

# БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ

## параметры стартовых условий полетной части перелетовых упражнений «Ткачев» на перекладине

Доктор педагогических наук, профессор **В.И. Загrevский**

Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, Могилев

**В.С. Шерин**

Томский государственный университет, Томск

### Abstract

BIOMECHANICAL PARAMETERS OF START CONDITIONS OF FLIGHT PART OF "TKACHEV" BAR VAULT EXERCISES

**V.I. Zagrevsky** professor, Dr.Hab  
Mogilev state (A.A. Kuleshov) university,  
Mogilev,

**V.S. Sherin**

Tomsk State University, Tomsk

**Key words:** biomechanical analysis, technique of competitive exercises, equations of motions, kinematical structure, motion registration.

**The purpose of the present study was** revelation of biomechanical regularities of start conditions of the flight part of the technique of various exercises of the structure group of "Tkachev" bar vaults.

**Methods and organization of the research.** The research was carried out using such methods as analysis of literature sources, experimental-analytical method of estimation of mass geometry of human body, video-recording of the exercises under consideration, programming of video materials of registration of athlete's moves and computer design of video programs of exercises, analytical and numeral methods of estimation of kinematical and dynamic characteristics of the studied exercises. All the methods mentioned above are revealed in specific literature. The exclusion is represented by the method of analytical and numeral calculation of cinematic and dynamic characteristics of competitive exercises by means of computer.

Video-recording of the exercises was realized within a laboratory in compliance with common biomechanical requirements.

The efficiency criteria of the technique of the studied exercises were the parameters of biomechanical characteristics responsible for high mastery level and corresponding to the demands fixed in the judging rules of all-round men.

The researches resulted in the allocation of a number of conditions necessary for technical and spectacular performance of different variants of "Tkachev" bar vaults.



**Ключевые слова:** биомеханический анализ, техника соревновательных упражнений, уравнения движения, кинематическая структура, регистрация движений.

Одним из основных критериев развития спортивной гимнастики на международной арене стала «высококачественная сверхсложность» [1-3]. Для успешного выполнения современных гимнастических упражнений требуются высокоточные двигательные действия спортсмена в различных висах, упорах, а также в безопорном состоянии. И здесь весьма почетное место в богатейшем арсенале гимнастических упражнений занимают элементы с выраженной фазой полета.

В упражнениях на перекладине содержание и сложность соревновательных комбинаций определяются в основном количеством и разнообразием элементов в безопорном состоянии гимнаста (от 3 до 6 элементов, т.е. 25–50 % всей комбинации). Соревновательная комбинация на перекладине без упражнений с полетной фазой считается неполноценной. До последнего времени биомеханические исследования этой группы гимнастических упражнений имели в основном описательный и фрагментарный характер. Недостаточные знания биомеханической структуры перелетовых элементов на перекладине тормозят процесс овладения спортсменами технически сложными соревновательными упражнениями, что и явилось иницирующим фактором проведения наших исследований.

**Цель исследования** – выявить биомеханические закономерности стартовых условий полетной части техники различных упражнений структурной группы перелетов «Ткачев» на перекладине.

**Методы и организация исследования.** В работе использовали следующие методы исследования: экспериментально-аналитический метод определения геометрии масс тела человека; видеосъемка исследуемых упражнений; компьютерная обработка видеоматериалов регистрации движений спортсменов и построение видеogramм упражнений на ПК; аналитические и численные

методы определения кинематических и динамических характеристик исследуемых упражнений на ПК. Все эти методы достаточно подробно освещены в специальной литературе [6, 10]. Исключение составляет метод аналитического и численного расчета кинематических и динамических характеристик соревновательных упражнений на ПК.

Видеосъемки упражнений проводили в лабораторных условиях в соответствии с регламентированными в биомеханике требованиями [10]. В исследовании приняли участие более 30 гимнастов. По материалам компьютерной обработки видеосъемки были определены кинематические (27) и динамические (15) характеристики исследуемых элементов, на основании которых выполнялся биомеханический анализ техники соревновательного упражнения «Перелет Ткачева» (первое упражнение – ноги врозь, второе – согнувшись, третье – прямым телом).

Критериями эффективности техники исследуемых упражнений выступали параметры биомеханических характеристик, которые отвечают высокому классу исполнительского мастерства и соответствуют требованиям, зафиксированным в правилах судейства мужского многоборья:

- последовательность и амплитуда сгибательно-разгибательных движений в плечевых и в тазобедренных суставах;
- высота расположения ОЦМ тела гимнаста относительно грифа перекладины в высшей точке полетной части анализируемых гимнастических элементов;
- расположение ОЦМ тела спортсмена в момент дохвата кистями рук грифа перекладины выше горизонтальной плоскости снаряда и стабильное выполнение этой фазы упражнения;
- дохват кистями рук грифа перекладины в конце полетной части упражнения с прямыми руками в локтевых суставах;
- свободный мах в виси с большой амплитудой после дохвата.

В качестве визуального образца выполнения упражнения была избрана техника А. Голоцуцкова, заслуженного мастера спорта России по спортивной гимнастике, члена олимпийской команды России по спортивной гимнастике. Экспертами, оценивающими технику исследуемых упражнений, выступили ведущие тренеры спортивных школ олимпийского резерва по гимнастике гг. Томска и Северска.

По результатам биомеханического анализа техника выполнения А. Голоцуцковым перелетовых упражнений также была принята за эталон для гимнастов, осваивающих эти гимнастические элементы.

Технологической сложностью составления компьютерной программы вычисления кинематических и динамических характеристик соревновательных упражнений является многозвенный и разветвленный характер построения кинематических цепей в биомеханических системах. В связи с этим мы ориентировались на работы [7, 8], в которых показано, что эту трудность можно успешно преодолеть, если вычис-

лительные алгоритмы построить на основе рекуррентных соотношений.

**Уравнения движения.** Исходя из посылки преодоления технологической сложности создания компьютерной программы расчета биомеханических характеристик для многозвенных биомеханических систем на основе рекуррентных соотношений, алгоритм вычислений для каждого последующего звена мы строили на основе аналитического представления вычисляемой характеристики предыдущего звена и суммируемого с ним биомеханического параметра, представляемого в аналитическом виде для вычисляемого звена. Такой вид формирования вычислительных алгоритмов позволил использовать ПК в качестве и вычислительного инструмента, и конструктора математических моделей анализа и синтеза движений человека для многозвенных биомеханических систем, например представленных в виде системы дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\sum_{j=1}^N A_{ij} \varphi_j \cos(\varphi_j - \varphi_i) - \sum_{j=1}^N A_{ij} \varphi_j^2 \sin(\varphi_j - \varphi_i) + I_i \cos \varphi_i = M_i - M_{i+1} \quad (1)$$

Здесь  $\varphi_i$  – обобщенная координата  $i$ -го звена,  $\dot{\varphi}_i$  – обобщенная скорость  $i$ -го звена,  $\ddot{\varphi}_i$  – обобщенное ускорение  $i$ -го звена,  $i$  – номер звена биомеханической системы. Количество уравнений равно количеству звеньев модели ( $N$ ). Идентификатор  $M$  обозначает величину управляющих моментов мышечных сил в  $i$ -м суставе и величину момента силы трения. При этом  $M_{i+1} \neq 0$ , если  $i < N$ , и  $M_{i+1} = 0$ , если  $i = N$ . Отметим также, что  $M_1$  – момент силы трения кистей рук гимнаста о гриф перекладины,  $M_2$  – момент мышечных сил в плечевых суставах,  $M_3$  – момент мышечных сил в тазобедренных суставах.

Аналитическое выражение динамических коэффициентов ( $A$ ) для  $N$ -звенной биомеханической системы построим с помощью символа Кронекера. Формульное выражение символа Кронекера имеет вид

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j, \\ 0, & \text{если } i \neq j. \end{cases}$$

Здесь  $i, j$  – буквенные индексы, соответствующие цифровым индексам коэффициентов  $A$ . Запишем формульное представление коэффициентов  $A$  для  $N$ -звенной неразветвленной биомеханической системы с использованием символа Кронекера:

$$A_{ij} = \delta_{ij} (J_i + m_i S_i^2) + m_j L_i S_j (1 - \delta_{ij}) + \sum_{k=j+1}^N m_k L_i L_k, \quad i=1, 2, 3, \dots, N; \quad j=1, 2, 3, \dots, N. \quad (2)$$

Динамические коэффициенты  $A$ , используемые в записи уравнений движения биомеханической системы, формируются параметрами масс-инерционных характеристик звеньев модели:  $L, S, J, m$ . Здесь:  $L$  – длина  $i$ -го звена;  $S$  – расстояние от оси вращения до центра масс  $i$ -го звена;  $J$  – центральный момент инерции  $i$ -го звена,  $m$  – масса  $i$ -го звена. Обобщенные силы ( $Y$ ) вычислим по формуле:

$$Y_i = \sum_{k=i+1}^N P_k L_i + P_i S_i, \quad (3)$$

где  $P$  – масса  $i$ -го звена.

Технология составления уравнений движения биомеханической системы на основе рекуррентных соотношений была использована нами и для вывода других уравнений кинематики и динамики.

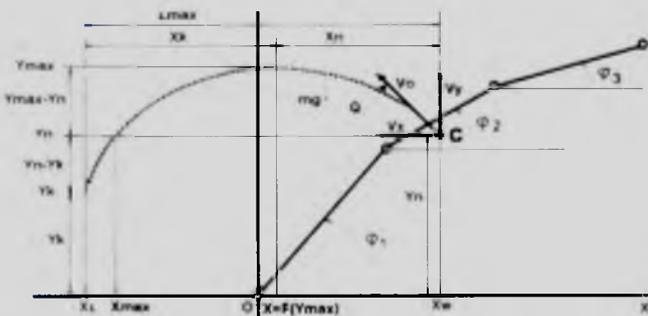
**Уравнения траектории общего центра масс биомеханической системы.** В опорном положении и в безопорном состоянии использовалась методика определения характерных кинематических элементов траектории ОЦМ тела спортсмена. На рис. 1 представлена кинематическая схема трехзвенной биомеханической системы в момент потери контакта кистей рук спортсмена с грифом перекладины и показаны характерные элементы ( $Y_{\max}$ ,  $X_{\max}$ ,  $L_{\max}$ ,  $\chi$ ,  $X_k$ ,  $Y_n$ ,  $Y_k$ ) траектории ОЦМ тела исполнителя в безопорном состоянии.

**Опорное состояние.** Торце грифа перекладины расположен в начале системы координат. Моменту потери контакта рук гимнаста с грифом перекладины соответствует такое положение его тела, при котором продольная ось рук составляет с осью  $Ox$  декартовой системы координат  $xOy$  угол  $j_1$ , продольная ось туловища с головой – угол  $j_2$ , продольная ось ног – угол  $j_3$ . Вертикальная составляющая ( $V_y$ ) линейной скорости ( $V_0$ ) ОЦМ тела спортсмена ( $C$ ) и горизонтальная составляющая ( $V_x$ ) в условиях опоры для рассматриваемой трехзвенной модели находятся из выражений [7]:

$$V_x = - \sum_{i=1}^N A_i \varphi_i \sin \varphi_i, \quad V_y = \sum_{i=1}^N A_i \varphi_i \cos \varphi_i, \\ V_0 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (4)$$

Здесь  $A$  – коэффициенты для определения координат ОЦМ тела спортсмена, которые находятся из уравнения:

$$A_i = \left( m_i S_i + L_i \sum_{j=i+1}^N m_j \right) / \sum_{k=1}^N m_k \quad (5)$$



**Рис. 1.** Кинематическая схема трехзвенной биомеханической системы и основные элементы траектории ОЦМ в полетной части упражнения «Перелет Ткачева»

**Безопорное состояние.** Движение точки  $C$  в полете под действием силы тяжести происходит в вертикальной плоскости  $xOy$ , а траекторией точки является парабола [2, 4, 5, 9], которая описывается уравнением

$$y = x \tan Q - x^2 \frac{g}{2V_0^2 \cos^2 Q}. \quad (6)$$

Таким образом, по уравнениям (4) определяются начальные условия решения уравнения (6). Именно здесь стыкуются программные модули компьютерной программы вычисления биомеханических характеристик упражнения в его опорной части и в безопорном состоянии. Дальнейшее исследование уравнения (6) позволяет определить дальность полета и высоту подъема, а уравнения (4) – время ( $t$ ) достижения максимальной высоты подъема.

Запишем **дальность** ( $x$ ,  $x_{\max}$ ) полета двумя способами, т.е. найдем  $x$ ,  $x_{\max}$  при  $y = Y_n$ . Из (6) следует, что

$$x = \frac{2V_0^2 \cos^2 Q \tan Q}{g}, \quad x_{\max} = \frac{V_0^2}{g} \sin 2Q. \quad (7)$$

Здесь  $x = x_{\max}$ , поскольку  $\sin 2Q = 2 \sin Q \cos Q$ .

**Время** ( $t$ ) достижения максимальной высоты подъема ( $h$ ) связано отдельными зависимостями с  $h$  и начальной скоростью ОЦМ биомеханической системы  $V_0$ . Из уравнения (4) следует, что при нулевой начальной скорости в начальный момент времени, равный нулю ( $t_0=0$ ), при падении с высоты  $h$  время падения  $t$  связано с высотой  $h$  следующими равенствами:

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad t = \frac{V_0 \sin Q}{g} \quad (8)$$

Отсюда можно определить максимальную **высоту** подъема ОЦМ биомеханической системы ( $Y_{\max}$ ) при заданных начальной скорости ( $V$ ) и угле вылета ( $Q$ ):

$$Y_{\max} = \frac{V_0^2 \sin^2 Q}{2g} \quad (9)$$

Во многих соревновательных упражнениях (прыжок в длину в легкой атлетике, упражнения на снарядах в соскок в спортивной гимнастике и т.д.) конечное положение ОЦМ тела спортсмена по оси  $y$  ( $Y_k$ ) не соответствует начальному положению ( $Y_n$ ) по этой оси (см. рис. 1). В связи с этим рассмотрим некоторые кинематические характеристики полета на траектории от  $Y_0 = Y_n$  до  $Y_k$ . Из уравнения (6) имеем

$$-V_0 t \sin Q - \frac{gt^2}{2} = -H = Y_k - Y_n, \quad \text{или} \quad gt^2 + \\ + 2V_0 t \sin Q - 2H = 0.$$

Разделим левую часть уравнения на  $g$ . Получим приведенное квадратное уравнение (5), которое обычно записывается в виде  $x^2 + px + q = 0$ . В рассматриваемом случае  $p = (2V_0 \sin Q)/g$ ,  $q = -2H/g$ . Корни приведенного квадратного уравнения вычисляются по формулам

$$x_{1,2} = \frac{-p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

Подставим  $p$ ,  $q$  в решение квадратного уравнения. Получим

$$t_{1,2} = \frac{-V_0 \sin Q}{g} \pm \sqrt{\frac{V_0^2 \sin^2 Q}{g^2} + \frac{2H}{g}} \quad (10)$$

На основании уравнения (10) определяется время полета по траектории  $Y - Y_k$ . Рассмотрим использование данного подхода для определения  $L_{max}$  – максимальной дальности полета. Запишем уравнение (6) в виде

$$\frac{g}{2V_0^2 \cos^2 Q} x^2 - x \tan Q + y = 0. \quad (11)$$

Пусть  $a = g/2V_0^2 \cos^2 Q$ ,  $b = -\tan Q$ ,  $c = y$ . Тогда можно записать (11) в виде квадратного уравнения  $ax^2 + bx + c = 0$  и определить его корни. Первый корень выражает численное значение  $L_{max}$ . Алгебраическая сумма первого и второго корней позволяет получить дальность полета по оси  $O_x$  при  $Y = 0$  – уравнение (7). Дополнительными критериями правильности вычислений могут служить соотношения по теореме Виета: сумма корней  $X_1 + X_2 = -b/a$ , а произведение корней  $X_1 X_2 = c/a$ . Здесь следует учесть, что у необходимо брать со знаком «минус», поскольку траектория полета проходит в «отрицательной» области оси ординат.

**Результаты исследования.** Технические действия спортсмена в упражнениях «Перелет Ткачева» выполняются вначале в условиях опоры (рис. 2), затем следует полетная часть (рис. 3) с последующим дохватом кистями рук грифа перекладины.

В первом и втором упражнениях (см. рис. 2, А, В) технические действия в условиях опоры типичны, что подтверждается незначительными различиями в величине результирующей линейной скорости ОЦМ тела спортсмена в различных частях упражнения и другими биомеханическими показателями, приведенными ниже. Так, в момент пересечения ОЦМ тела гимнаста вертикального положения над опорой его результирующая линейная скорость составляла 0,7 м/с в первом упражнении и 0,8 м/с – во втором. Различие незначительно. Для третьего упражнения рассматриваемый биомеханический показатель значительно больше – 4,0 м/с. Различие по

сравнению с первыми двумя упражнениями является существенным.

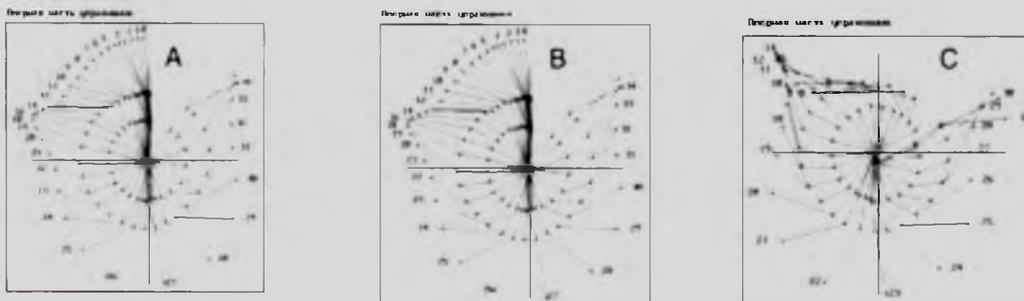
При пересечении ОЦМ тела исполнителя вертикального положения под опорой его результирующая линейная скорость равна 5,2 м/с в первом упражнении и 5,3 м/с – во втором. Различие не существенно. Для третьего упражнения рассматриваемый биомеханический показатель больше – 6,1 м/с. Различие довольно существенно и объясняется особенностями техники выполнения упражнения, которая в практике спортивной гимнастики имеет название «разгонная» (см. рис. 2, С). В этом случае гимнаст проходит вертикальное положение над грифом перекладины не с выпрямленным положением тела (рис. 2, А, В), а со значительным углом в плечевых и тазобедренных суставах.

В момент перехода из опорного положения в безопорное величина результирующей линейной скорости ОЦМ тела гимнаста в первом упражнении равна 3,2 м/с, во втором – 3,0 м/с и в третьем – 3,6 м/с. Поскольку целевая установка тонкого двигательного ансамбля технических действий на опоре ориентирована на создание достаточной высоты в полетной части, для более сложного упражнения (третье) формируется и более мощная кинематика движения.

Это же положение относится и к механизму создания контрвращения в момент перехода гимнаста в безопорное состояние. Начальное кинематическое состояние гимнаста в момент потери контакта с грифом перекладины показано на рис. 3 (А – кадр 36; В – кадр 39; С – кадр 32).

Здесь необходимо отметить следующее:

1) наибольший удельный вес (кинематический) в создании контрвращения имеют разгибательные движения в тазобедренных суставах. По сравнению с разгибательным движением в плечевых суставах разгибание в тазобедренных суставах осуществляется с большей амплитудой. В первом упражнении разгибание в плечевых суставах выполняется в пределах  $126 - 185^\circ$  (амплитуда  $59^\circ$ ), в тазобедренных суставах –  $126 - 208^\circ$  (амплитуда  $82^\circ$ ). Во втором упражнении эти показатели соответственно равны: плечевые суставы –  $128 - 186^\circ$  (амплитуда  $58^\circ$ ), тазобедренные суставы –  $122 - 222^\circ$  (амплитуда  $100^\circ$ ). Эти данные подтверждают ранее выдвинутый нами тезис о типичности техники первых двух упражнений. И в третьем упражнении рассматриваемые показатели соответственно равны: плечевые суставы –  $130 -$



**Рис. 2.** Кинематограмма опорной части упражнения «Перелет Ткачева»: А – ноги врозь, В – согнувшись, С – прямым телом

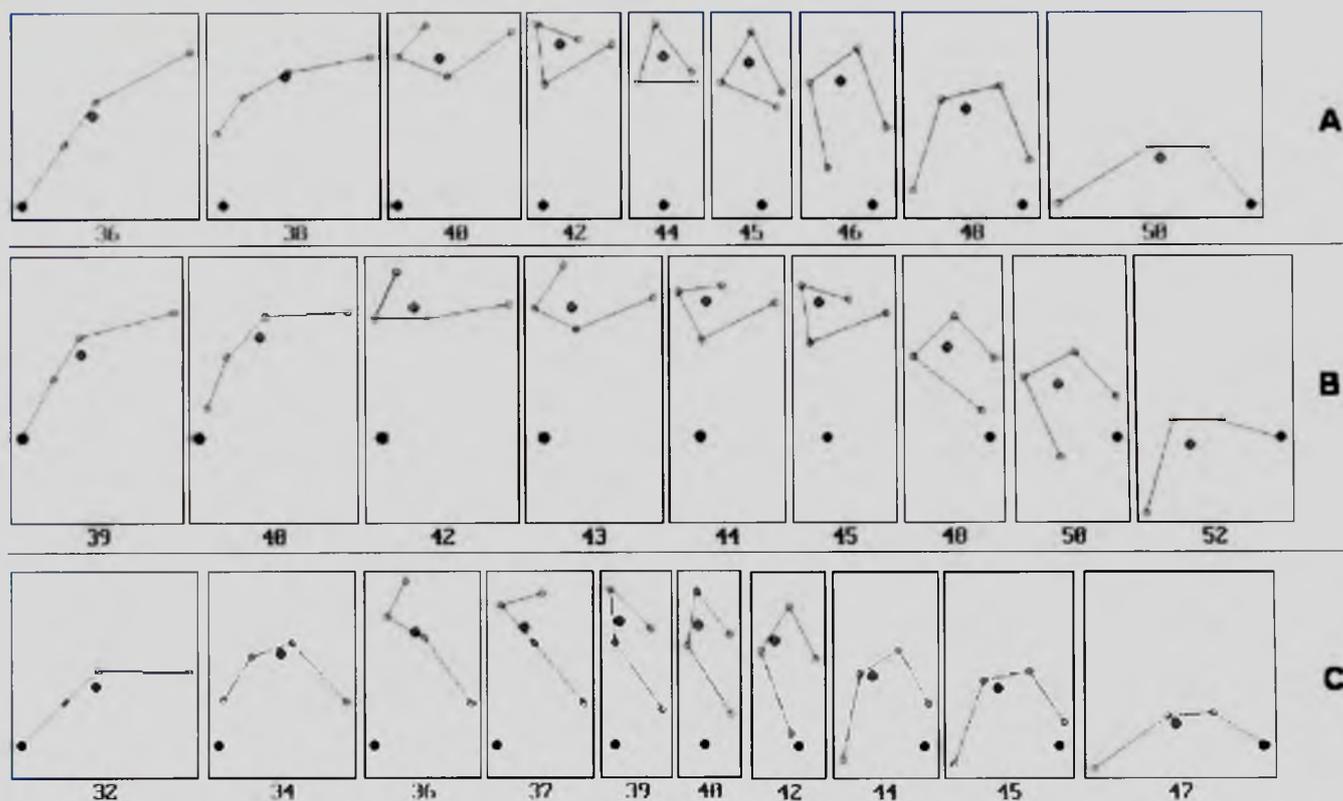


Рис. 3. Кинематограмма полетной части упражнения «Перелет Ткачева»: А – ноги врозь, В – согнувшись, С – прямым телом

$180^\circ$  (амплитуда  $50^\circ$ ), тазобедренные суставы –  $118$ – $230^\circ$  (амплитуда  $112^\circ$ );

2) чем выше сложность упражнения, тем больше амплитуда разгибательного движения в тазобедренных суставах. Например, если в первом и втором упражнениях амплитуда разгибательного движения в тазобедренных суставах составляла  $82^\circ$  и  $100^\circ$  соответственно, то в третьем упражнении – уже  $112^\circ$ ;

3) чем выше сложность упражнения, тем раньше выполняется отход в безопорное состояние. В первом упражнении в момент отпускания кистями рук грифа перекладины ОЦМ тела гимнаста расположен выше уровня опоры на  $0,78$  м, во втором – на  $0,81$  м и в третьем – на  $0,53$  м. Разница значительная.

Одна из двигательных задач заключается также и в том, чтобы обеспечить надежный хват грифа перекладины в завершающей фазе полетной части упражнения. И значительный вклад в реализацию зрелищности и технического совершенства этой части упражнения вносят начальные условия движения в момент потери спортсменом контакта с грифом перекладины. Основные биомеханические характеристики и соответствующие им численные значения «старта» приведены в таблице.

Такие начальные условия движения обеспечивают общее время полета в первом упражнении  $0,56$  с, во втором –  $0,52$  с и в третьем –  $0,60$  с. За это время перемещение ОЦМ тела гимнаста в горизонтальном направлении составило: в первом упражнении –  $1,26$  м; во втором –  $1,39$  м и в третьем –  $1,66$  м. Наибольшая высота вылета ОЦМ тела спортсмена отно-

сительно грифа перекладины в первом упражнении равна  $1,01$  м (перемещение по вертикали вверх  $0,23$  м), во втором –  $0,90$  м (перемещение  $0,10$  м), в третьем –  $0,82$  м (перемещение  $0,29$  м). Эти данные свидетельствуют о том, что для эффективного выполнения наиболее сложного упражнения («Перелет Ткачева прямым телом») необходимо большее время в полетной части элемента (в среднем на  $0,04$ – $0,12$  с) по сравнению с первыми двумя вариантами упражнения. Это достигается за счет увеличения результирующей линейной скорости ОЦМ тела гимнаста в момент «старта» до  $3,64$  м/с.

Момент дохвата кистями рук грифа перекладины характеризуется следующими координатами ОЦМ тела спортсмена: по оси  $Ox$  расстояние от ОЦМ до грифа перекладины в первом упражнении составило  $0,64$  м, во втором –  $0,81$  м, в третьем –  $0,85$  м; по оси  $Oy$  –  $0,42$ ,  $0,19$  и  $0,19$  м соответственно. Следовательно, технически грамотное исполнение структурной группы упражнений «Перелет Ткачева» характеризуется таким завершением полетной части упражнения, при котором ОЦМ тела спортсмена в момент дохвата располагается как можно выше уровня грифа перекладины ( $0,2$ – $0,4$  м). Расстояние от ОЦМ тела гимнаста до грифа перекладины в горизонтальном направлении может варьироваться от  $0,6$  до  $0,9$  м.

Подводя итоги, следует сказать, что для техничного и зрелищного исполнения различных вариантов упражнения «Перелет Ткачева» на перекладине необходимо:

1) сгибательно-разгибательные движения в плечевых и в тазобедренных суставах выполнять **одноре-**

Основные биомеханические показатели, характеризующие стартовые условия и полетную часть упражнений «Перелет Ткачева» на перекладине

№ п/п	Биомеханические характеристики	Ноги врозь	Согнувшись	Прямым телом
1	Общее время полета, с	0,56	0,52	0,60
2	Время полета до максимума по оси Оу, с	0,22	0,21	0,24
3	Время полета от максимума по оси Оу до дохвата, с	0,34	0,31	0,36
4	Исходное положение ОЦМ по оси Ох, м	0,62	0,58	0,81
5	Конечное положение ОЦМ по оси Ох, м	-0,64	-0,81	-0,85
6	Перемещение ОЦМ в полете по оси Ох, м	-1,26	-1,39	-1,66
7	Исходное положение ОЦМ по оси Оу, м	0,78	0,81	0,53
8	Конечное положение ОЦМ по оси Оу, м	0,42	0,19	0,19
9	Перемещение ОЦМ в полете по оси Оу, м	0,23	0,10	0,29
10	Максимум подъема ОЦМ по оси Оу относительно опоры, м	1,01	0,90	0,82
11	Координата ОЦМ по оси Ох в момент максимума по оси Оу, м	0,16	0,11	0,14
12	Начальная скорость ОЦМ по оси Ох, м/с	-2,43	-2,66	-2,76
13	Начальная скорость ОЦМ по оси Оу, м/с	2,13	1,37	2,37
14	Результирующая скорость ОЦМ, м/с	3,23	3,00	3,64
15	Угол вылета ОЦМ по отношению к оси Ох, град	-41,3	-30,2	-40,6

менно на всей траектории биосистемы;

2) добиваться **увеличения** линейной (угловой) скорости ОЦМ тела гимнаста к моменту перехода из опорного положения в безопорное состояние;

3) формировать и систематически развивать способность выполнения контртемпа с большей **амплитудой** и большей **скоростью** разгибания в плечевых и в тазобедренных суставах, обращая внимание на то, что разгибание выполняется одновременно в проксимальных и дистальных суставах;

4) при условии практической реализации пунктов 1–3 следует обращать внимание на выполнение более **раннего перехода** из опорного положения в безопорное состояние, чтобы обеспечить своевременное выполнение требований к амплитуде и скорости контртемпового движения; это будет содействовать созданию хорошего противовращения тела гимнаста в полетной части упражнения.

#### Литература

1. Аркаев Л.Я. Как готовить чемпионов / Л.Я. Аркаев, Н.Г. Сучилин. – М.: Физкультура и спорт, 2004. – 328 с.
2. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики. Т. 2: Динамика / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – М.: Наука, 1971. – 461 с.
3. Гаввердовский Ю.К. Техника гимнастических упражнений: популярное учебное пособие / Ю.К. Гаввердовский. – М.: Терра-Спорт, 2002. – 512 с.
4. Гернет М.М. Курс теоретической механики: учебник для машиностроительных специальностей вузов: 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1970. – 440 с.
5. Гусев В.А. Математика: Справочные материалы / В.А. Гусев, А.Г. Мордкович. – М.: Просвещение, 1988. – 416 с.
6. Донской Д.Д. Биомеханика: учеб. пособие / Д.Д. Донской. – М.: Просвещение, 1975. – 238 с.
7. Загревский В.И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В.И. Загревский. – Томск: Том-

ский государственный педагогический университет, 1999. – 150 с.

8. Загревский В.И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ / В.И. Загревский, Д.А. Лавшук, О.И. Загревский. – Могилев: Могилев. гос. ун-т, 2000. – 190 с.

9. Игнатищев Р.М. Прыгать можно дальше 10 метров / Р.М. Игнатищев. – Могилев, 2005. – 30 с.

10. Сучилин Н.Г. Оптико-электронные методы измерения движений человека / Н.Г. Сучилин, В.С. Савельев, Г.И. Попов. – М.: ФОН, 2000. – 126 с.

#### Bibliography

1. Arkayev L.Ya. How to train champions. (In Russian) / L.Ya. Arkayev, N.G. Suchilin. - Moscow: Fizkultura i sport, 2004. - 328 P.
2. Butenin N.V. The course of theoretical mechanics. Vol 2: Dynamics. (In Russian) / N.V. Butenin, Ya. L. Lunts, D.R. Merkin. - Moscow. Nauka, 1971. - 461 P.
3. Gaverdovsky Yu.K. Technique of gymnastics exercises: popular study guide (In Russian) / Yu.K. Gaverdovsky. - Moscow: Terra-sport, 2002. - 512 P.
4. Gernet M.M. The course of theoretical mechanics: Textbook for non-machine-building specializations of high schools: 2<sup>nd</sup> ed., arranged. (In Russian) - Moscow: Vysshaya shkola, 1970. - 440 P.
5. Gusev V.A. Mathematics: Reference sources. (In Russian) / V.A. Gusev, A.G. Mordkovich. - Moscow: Prosveschenie, 1988. - 416 P.
6. Donskoy D.D. Biomechanics: Study guide. (In Russian) / D.D. Donskoy. - Moscow: Prosveschenie, 1975. - 238 P.
7. Zagrevsky V.I. Input models of kinematics and dynamics of biomechanical systems. (In Russian) / V.I. Zagrevsky. - Tomsk: Tomsk state pedagogical university, 1999. - 150 P.
8. Zagrevsky V.I. Construction of the optimum technique of sports exercises in the computational experiment. (In Russian) / V.I. Zagrevsky, D.A. Lavshuk, O.I. Zagrevsky. - Mogilev: Mogilev state univ., 2000. - 190 P.
9. Ignatishchev R.M. You can jump farther than 10 meters. (In Russian) / R.M. Ignatishchev. - Mogilev, 2005. - 30 P.
10. Suchilin N.G. Optoelectronic methods of measuring human moves. (In Russian) / N.G. Suchilin, V.S. Savelyev, G.I. Popov. - Moscow. FON, 2000. - 126 P.

Поступила в редакцию: 11.07.2008 г.