

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия

<sup>2</sup>Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова

## ВЛИЯНИЕ МНОГОСУСТАВНЫХ МЫШЦ НА ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ЧЕЛОВЕКА

А.Е. Покатилов<sup>1</sup>, В.И. Загrevский<sup>2</sup>, Д.А. Лавшук<sup>2</sup>

*The equations of purposeful movement of the person who is carrying out exercises on sports shells, possessing elastic properties in the working part, are deduced without taking into account functionalities of muscular system of the person. Actually, the realization of the physical dependences which described by models of movement and have been not reflected in the equations, depends on human anatomy. So various groups of muscles participate in operated movement: one-articulate, two-articulate and multiarticulate. It is shown as at drawing up of the equation of purposeful movement operating forces of two-articulate and multiarticulate muscles are resulted in joints through which they are thrown.*

*Classification of chances of occurrence of forces in multiarticulate muscles, and also work of muscles of antagonists and their influence on distribution of the moments of operating forces concerning joints is lead. On examples of the analysis of technics of sports exercises in gymnastics it is drawn a conclusion on realization by muscular and nervous systems of each concrete equation of purposeful movement by the various ways depending on a condition of the sportsman, his physical and technical training, etc.*

Уравнения целенаправленного движения человека, выполняющего упражнения на спортивных снарядах, обладающих упругими свойствами в своей рабочей части, выводятся без учета функциональных возможностей мышечной системы человека. На самом деле, реализация физических зависимостей, описываемая моделями движения и не отраженная в уравнениях, зависит от анатомии человека. Так в управляемом движении участвуют различные группы мышц: односуставные, двухсуставные и многосуставные. Показано как при составлении уравнения целенаправленного движения методом кинестатики приводятся управляющие силы двухсуставных и многосуставных мышц к суставам, через которые они переброшены.

Проведена классификация возможных случаев возникновения сил в многосуставных мышцах, а также работа мышц антагонистов и их влияние на распределение моментов управляющих сил относительно суставов. На примерах анализа техники спортивных упражнений в гимнастике сделан вывод о реализации мышечной и нервной системами каждого конкретного уравнения целенаправленного движения различными путями, зависящими от состояния спортсмена, его физической и технической подготовки и т.д.

### Общие положения

С точки зрения управления различают два вида движений человека – естественное, являющееся неуправляемым, и целенаправленное, при котором управление обеспечивается мышечной системой [1]. Наибольший интерес представляет целенаправленное движение, т.е. то, которое достигает цели. Внимание к нему проявляют специалисты, работающие в различных областях науки, техники и производства – от робототехники, до медицины и спорта. Исследование целенаправленного движения в спорте позволяет, во-первых, создавать эффективные методики для подготовки спортсменов и тренеров различных категорий, а, во-вторых, разрабатывать теорию синтеза движения человека, т.е. создавать новые виды движений, новые упражнения, их отдельные элементы и пр. Особенно актуальна эта задача для спорта высоких достижений [2, 3].

При этом необходимо отметить, что современное развитие вычислительной техники и программного обеспечения позволяют включать в исследования факторы, оказывающие существенное влияние на движение человека, но ранее почти не использовавшиеся при моделировании движения. Одним из таких факторов является сам спортивный снаряд, рабочая часть которого проявляет упругие свойства, тем самым, оказывая влияние на технику выполнения упражнений [4].

Существует несколько подходов к моделированию упругих свойств спортивного снаряда. Последний показывают или в виде одной вращающейся пружины, или в виде двух – горизонтальной и вертикальной пружин, движущихся поступательно.

Другой особенностью расчетных моделей кинематики и динамики является их представление в удобном для программирования виде. Для этого уравнения выводят для биомеханической системы с произвольным количеством звеньев и записывают в свернутой по одноименным параметрам форме, т.е. компактно.

Так для  $N$ -звенной системы момент управляющих сил (уравнение движения) относительно шарнира  $O_{i-1,i}$  при моделировании упругого спортивного снаряда в виде вращающейся пружины равен:

$$M_{i,i-1} = \sum_{j=i}^N I_j \ddot{Q}_j + g \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos Q_j + \ddot{L}_0 \sum_{j=i}^N C_{ij} \sin(Q_0 - Q_j) + \quad (1)$$

$$+ 2\dot{L}_0 \dot{Q}_0 \sum_{j=i}^N C_{ij} \cos(Q_0 - Q_j) + \sum_{k=0}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \ddot{Q}_k \cos(Q_k - Q_j) - \sum_{k=0}^N \sum_{j=i}^N B_{jk} \dot{Q}_k^2 \sin(Q_k - Q_j),$$

где  $I_j$  – центральный момент инерции  $j$ -го звена;

$g$  – ускорение свободного падения;

$Q_j, \dot{Q}_j, \ddot{Q}_j$  – обобщенные координаты, скорости и ускорения  $j$ -го звена;

$\dot{L}_0, \ddot{L}_0$  – линейные кинематические параметры пружины;

$Q_0, \dot{Q}_0$  – угловые обобщенные координаты и скорости пружины;

$C_{ij}, B_{jk}$  – постоянные коэффициенты, зависящие от параметров тела конкретного спортсмена.

Уравнение целенаправленного движения разбивается на шесть групп, каждая из которых показывает влияние соответствующих ускорений на выполнение спортивного упражнения в условиях упругой опоры.

### Многосуставные мышцы

Уравнение движения (1) выводится без учета функциональных возможностей мышечной системы [5]. Отправной точкой полученных выражений явилось приведение управляющих сил к шарнирам и написание уравнений кинестатики с использованием моментов управляющих сил [6, 7]. Но при внимательном рассмотрении возникают вопросы о правомочности такого подхода. И вот почему. Некоторые мышцы перекидываются через один сустав, другие – через два, а третьи – через три. Различают односуставные, двусуставные и многосуставные мышцы [8, 9].

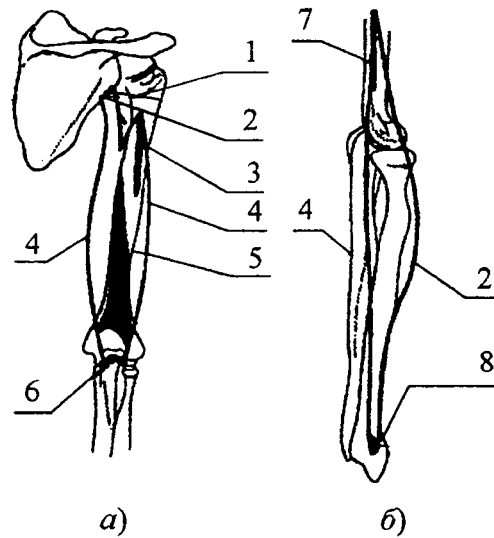


Рис. 1. Мышцы плеча и схемы их прикреплений:

а) трехглавая мышца плеча; б) плечелучевая мышца;

1, 2 – место прикрепления длинной головки на передней поверхности лопатки; 3 – место прикрепления латеральной головки трехглавой мышцы плеча; 4 – свободные края мышцы; 5 – место прикрепления медиальной головки трехглавой мышцы плеча; 6 – место прикрепления трехглавой мышцы плеча на локтевом отростке локтевой кости; 7 – место прикрепления на плечевой кости; 8 – прикрепление на лучевой кости

На рис. 1, а показано прикрепление трехглавой мышцы плеча. Эта мышца двусуставная. А плечелучевая мышца по рис. 1, б является уже примером односуставной мышцы.

Не вдаваясь в анатомические особенности прикрепления мышц, исследуем действие мышц антагонистов. Отметим, что для фиксации сустава необходимо равенство вращающих в противоположном направлении моментов. Поэтому нас интересуют силы и плечи, относительно суставов, а не одни лишь значения управляющих сил.

Силу мышц антагонистов, вызывающих движение звена (звеньев), обозначим как управляющую силу с соответствующим индексом, например,  $\bar{F}_{13}^{yn}$ . Силу, возникающую в мышцах антагонистах и компенсирующую полностью или частично действие соответствующих управляющих сил, обозначим, например, как  $\bar{F}_{13}^{an}$ . Здесь мышцы антагонисты, вызывающие целенаправленное движение, и мышцы антагонисты, препятствующие этому движению, есть разные мышцы. Например, двуглавая мышца плеча (бицепс) вызывает движение звеньев, а трехглавая мышца (трицепс) этому движению препятствует.

Рассмотрим трехзвенную систему и действие двусуставных мышц. Согласно схеме на рис. 2, движение звеньев 2 и 3 обеспечивается управляющими мышечными силами  $\bar{F}_{13}^{yn}$ ,  $\bar{F}_{31}^{yn}$ . Звено 1 неподвижно. При этом силы равны по модулю  $|F_{13}^{yn}| = |F_{31}^{yn}|$  и противоположны по направлению.

Предположим следующие варианты реализации движения за счет этих сил:

1. движение звеньев 2 и 3 происходит относительно сустава  $O_{12}$ , при этом сустав  $O_{23}$  зафиксирован;
2. движение звена 3 происходит относительно сустава  $O_{23}$ , при этом сустав  $O_{12}$  зафиксирован;
3. зафиксированных суставов нет, звенья 2 и 3 находятся в движении относительно звена 1.

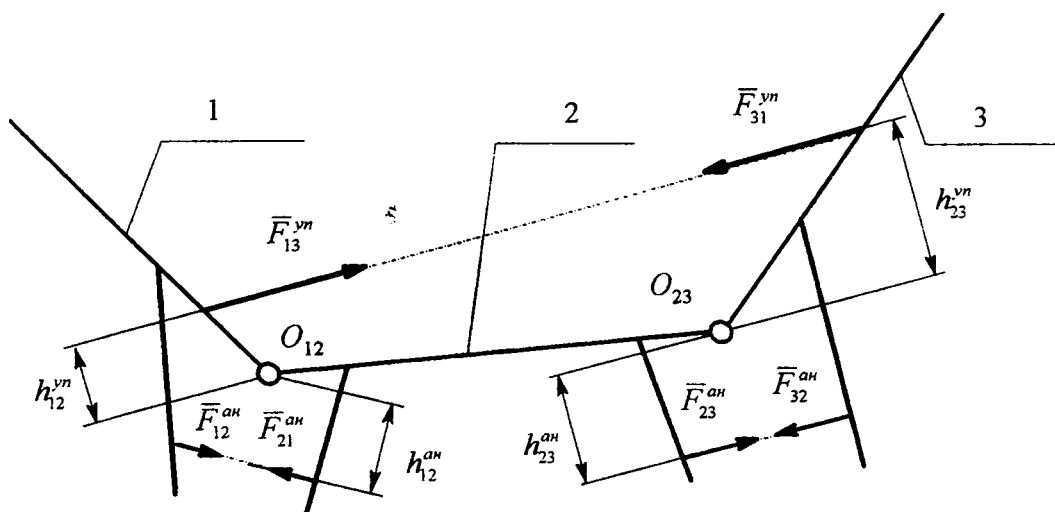


Рис. 2. Управляющее действие двусуставных мышц

На рис. 2 попарно обозначены силы  $\bar{F}_{12}^{an}$ ,  $\bar{F}_{21}^{an}$  и  $\bar{F}_{23}^{an}$ ,  $\bar{F}_{32}^{an}$ , возникающие в мышцах антагонистах, прикрепленных к соседним костям (звеньям). Здесь выбран вариант, когда управляющие мышцы антагонисты являются многосуставными, а мышцы антагонисты, препятствующие движению, – односуставные, так как это не принципиально. Получим следующую картину:

1. В случае равенства моментов  $|M_{32}^{an}| = |M_{32}^{yn}|$  относительно сустава  $O_{23}$ , последний будет зафиксирован, и движение станет возможным лишь относительно сустава  $O_{12}$ . Здесь:

$$M_{32}^{an} = -F_{32}^{an} h_{23}^{an}, \quad M_{32}^{yn} = F_{31}^{yn} h_{23}^{yn}. \quad (2)$$

2. В случае равенства моментов  $|M_{21}^{an}| = |M_{31}^{yn}|$  относительно сустава  $O_{12}$ , теперь уже он окажется зафиксирован, а движение можно реализовать лишь относительно сустава  $O_{23}$ . Здесь:

$$M_{21}^{an} = -F_{21}^{an} h_{12}^{an}, \quad M_{31}^{yn} = F_{31}^{yn} h_{12}^{yn}. \quad (3)$$

3. В случае, если ни один из суставов, через которые переброшены мышцы, вызывающие движение, не зафиксирован ( $|M_{32}^{an}| \neq |M_{32}^{yn}|$ ,  $|M_{21}^{an}| \neq |M_{31}^{yn}|$ ), то получим движение относительно обоих суставов одновременно. Можно записать моменты, создаваемые силой  $\bar{F}_{31}^{yn}$ , как:

$$M_{32}^{yn} = F_{31}^{yn} h_{23}^{yn}, \quad M_{31}^{yn} = F_{31}^{yn} h_{12}^{yn}. \quad (4)$$

Для лучшего понимания п.3 воспользуемся правилом параллельного переноса силы [7]. На рис. 3 показан пример последовательного приведения управляющей силы  $\bar{F}_{31}^{yn}$  многосуставной мышцы к суставам  $O_{23}$  и  $O_{12}$ , через которые данная мышца переброшена.

Сила  $\bar{F}_{31}^{yn}$  вызывает вращение звена 3 относительно сустава  $O_{23}$  с моментом  $M_{32}^{yn} = F_{31}^{yn} h_{23}^{yn}$ . Приведение выполнено в пределах одного звена, т.е. жесткого тела, на которое эта управляющая сила действует.

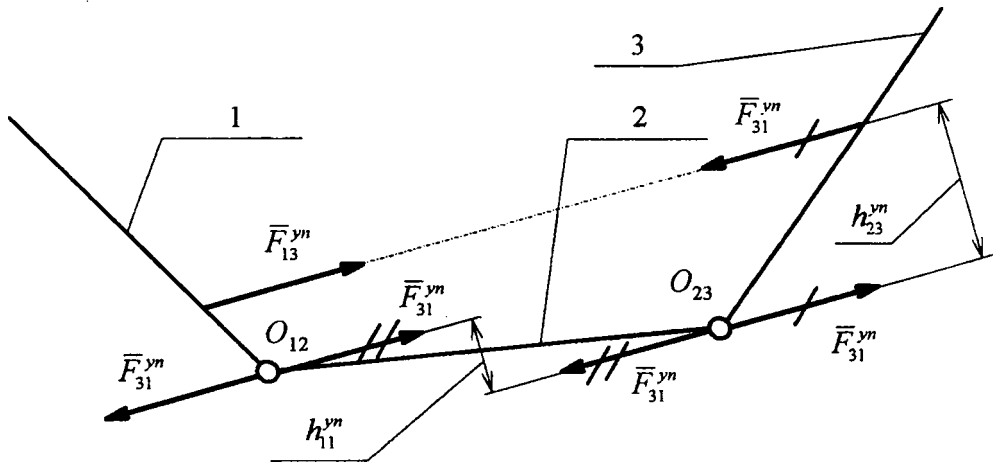


Рис. 3. Приведение управляющей силы многосуставной мышцы к разным суставам

Так как по рис. 3 сила  $\bar{F}_{31}^{yn}$ , приложенная к суставу  $O_{23}$ , действует как на звено 3, так и на звено 2, то выполним перенос силы  $\bar{F}_{31}^{yn}$  в пределах уже этого звена в сустав  $O_{12}$ . Получим дополнительный момент пары сил  $M_{21}^{yn} = -F_{31}^{yn} h_{11}^{yn}$  и управляющую силу мышечной системы  $\bar{F}_{31}^{yn}$ , приложенную в суставе  $O_{12}$ .

Таким образом, получен суммарный момент управляющих сил:

$$M_{31}^{yn} = M_{32}^{yn} - M_{21}^{yn} = F_{31}^{yn} (h_{23}^{yn} - h_{11}^{yn}) = F_{31}^{yn} h_{12}^{yn},$$

$$h_{12}^{yn} = h_{23}^{yn} - h_{11}^{yn}. \quad (5)$$

Тем самым показано, что одна и та же управляющая сила одновременно вызывает разные моменты относительно разных осей вращения, т.е. сила не распределяется между звеньями 2 и 3 – меняется лишь плечо соответствующего момента.

Во всех рассмотренных вариантах мы исходили из того, что моменты от сил в мышцах антагонистах, работающих на фиксацию сустава, меньше моментов управляющих сил или вообще отсутствуют. В противном случае картина не изменится, так как мышцы антагонисты, работающие на фиксацию сустава, начнут вырабатывать усилия, создающие целенаправленное движение. А управляющие мышцы антагонисты станут фиксировать и тормозить движение в суставе или не будут оказывать никакого действия [10-12].

### Заключение

Многосуставные мышцы участвуют в движении звеньев относительно суставов, через которые они переброшены. По поводу мышц антагонистов отметим, что они могут перераспределять управляющее воздействие между звеньями за счет фиксации необходимых суставов, но не влияют на общую величину необходимых для движения моментов, вычисленных аналитически.

На основании проведенного анализа работы мышечного аппарата сделаем следующий вывод: уравнения целенаправленного движения отражают выполнение целей движения и не отражают напрямую работу мышц. Мозг человека сам решает, какими средствами и с помощью каких программ выполнить предложенные задачи целенаправленного движения.

По поводу программ, используемых мозгом для управления движением, в данной работе ничего говорить не будем. Относительно же действия мышечного аппарата человека заметим следующее: конкретная реализация необходимого движения зависит от многих факторов, например, от тренированности спортсмена, от спортивного упражнения и фазы, в которой находится спортсмен, его анатомических особенностей, его психологического состояния на данный момент времени и т.д.

*Работа выполняется по гранту государственной программы научных исследований на 2006-2010 г.г.*

*Финансирует: Министерство образования РБ.*

*Тема: «Разработка методов оценки биомеханического состояния человека и реализация оптимальных режимов движений биомеханических систем».*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев, Г.В. Введение в механику человека / Г.В. Корнев. – М.: Наука, 1977. – 264 с.
2. Загrevский, В.И. Расчетные модели кинематики и динамики биомеханических систем / В.И. Загrevский. – Томск–Могилев: Издательская лаборатория Томского педагогического университета, 1999. – 156 с.
3. Загrevский, В. И. Построение оптимальной техники спортивных упражнений в вычислительном эксперименте на ПЭВМ / В. И. Загrevский, Д. А. Лавшук, О. И. Загrevский. – Могилев–Томск, 2000. – 190 с.
4. Покатилов, А.Е. Биомеханика взаимодействия спортсмена с упругой опорой / А.Е. Покатилов; под. ред. В.И. Загrevского. – Минск: Изд. центр БГУ, 2006. – 351 с.
5. Бегун, П.И. Моделирование в биомеханике / П. И. Бегун, П. Н. Афонин. – М.: Высшая школа, 2004. – 390 с.
6. Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский. – М.: Высшая школа, 1990. – 592 с.
7. Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики / Н. Н. Никитин. – М.: Высшая школа, 1990. – 608 с.
8. Боянович, Ю. В. Атлас анатомии человека / Ю. В. Боянович, Н. П.. Балакирев. – Ростов-на-Дону; Феникс, Харьков: Торсинг, 2005. – 734, [1] с.
9. Фениш, Х. Карманный атлас анатомии человека на основе Международной номенклатуры / Х. Фениш (при участии В. Даубера). – Минск: Вышэйшая школа, 2001. – 464 с.
10. Зациорский, В. М. Методы экспериментальных исследований в современной биомеханике спорта / В. М. Зациорский // Материалы первой Всесоюзной научной конференции по биомеханике спорта: Часть I. – М., 1974. – С. 35.
11. Зациорский, В. М. Физические качества спортсмена / В. М. Зациорский. – М.: Физкультура и спорт, 1966. – 198 с.
12. Зинковский, А. В. О методике оценки мышечных усилий при биомеханическом анализе спортивной техники / А. В. Зинковский // Теория и практика физ. культуры. – 1973. – № 9. – С. 66–69.