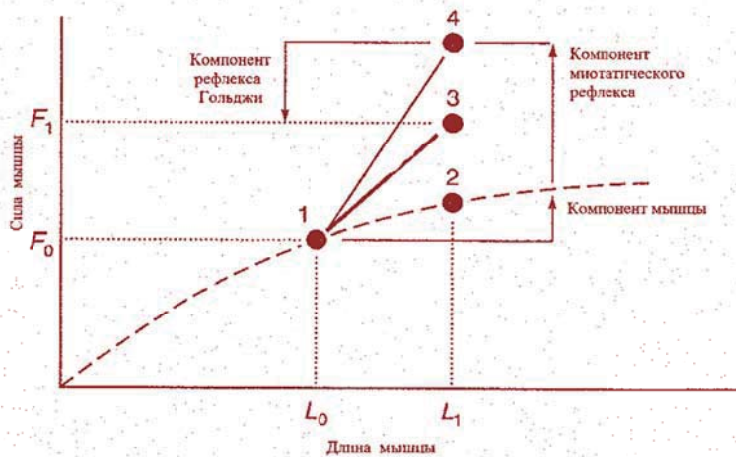
эта закономерность, отмечает Ю. Гавердовский [1]. От величины деформации, от скорости деформирования, от того, в каком состоянии мышца – расслабленная или возбужденная – удлиняется и какие при этом нейральные механизмы задействованы, зависит качество выполненного движения.

\* Третий – нейральные механизмы. В первой фазе цикла растяжение-сокращение под действием силы тяжести и особенно сил инерции мышцы удлиняются. Резко возрастает сила, которую мышцы развивают во второй фазе цикла – фазе сокращения (рис.2).

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 растяжению [4, 20]. В результате сила, приложенная мышцей к кости, значительно превышает то значение силы, которое 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 [37]. Рефлекс на растяжение действует автоматически, без участия сознания человека. Поэтому прирост силы сокращения мышцы, вызванный рефлексом, может значительно





**Рис. 2. Механизмы, определяющие увеличение силовых возможностей при предварительном растягивании мышц [40].**

При удлинении мышцы с длины  $L_0$  до  $L_1$  сила увеличивается от  $F_0$  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 (рефлекс на растяжение). 3. Нарастание силы ограничивает действие рефлекса Гольджи. 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 сухожильного комплекса.

превысить ту величину силы, которую человек может проявить сознательно, произвольно [32].

Наряду с увеличением силы, под действием рефлекса на растяжение столь же значительно может вырасти и скорость нарастания силы, что означает соответствующее увеличение и мощности мышечного сокращения [24]. По ее мнению, рефлекс на растяжение лежит в основе большинства спортивных движений, от него зависит продуцированные спортсменом сила и скорость. Особенно важное значение этот рефлекс имеет при выполнении двигательных действий, требующих проявления значительных и быстрых мощных мышечных усилий [1].

Одновременно с рефлексом растяжения при удлинении мышечно-сухожильных 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 рефлекс Гольджи уменьшает интенсивность эферентной импульсации, идущей к мышце, а в результате — и силы сокращения мышцы, что показано стрелкой вниз на рис. 2.

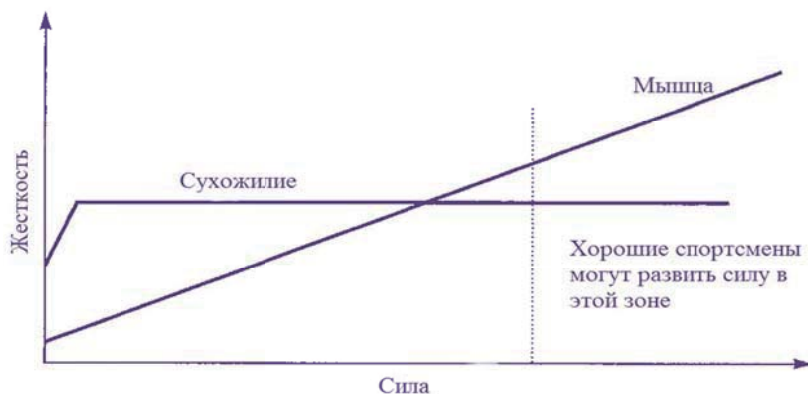
Экспериментально доказано, что влияние на проявляемую мышцами силу и мощность миотатического рефлекса и сухожильного рефлекса тренируемо. Удлинение на одну и ту же величину тренированной мышцы дает

больший прирост силы и мощности, чем мало тренированной [25]. Экспериментально доказано, что под влиянием специальной тренировки уменьшается и угнетающая роль рефлекса Гольджи [14, 39]. Хорошо тренированные спортсмены в фазах движений с эксцентрическим режимом работы мышц способны проявить значительно большие значения силы, чем недостаточно тренированные [40].

\* Четвертый механизм — 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 [23, 34]. В первой, эксцентрической фазе РС цикла в сухожильно-мышечном комплексе 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 увеличивается скорость движения звена тела [29]. Экспериментально доказано, что способность в фазе растягивания сухожильно-мышечных структур аккумулировать энергию упругой деформации и эффективно ее использовать в концентрической фазе цикла РС тренируема [18, 21, 28, 40]. Увеличение вклада упругой компоненты — это важный показатель тренированности спортсмена [14].

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





**Рис. 3. Жесткость мышцы и сухожилия [40].**

*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*

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 [20, 35].

Пассивная, расслабленная мышца легко растяжима. Жесткость активной мышцы увеличивается пропорционально степени напряжения [22], и у максимально возбужденной мышцы в 4-5 раз больше, чем у расслабленной [39]. Это означает, что при удлинении расслабленную и возбужденную мышцу 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 [39]. Скорость растягивания мышц, как отмечает известный тренер метателей копья В. Маззалинис [31], является важным показателем качества спортивной техники: величина приложенной к копьё силы зависит не

только от скоростно-силовой подготовленности 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 в кинетическую энергию во второй фазе. Процесс перехода энергий проходит более эффективно, если жесткость мышцы выше [30], однако при одном важном и в реальных движениях трудно выполнимом 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 в отдельности и все вместе опреде-

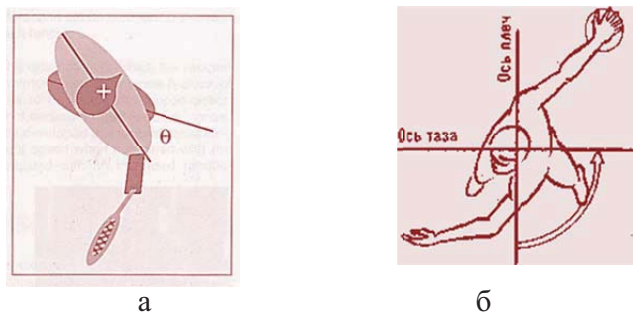
ляют механические свойства сухожильно мышечного комплекса.

Свойство мышц накапливать энергию упругой деформации и утилизировать ее, т.е. превращать из потенциальной в кинетическую, тренируемо [17, 21, 30]. Вклад, так называемой, упругой компоненты в спортивный результат у спортсменов экстра-класса значительно выше, чем у атлетов более низкой подготовленности [9].

Мышцы спортсменов высокого класса хорошо тренированы, им свойственно сокращаться с большой силой. Жесткость таких мышц, когда они максимально напряжены, может превышать жесткость сухожилий [39]. 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. 3). Это означает, что сухожилия из пассивных структурных элементов превращаются в активные, способные накапливать и отдать упругую энергию, суммировать силу упругой деформации с силой сокращения мышцы.

По мнению специалистов [7, 19, 40] в мощностных упражнениях 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 дает возможность в быстром движении мышечным волокнам сокращаться с меньшей скоростью, т.е., близко к изометрическому, – даже в очень быстрых движениях и таким образом снизить степень влияния зависимости «сила-ско-





**Рис. 4. «Обгон звеньев»:**

а – при выполнении удара в теннисе. Угол  $\theta$  – угол «скручивания» или «натяжения», угол между осями таза и плечевого пояса [16]  
 б – угол «натяжения» при метании диска [6]

рость» на проявляемую мышцей силу. Девяносто три процента от накопленной энергии упругой деформации в сухожилиях и других соединительнотканых структурах превращается в механическую работу и только 7% – в тепло [10, 11].

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 длины сухожилия к длине мышечных волокон.

Обобщая результаты множества исследований, проведенных по изучению РС цикла и путей повышения его эффективности, можно выделить три главные условия выполнения [28]:

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

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

3) мгновенный переход от эксцентрической фазы к концентрической. При появлении интервала времени между фазами цикла часть накопленной энергии упру-

гой деформации успеет превратиться в тепло.

Специальные исследования в теннисе показывают, что за счет действия РС цикла скорость ракетки возрастает примерно на 10%-20% [15]. 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 длительность интервала была в пределах одной секунды. При интервале в две секунды потеря составляла 80%, а в течение четырех секунд вся накопленная энергия была релаксирована. По данным В. Elliott [16] пауза в одну секунду дает всего 10% прироста скорости ракетки, что в два раза меньше, если разгон ракетки следует сразу же после замаха. Использование энергии упругой деформации в теннисном ударе особенно важно: 1) в начале разгона ракетки, пока сила сокращения мышц еще мала; 2) для новичков, силовые возможности мышц которых недостаточны для быстрого разгона ракетки [16]. Известно, что сила сокращения мышц увеличивается не эксплозивно, а сравнительно медленно. Даже у хорошо тренированных спортсменов на достижение максимальных силовых показателей требуется 300-400 мс времени

[2, 20]. Роль скорости нарастания силы (градиент силы) и использования силы упругой деформации особо повышается в кратковременных, быстрых движениях, время выполнения которых не превышает 200 мс [33].

Действие цикла РС в многозвенной кинематической цепи человека обеспечивается двумя основными способами: 1) выполняя движения отведения, сгибания, скручивания, замаха и т.п. перед выполнением главной фазы движения; 2) резко ускоряя в определенном направлении проксимальный сустав, вызывая ускоренное вращение присоединенного звена в противоположную сторону [1, 8]. Угол в суставе, в котором звенья соединены, изменяется. Соответственно, изменяется длина мышц, сухожилий, связок, т.е. тех анатомических структурных элементов, которые обслуживает и укрепляет данный сустав.

Перед ударом или выбрасыванием снаряда особенно 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. 4). В ударах одной рукой в теннисе у квалифицированных спортсменов величина этого угла в среднем достигает  $30^\circ$  [15], у толкателей ядра –  $20-25^\circ$  [5].

Механический импульс волнообразно перемещается от расположенных ближе к опоре звеньев 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 обеспечении «передачи» ме-



ханической энергии от звеньев, расположенных ниже к вышерасположенным [6]. Нижележащие звенья в этом случае – те звенья, которые первыми включаются в движение. Особую роль в переходе механической энергии от звена к другим звеньям в многозвеновой системе играют двусуставные мышцы [38].

Механический импульс волнообразно перемещается от расположенных ближе к опоре звеньев 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 обеспечении «передачи» механической энергии от звеньев расположенных ниже к вышерасположенным [6]. Нижележащие звенья в этом случае – те звенья, которые первыми включаются в движение. Особую роль в переходе механической энергии от звена к другим звеньям в многозвеновой системе играют двусуставные мышцы [38].

Особенно активно эффект обгона звеньев происходит в плечевом поясе и в руке со снарядом. В движениях, выполненных технически целесообразно, плечевой пояс отстает от тазобедренного, верхняя конечность – от плечевого, 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 [1].

**Выводы:** Механизмы использования упругих свойств сухожильно-мышечных структур человека в организации перемещающих движений в спорте

имеют свою специфику и особенности практической реализации. Свойство мышц накапливать энергию упругой деформации и утилизировать ее, т.е. превращать из потенциальной в кинетическую, определяет вклад, так называемой, упругой компоненты в спортивный результат. Увеличение вклада упругой компоненты – это важный показатель тренированности спортсмена.

Одним из главных механизмов успешной реализации упругих свойств сухожильно-мышечных структур человека при выполнении ударов и метаний является передача движения от опорных звеньев к рабочему звену.

Мышцы спортсменов высокого класса могут развить большую силу 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.

При организации тренировочного процесса необходимо учитывать, 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 демонстрировать большую силу и скорость.

#### Литература

1. Гавердовский Ю.К. Обучение спортивным упражнениям. Биомеханика. Методология. Дидактика/ Ю.К. Гавердовский. – М.: Физкультура и Спорт, 2007. – 911с.
2. Зацюрский В.М. Физические качества спортсмена. Основы теории и воспитания/ В.М. Зацюрский. – М.: Советский спорт, 2010. – 200 с.

3. Зацюрский В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека/ В.М. Зацюрский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Физкультура и Спорт, 1981. – 143 с.
4. Коц Я. Спортивная физиология/ Я. Коц. – М.: Физкультура и Спорт, 1986. – 239 с.
5. Ланка Я.Е. Обоснование техники спортивных метаний на основе изучения биомеханических принципов и кинематических механизмов/ Я.Е. Ланка, А.А. Шалманов, // Материалы международной конференции: «Спортивная наука и физическое воспитание». Рига, Латвийская педагогическая академия спорта, 2004. – С. 103-110.
6. Тутевич В.Н. Теория спортивных метаний. Механико-математические основы/ В.Н. Тутевич. – М.: Физкультура и Спорт, 1969. – 311 с.
7. Alexander R.M. Storage of elastic strain energy in muscle and other tissues/ R.M. Alexander, H. Bennet-Clark. – 1977. – V. 265. – P. 114-117.
8. Bartlett R. Sports Biomechanics. Reducing Injury and Improving Performance/ R. Bartlett. – London & New York: E& FN Spon, 1999. – P. 276.
9. Bartonietz K. Javelin throwing: an approach to performance development: Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention/ K. Bartonietz. – 2000. – P. 401-434.
10. Bennett M.B. Mechanical properties of various mammalian tendons/ M.B. Bennett et al. // Journal of Zoology. – 1986. – V. 209.4. – P. 537-548.
11. 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. – V. 28. – P. 99-107.
12. Bober T. Biomechanical aspects of sports techniques/ T. Bober// Biomechanics VII. – University Park Press, Baltimore, 1981. – P. 501-509.
  13. Broer M.R. Efficiency of Human Movement/ M.R. Broer. – Philadelphia: Saunders Company, 1960. – 320 p.
  14. Challis J.H. Muscle-tendon architecture and athletic performance/ J.H. Challis// Biomechanics in Sport Blackwell Science. – 2000. – P. 33-55.
  15. Ecker T. Track and Field Dynamics/ T. Ecker. – Tafnews Press, 2nd edn. – 1974. – 148 p.
  16. Elliott B. Technique effects on upper limb loading in the tennis serve/ B. Elliott et al.// Journal of Science and Medicine in Sport. – 2003. – V. 6.1. – P. 76-87.
  17. Enoka R. Muscle strength and its development/ R. Enoka// Sports Medicine. – 1988. – V. 6. – P. 146-168.
  18. Frey A.C. Special considerations in strength training/ A.C. Frey, W.J. Kraemer, K. Häkkinen. – Blackwell Science, LTD., Oxford, 2002. – P. 20-36
  19. Fukunaga Tetsuo Muscle and tendon interaction during human movements/ Tetsuo Fukunaga et al.// Exercise and sport sciences reviews. – 2002. – V. 30.3. – P. 106-110.
  20. Gollhofer A. Muscle mechanics and neural control: [Handbook of Biomechanics and Human Movement Science]/ A. Gollhofer. – London: Routledge International Handbooks, 2008. – P. 83-91.
  21. Häkkinen K. Training-specific characteristics of neuromuscular performance / Häkkinen K. – Blackwell Science, LTD., Oxford, 2002. – P. 135-163.
  22. 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.
  23. Huijing P.A. Elastic Potencial of Muscle. Strength and Power in Sport/ P.A. Huijing// Oxford : Blackwell Scientific Publications, 1992. – P.151-168.
  24. Ivancevic T. Paradigm shift for future tennis/ T. Ivancevic et al. – Berlin: Springer, 2011. – P. 373.
  25. 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.
  26. Komi P.V. Physiological and Biomechanical Analysis of Muscle Function/ P.V. Komi // Exercise and sport sciences reviews. – 1984. – 12.1. – P. 81-122.
  27. Komi P.V. Strech-shortening cycle. In: Strength and Power in Sports. Komi P. (ed.). Blackwell Sciences, Oxford, 1992. P. 169 -179.
  28. Komi P. Stretch reflex can have an important role in force enhancement during SSC exercise/ P. Komi, A. Gollhofer// Journal of Applied Biomechanics. – 1997. – Vol. 23. – P. 451-468.
  29. Komi Paavo V. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle/ Paavo V. Komi// Journal of biomechanics. – 2000. – V. 33.10. – P. 1197-1206.
  30. Komi P.V. Strech-shortening cycle of muscle function/ P.V. Komi, C. Nicol// The Encyclopaedia of Sports Medicine: Biomechanics in Sport. – 2000. – P. 87-102.
  31. Mazzālītis V. Šķēpa mešanas ābece/ V. Mazzālītis. – Rīga: Latvijas šķēpa metēju klubs, 1999. – 161 p.
  32. McGinnis P.M. Biomechanics of Sport and Exercise. Human Kinetics/ P. M. McGinnis. – Champaign, IL, 2005. – 401 p.
  33. Reid M. Muscle activity: an indicator for training/ M. Reid, J. Chow, M. Crespo// Biomechanics of Advanced Tennis. – 2003. – P. 111-136.
  34. 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.
  35. Zatsiorsky V.M. Strength and Practice of Strength Training / V. M. Zatsiorsky. – Compaign, IL: Human Kinetics Publishers, 1995. – P. 242.
  36. Zatsiorsky V. Science and Practice of Strength Training. Human Kinetics/ V. Zatsiorsky, W. Kraemer. – 2006. – 251 p.
  37. Zatsiorsky V. Biomechanics of Sceletal Muscles/ V. Zatsiorsky, B. Prilutsky// Human Kinetics. – 2012. – Edition 1 . – P. 536
  38. Tihanyi J. Biomechanics of Tendon Ligaments/ J. Tihanyi// Abstract book of 3rd International Conference on Strength Training, Budapest, 2003. – P. 49-53.
  39. Viitasalo, J. Biomechanical research during sports competitions./ J. Viitasalo// The way to win. Ed. J. Viitasalo, U. Kajala. Helsinki, 1995. – P. 137-140.
  40. Watkins J. Structure and Function of the Musculoskeletal System. Human Kinetics/ J. Watkins. – Champaign, IL., 1999. – P. 365.

