

БИОМЕХАНИКА И СПОРТ

УДК 796.012

ББК 75.0

Д 42

А.М. Доронин

К вопросу о совершенствовании биомеханической структуры специальных упражнений в спорте

Аннотация:

В статье представлено обоснование применения авторского тренажёра для повышения эффективности взаимодействия спортсмена с опорой в локомоторных движениях прыжкового характера.

Ключевые слова:

Скоростно-силовое упражнение, локомоторные движения, прыжки, эффективность, силовые движения, нагрузки на мышцы, двигательные действия, совершенствование методики, сила сопротивления.

В спортивных скоростно-силовых упражнениях на различных участках движения силовые и скоростные возможности мышц проявляются по-разному. В прыжке вверх с места наиболее эффективен тот вариант приложения силы, который соответствует минимуму расходуемой спортсменом энергии при равных условиях проявления импульса вертикальной составляющей силы реакции опоры (F_z). Это происходит, когда управляющее воздействие реализуется по принципу уменьшающегося отягощения. Различные режимы сопротивлений движению способствуют автоматическому изменению нагрузки на мышцы, а через нее – регулированию двигательных действий спортсмена при непосредственном выполнении упражнения [10].

Применение тренажерных устройств, позволяющих повысить избирательность воздействия на нервно-мышечный аппарат спортсмена путем использования различных сочетаний режимов работы групп мышц, является одним из прогрессивных направлений в совершенствовании методики развития скоростно-силовых качеств спортсменов [1].

Однако теоретические положения, позволяющие обосновать применение тренажёров в тренировке спортсменов, двигательная деятельность которых связана с выполнением локомоторных движений прыжкового характера, разработаны фрагментарно. Это, в свою очередь, оставляет неиспользованными значительные резервы повышения эффективности процесса разработки новых методик и формирования рекомендаций для тренера и спортсмена по применению тренажеров в учебно-тренировочном процессе.

В связи с этим целью исследования являлось обоснование целесообразности применения нетрадиционных средств тренировки, направленных на повышение эффективности взаимодействия спортсмена с опорой в локомоторных движениях прыжкового характера. Для этого необходимо решить две основные задачи:

1) правильно выбрать природу внешних сил воздействия на спортсмена, а следовательно, и соответствующую конструкцию тренажера;

2) определить и обосновать, с биомеханической точки

зрения, рациональность воздействия внешних сил на опорно-двигательный аппарат нижних конечностей спортсмена во временном и пространственном аспекте с учетом специфики деятельности мышц в исследуемых упражнениях.

Известно, что сила как физическое качество характеризует способность спортсмена преодолевать внешнее сопротивление [7].

Внешнее сопротивление может быть представлено силами различной природы: 1) упругой деформации; 2) трения; 3) инерции.

Сила упругой деформации ($F_{уп}$) зависит от степени растяжения упругого элемента (L) и коэффициента жесткости (K). Эта сила не зависит от скорости движения тела. В простейшем случае зависимость имеет вид:

$$F_{уп} = K \times L.$$

При конструировании тренажеров роль упругих элементов выполняют пружины [21, 23] или резиновые амортизаторы [19, 21].

Сила трения ($F_{тр}$), равна произведению коэффициента трения ($K_{тр}$) на нормальную силу (N), т.е. силу, прижимающую тело к поверхности взаимодействия:

$$F_{тр} = K_{тр} \times N.$$

Сила сопротивления водной или воздушной среды находится в квадратичной зависимости от скорости движения тела в этой среде.

Сила ($F_{ин}$) инерции в поступательном движении зависит от массы тела (m) и линейного ускорения (a):

$$F_{ин} = -m \times a.$$

При вращательном движении сила инерции ($F_{ин}$) будет зависеть от момента инерции тела (I) и углового ускорения (ω):

$$F_{ин} = -I \times \omega.$$

Силы инерции играют в локомоторных движениях решающую роль. В спринтерском беге, например, на преодоление сил инерции по данным Э.Озолина [8] расходуется 57 % энергии.

Распределение мышечной массы на нижних конечностях (больше у проксимальных звеньев, меньше у дистальных) способствует уменьшению момента инерции

нижней конечности и как следствие – инерционных сил, возникающих при движении. Это обстоятельство побудило нас выбрать инерционные силы в качестве основных внешних сил при конструировании тренажера.

При вращательном движении момент инерции ($M_{ин}$) зависит от:

$$M_{ин} = F_{ин} \times d = m \times R \times \omega \times d,$$

где: m – масса груза; R – радиус инерции; ω – угловое ускорение; d – плечо силы.

Таким образом, одно и то же внешнее сопротивление можно получить, варьируя каждый из четырех параметров.

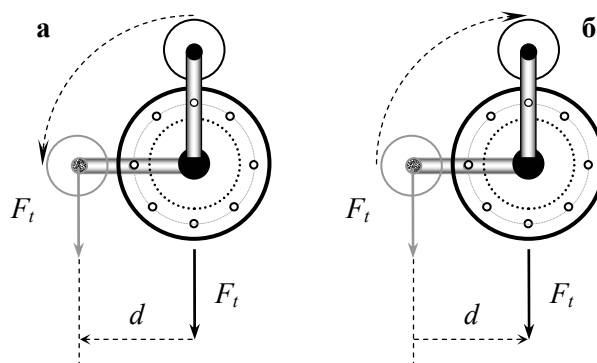


Рис. 1. Угловые перемещения рычага с грузом при амортизации (а) и отталкивании (б), где d – плечо силы и F_t – сила тяжести

Фактически, это происходит за счет уменьшения, а затем увеличения плеча силы тяжести (d). Кроме того, при изменении направления движения тела спортсмена от амортизации к отталкиванию, угловое ускорение меняет свой знак, что также ведет к увеличению величины инерционных сил.

Для обоснования наиболее эффективного варианта воздействия инерционных сил необходимо отметить, что большинство упражнений скоростно-силовой направленности характеризуются максимальной реализацией двигательного потенциала спортсмена.

Как неоднократно отмечал Н.А. Бернштейн [5, 6], в интактном организме усилие, развиваемое мышцей, есть функция, зависящая, во-первых, от ее иннервационного состояния (E); во-вторых, от длины в данный момент времени (L); в-третьих, от скорости, с которой эта длина изменяется во времени ($L'(t)$):

$$F = f(L; L'(t); E).$$

Причем, если степень возбуждения мышц (E) максимальна, тогда усилие, развиваемое мышцами будет зависеть от длины и скорости ее изменения.

Как известно, усилие, развиваемое мышцей, будет максимальным при значительных величинах растяжения (зависимость «сила-длина») и скорости эксцентрического сокращения (зависимость «сила-скорость»). Многочисленные исследования [9, 13, 14, 15, 16, 17, 18] показали, что при растяжении активной мышцы, кроме диссипации энергии на тепло, мышца может накапливать энергию, при этом повышается сила и скорость сокращения.

Поэтому для создания максимальной силы тяги мышцы следует отдать предпочтение эксцентрическому режиму ее сокращения. Этим объясняется стремление спортсменов использовать амортизацию в прыжках, замахах в метаниях и т.д. Очевидно, что внешняя инерционная

По существу два момента силы, а именно, момент силы тяжести и момент инерционных сил вращательного движения массы, могут определить величину дополнительной кратковременной нагрузки на мышцы нижних конечностей при выполнении упражнения с использованием механических устройств. Причем, при вращательном движении инерционной массы вниз, момент силы тяжести будет уменьшать это воздействие – уменьшая момент силы инерции, а при движении вверх – увеличивать (см. рис. 1).

нагрузка, создаваемая тренажером, должна воздействовать в момент завершения фазы амортизации (до начала увеличения угла в коленном суставе), например, в прыжке вверх (см. рис. 2А, Б).

Это позволит дополнительно растянуть мышцы-разгибатели, что в свою очередь приведет к увеличению накопления энергии упругой деформации в коллагеновых структурах и увеличению импульса силы, и, как следствие, – увеличению скорости вылета тела. При этом следует учитывать, что оптимальное время внешнего воздействия на мышцу составляет около 50 мс [11, 12].

Следует считать нерациональным воздействие внешней нагрузки в последующем временном периоде, поскольку она будет препятствовать разгибанию ног в суставах и, следовательно, – механической реализации накопленной в фазе амортизации энергии упругой деформации мышц [3, 2, 4]. Из этого следует, что различные силы внешнего сопротивления способствуют преимущественному развитию тех или иных скоростно-силовых качеств.

В результате вышеизложенных рассуждений нами была предложена математическая модель устройства переменного отягощения.

На штангу массой m_1 действует сила тяжести m_1g , сила натяжения цепи T и сила со стороны спортсмена F . На систему «звездочка-рычаг» при обходе по часовой стрелке действуют моменты сил: момент силы натяжения цепи ($M_1 = T R$); момент силы тяжести груза ($M_2 = -m_2 g \cos \varphi$); момент силы тяжести рычага ($M_3 = -m_3 g \cos \varphi / 2$); момент инерции груза ($I_2 = m_2 (l^2 + r^2 / 2)$); момент инерции рычага ($I_3 = m_3 l^2 / 3$); момент инерции звездочек

$$(I_4 = (m_{41} R_1^2 + m_{42} R_2^2 + m_{43} R_3^2) / 2,$$

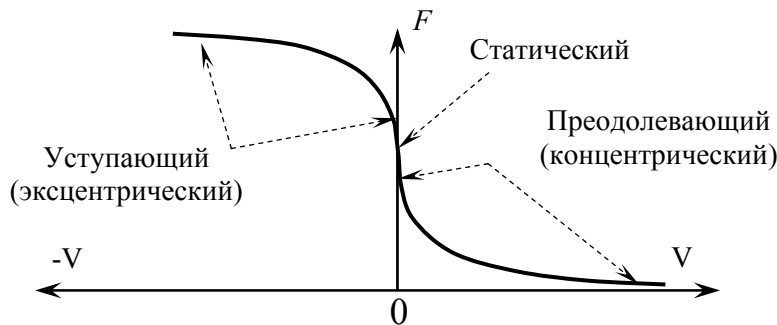
где: R_1, R_2, R_3 – радиусы трех звездочек и m_{41}, m_{42}, m_{43} – их массы).

Зависимость угла φ , отсчитываемого от горизонтали

против часовой стрелки от исходного положения штанги:

$$\varphi = \varphi_0 + (y - y_0) / R,$$

А



Б

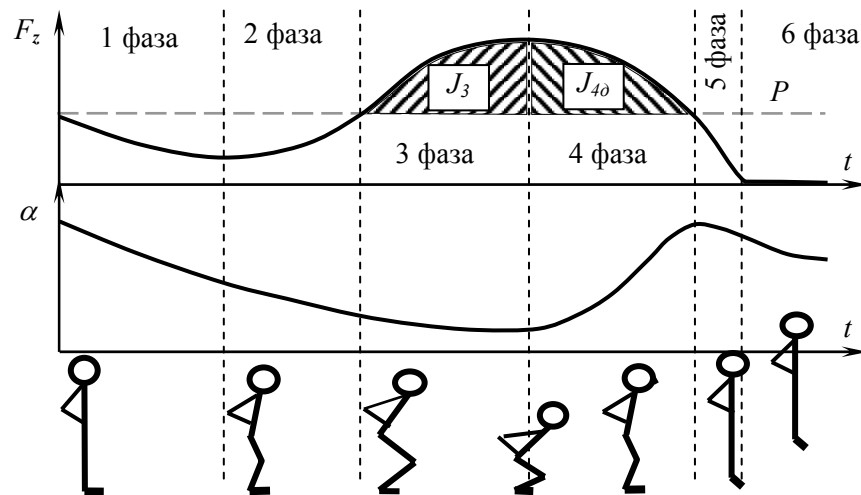


Рис. 2. Зависимость «сила-скорость» для изолированной мышцы (А) и фазовая структура прыжка вверх с места и схема зависимости вертикальной составляющей силы реакции опоры (F_z) и изменений угла в коленном суставе (α) (Б)

Запишем систему уравнений для тренажера регулируемого отягощения (ТРО) и штанги, исходя из второго закона Ньютона:

$$\begin{cases} TR - gl \cos \varphi [(m_2 - m_3)/2] = [m_2(l^2 + r^2)/2 + m_3 l^2/3 + m_4 R^2/2] \omega \\ F = m_1 a + m_1 g - T, \end{cases}$$

где ω – угловое ускорение звездочки, $\omega = a/R$, a – ускорение штанги.

Отсюда:

$$F = m_1 a + m_1 g + g l (m_2 + m_3/2) \cos[\varphi_0 + (y - y_0) / R] / R + [m_2(l^2 + r^2)/2 + m_3 l^2/2 + m_4 R^2/2] a / R^2.$$

Обозначим:

$$A = m_1 + [m_2(l^2 + r^2)/2 + m_3 l^2/2 + (m_{41} R_1^2 + m_{42} R_2^2 + m_{43} R_3^2)/2] / R^2, \\ B = g l (m_2 + m_3/2) / R, C = m_1 g,$$

$$a_0 = \varphi_0 - y_0 / R, \\ k = 1 / R.$$

Тогда уравнение примет вид:

$$A y'' + B \cos(a_0 + k y) + c = F.$$

В этом уравнении y – положение грифа штанги, измеряемое опытным путем и представляемое в виде

где R – один из радиусов R_1, R_2, R_3 , на который накинута цепь.

таблицы значений.

Обобщая результаты исследований, мы выбрали для конструирования тренажера два момента сил, а именно: момент силы тяжести (груза) и момент инерционных сил вращательного движения массы на рычаге, которые и обеспечивают регулируемую кратковременную нагрузку на мышцы нижних конечностей.

Нами разработано и изготовлено тренажерное устройство, позволяющее создавать различные виды переменных регулируемых отягощений, признанное изобретением [20].

Тренажерное устройство можно применять при выполнении различных специальных упражнений для скоростно-силовой подготовки спортсменов (приседания, прыжки вверх, тяги и т.п.).

Конструкция данного механического устройства позволяет значительно варьировать величину и характер внешней нагрузки (например, возрастающей в фазе амортизации и убывающей в фазе отталкивания или

убывающей в фазе амортизации и возрастающей в фазе отталкивания).

Рассматривая тренажерное устройство ТРО как средство воспитания силовых и скоростно-силовых качеств спортсмена, можно заключить, что предлагаемое устройство позволяет создать новый класс специальных упражнений.

Примечания:

1. Алабин, В.Г. Тренажеры и специальные упражнения в легкой атлетике / В.Г. Алабин, М.М. Кривоносов. – М.: Физкультура и спорт, 1976. – 272 с.
2. Аруин, А.С. Биомеханические свойства скелетных мышц и сухожилий / А.С. Аруин, В.М. Зацюрский. – М.: ГЦОЛИФК, 1980. – 64 с.
3. Аруин, А.С. Влияние упругих сил мышц на эффективность мышечной работы / А.С. Аруин [и др.] // Физиология человека. – 1977. – Т. 3, № 3. – С. 519-525.
4. Аруин, А.С. Эквивалентные биомеханические характеристики мышц голеностопного сустава / А.С. Аруин [и др.] // Физиология человека. – 1978. – №6. – С. 1072-1079.
5. Бернштейн, Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – 254 с.
6. Бернштейн, Н.А. Проблема взаимоотношений координации и локализации / Н.А. Бернштейн // Архив биологически наук. – 1935. – Т. 38. – С. 1-38.
7. Донской, Д.Д. Биомеханика: учеб. для ин-тов физической культуры / Д.Д. Донской, В.М. Зацюрский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
8. Озолин, Э.С. Спринтерский бег / Э.С. Озолин. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 159 с.
9. Прилуцкий, Б.И. Уступающий режим активности мышц при локомоциях человека: дис. ... канд. пед. наук / Б.И. Прилуцкий. – М., 1990. – 21 с.
10. Черкесов, Ю.Т. Проблема и методические возможности детерминации режимов силового взаимодействия спортсменов с объектами управляющей предметной среды: автореф. дис. ... д-ра пед. наук / Ю.Т. Черкесов. – М., 1993. – 62 с.
11. Шалманов, А.А. Взаимодействие с опорой в прыжках как предмет обучения: автореф. дис. ... канд. пед. наук / А.А. Шалманов. – М., 1986. – 23 с.
12. Шалманов, Ал.А. Основные механизмы воздействия с опорой в прыжковых упражнениях: метод. рекомендации для слушателей высшей школы тренеров, факультетов усовершенствования и повышения квалификации / Ал.А. Шалманов, Ан.А. Шалманов. – М., 1990.
13. Bober, T. Investigation of the take-off Technique in the Triple Jump / T. Bober // Biomechanics IV / Ed. by R.C. Nelson and C.A. Morehouse. – University Park Press, 1974. – V. 1. – P. 149-154.
14. Elftman, H. The action of muscles in the body / H. Elftman // Biological Symp.–1941. – V. 3. – P. 191.
15. Hill, A.V. Production and absorption of work by muscle / A.V. Hill // Science. – 1960. – V. 131. – P. 897.
16. Komi, P. Neurophysiological and mechanical interactions in running / P. Komi // Abstr. of the 22 World Congress of Sport Medicine, Vienna. – 1982. – № 1. – P. 48.
17. Margaria, R. Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise / R. Margaria // Biomechanics of Human Locomotion. – Oxford/Clarendon Press, 1976. – P. 146.
18. Margaria, R. Possibilita' di sfruttamento dell' Elastioita' del muscolo conratto durante l'eseroino musoolare / R. Margaria, Q.A. Cavagna, F.P. Saibene // ComuniGazione alla 9 Riunione Nazionale della Soo Italiana di Biochimica. – Catania, 1963. – 363 p.
19. Merton, P.A. Speculations on the servo-control of movement / P.A. Merton // In The Spinal Cord. Ciba Symposium, 1953. – P. 247-260.
20. А.с. 1673142 (СССР). Устройство для тренировки тяжелоатлетов (Черкесов Ю.Т., Поветкин Ю.С., Жуков В.И., Доронин А.М.). – Бюл. –1991, № 32.
21. А.с. 751404 (СССР). Устройство для тренировки мышц (А.Г. Цициков, Ю.М. Аветисов, Л.К. Кривова и др.). – Бюл. – 1980, № 28.
22. А.с. 810250 (СССР). Устройство для тренировки спортсменов с мячом (В.В. Иванов, И.П. Ратов, В.Н. Хайченко). – Бюл. – 1981, № 9.
23. Welder B.P. 848319 (CAN). Exercising device for the hands and fingers. – Publ. 04.08.70.