

# ИННОВАЦИОННАЯ СЕНСОРНО-МОТОРНАЯ МОДЕЛЬ ОСОЗНАВАЕМОСТИ ДВИЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МАХОВОГО СТИЛЯ СПРИНТЕРСКОГО БЕГА

УДК/UDC 796.092

Поступила в редакцию 27.04.2015 г.



Информация для связи с автором:  
usacheva-s@bk.ru

Доктор педагогических наук, профессор **В.Г. Семенов**<sup>1</sup>

Доктор педагогических наук, профессор **Е.А. Масловский**<sup>2</sup>

Доктор педагогических наук, профессор **В.И. Закревский**<sup>3</sup>

Доктор педагогических наук, профессор **Т.П. Юшкевич**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Смоленская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, Смоленск

<sup>2</sup> Полесский государственный университет, Пинск

<sup>3</sup> Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, Могилев

<sup>4</sup> Белорусский государственный университет физической культуры, Минск

## INNOVATIVE SENSORY-MOTOR MODEL OF AWARENESS OF MOTIONS BASED ON MATHEMATICAL SIMULATION OF SWING SPRINTING TECHNIQUE

Dr.Hab., Professor **V.G. Semenov**<sup>1</sup>

Dr.Hab., Professor **E.A. Maslovskiy**<sup>2</sup>

Dr.Hab., Professor **V.I. Zakrevskiy**<sup>3</sup>

Dr.Hab., Professor **T.P. Yushkevich**<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Smolensk State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism, Smolensk

<sup>2</sup> Polesye State University, Pinsk

<sup>3</sup> Mogilev State University named after A.A. Kuleshov, Mogilev

<sup>4</sup> Belorussian State University of Physical Culture, Minsk

### Аннотация

В статье показано, что весь комплекс маховых движений в структуре бегового шага спринтерского бега является идеальной и доступной моделью осознваемости движений на основе имитационного математического моделирования. Экспериментально подтверждено доминирующее значение сенсорной и моторной чувствительности в фазовой структуре активности мышц, последовательности и режима работы сгибателей проксимальных звеньев нижних конечностей на всех этапах спортивного мастерства спринтеров.

Результаты исследования убедительно показали, что маховый стиль бега обеспечивает более эффективное использование инерционных и реактивных сил в безопорной фазе свободных конечностей двигательного аппарата. Серия лабораторных исследований подтвердила, что данный стиль бега более осознаваем и более контролируем спортсменом.

Целенаправленному решению данной двигательной задачи с приоритетностью маховых движений в скоростном беге, которые всецело определяют развитие и совершенствование максимального темпа и как следствие линейного увеличения скорости, возможно только на основе применения сенсорно-моторных и биотехнических средств, реализуемых в условиях «искусственно управляемой предметной среды».

**Ключевые слова:** структура бегового шага; сенсорно-моторная модель; модель осознваемости движений; имитационное математическое моделирование; сенсорная и моторная чувствительность; траектория мышечной активности по фазам; маховый стиль спринтерского бега; пальцевая часть стопы; искусственно управляемая предметная среда; силовой комплекс мышц – сгибателей и разгибателей туловища.

### Annotation

Nowadays the innovative process of rethinking the new evidence of the power symbiosis of flexor and extensor muscles is taking place, along with their restructuring on intra, inter-section and integral levels of the lower limbs of running biodynamics for the purpose of development and improvement of the linear speed of female sprinters

As proved in the paper, the whole complex of swing movements in the structure of the sprinting stride is an ideal and accessible model of awareness of motions based on mathematical simulation. The dominant importance of sensory and motor sensitivity in the phase structure of muscular activity and the sequence and mode of operation of the flexor muscles of the proximal parts of the lower limbs in sprinters of all sports skill levels have been experimentally validated.

The findings have clearly proved that the swing sprinting technique provides more efficient use of inertial and reactive powers of free limbs while floating. Laboratory tests have confirmed that this running technique is more conscious and better controlled by an athlete.

Thus, it is possible to settle this motor task with the priority given to swing motions in high-speed running, which wholly determine the development and improvement of the maximum rate, and as a result, the linear increase of the speed, through the use of sensory-motor and biotechnical techniques implemented in the conditions of an "artificially controlled environment".

**Keywords:** running stride structure; sensory-motor model, model of conscious motions, mathematical simulation, sensory and motor sensitivity, course of muscular activity in phases, swing sprinting technique, toes of foot; artificially controlled object environment, power complex for trunk flexor and extensor muscles.

**Введение.** В настоящее время происходит инновационный процесс переосмысления новых доказательств силового симбиоза мышц-сгибателей и разгибателей и перестройка биодинамики бега на внутри-, межзвеньевых и интегральных уровнях нижних конечностей для развития и совершенствования линейной скорости в спринтерском беге у женщин [5].

**Цель исследования** – экспериментальное обоснование инновационной сенсорно-моторной модели осознваемости движений на основе имитационного математического моделирования махового стиля спринтерского бега.

**Методика и организация исследования.** Нами был разработан один из перспективных способов теоретического синтеза спортивной техники соревновательных упражнений – метод имитационного моделирования движения человека на основе применения персонального компьютера IBM – PC [4]. Сущность данного метода заключается в том, что расшифровка многозвенной биомеханической системы соревновательного упражнения в пространстве и во времени описывается дифференциальными уравнениями второго порядка, и в частности уравнениями Лагранжа второго рода. Уравнения синтеза движений биомеханической системы спринтера в условиях полетной фазы бега построены на основе базовой математической модели, имеют рекуррентную структуру и распространяются на N-звенную модель, что позволило автоматизировать процесс их вывода с помощью компьютера. На основании данной математической модели был изучен маховый стиль бега, с заданными пространственно-временными характеристиками. Исходным послужил киноциклографический анализ бега на 100 м шести сильнейших мужчин-спринтеров. Для математического описания движения спортсменов в безопорном положении использована формула, разработанная И.В. Закревским [4]. При этом кинематическая схема N-звенной биомеханической системы рассматривалась при условии, что точка контакта спортсмена с опорой свободна и методика построения математической модели движений представлена в виде свободного трехзвенника.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Результаты показали важнейшую роль маховых движений вследствие расшифровки траектории мышечной активности по фазам (И. М. Козлов, Л. В. Самсонова, 1990) и имитационного математического моделирования [4].

Это позволило объективно рассматривать доминирующее значение сенсорной и моторной чувствительности в фазовой структуре активности мышц, последовательности и режима работы сгибателей проксимальных звеньев нижних конечностей у современных спринтеров экстра-класса (Е. А. Масловский, 2005).

Было установлено, что в каждом беговом шаге управление всеми движениями в 90 % случаев осуществляется без контроля со стороны коры больших полушарий головного мозга, и только примерно 10 % в беге, к которым относятся маховые движения ногами, – осознаемы (В. Д. Кряжев, 2002). Следовательно, весь комплекс маховых движений в структуре бегового шага – идеальная и доступная модель их осознваемости. Как известно, подобный функциональный процесс рассматривается Н. А. Бернштейном [1] как «древний локомоторный импульс, выбрасывающий ногу вперед», а элемент данной техники бега назван активным махом. Суть его – в разгоне нижних маховых конечностей и ОЦМТ спортсмена в безопорном периоде. Отсюда становится реальной способность управлять движениями в фазе разгона маховой ноги за счет внутренних сил, возникающих при растяжении и последующем сокращении мышц – сгибателей бедра (подвздошно-поясничной, портняжной, натягивателя широкой фасции, гребешковой и прямой), и реактивных сил, возникающих в ре-

зультате ускорения и торможения бедра при его переносе, а также силы инерции. Как показали исследования, наименьшие потери скорости бега зафиксированы в момент амортизации опорной ноги в голеностопном суставе. Последующий разгон маховой ноги происходит в условиях заднего шага, а максимальное встречное движение ног – в безопорном периоде (В. И. Закревский, Е. А. Масловский, 2005).

При реализации махового стиля бега возрастает роль поворота таза вокруг продольной и сагиттальной осей (он может достигать 40–45°). Наибольший его наклон наблюдается вокруг сагиттальной оси в момент вертикали. Следует подчеркнуть, что при маховом стиле бега существенную роль играет туловище. Увеличение движений туловища по продольной оси способствует повышению скорости бега примерно на 6–10 %.

Биомеханический анализ движений выдающихся современных спринтеров экстра-класса путем оценки количественно-качественных характеристик бега позволил установить, что задний шаг и перемещения таза обеспечиваются прежде всего растяжением сгибателей бедра, что способствует высокой эффективности бега. В условиях переднего шага маховые движения при опускании ноги на опору осуществляются разгибателями бедра и туловища и превращением потенциальной энергии в кинетическую, что обеспечивает сохранение линейной скорости бега и ОЦМТ. Следовательно, эффективные маховые движения в скоростных локомоциях способствуют перемещению тела, увеличивают скорость ОЦМТ и тем самым усиливают импульс силы при отталкивании от опоры [3].

Таким образом, наиболее рациональной моделью махового стиля бега в настоящее время является та, которая типична для современных спринтеров экстра-класса. При этом выявлено, что взаимодействие стопы с опорой происходит на уровне пальцевой части стопы при минимальном сгибании ноги в коленном и тазобедренном суставах, что способствует результативной смене опорных и полетных фаз в каждом беговом шаге и тем самым обеспечивается проявление максимальной частоты движений звеньев свободных конечностей. Такой способ махового стиля бега существенно повышает силовую нагрузку на сгибатели и разгибатели бедра и туловища, которые должны быть функционально подготовлены на основе применения специальных средств и тренажеров нового поколения. Поэтому силовой комплекс мышц – сгибателей и разгибателей туловища не столько играет своеобразную роль верхней опоры, поглощая реакцию эксцентрического отталкивания, сколько обеспечивает трансформацию инерционных и реактивных сил, направленных на выполнение структуры двигательных действий нижних конечностей. Верхняя часть тела (руки, плечи и туловище) поглощает реакцию эксцентрического отталкивания, двигаясь в противоположном направлении. Так, правая рука и плечо двигаются вперед или назад вместе с левой ногой, а левая рука и плечо – вместе с правой ногой. Однако при высокой частоте шагов в спринтерском беге, достигающей 4,8–4,88 у женщин и 5,0–5,5 ш/с у мужчин, не представляется возможным «закручивать» и «раскручивать» плечи в зонах их компенсаторности, чтобы поглощать реакцию столь частого производимого и столь мощного отталкивания в каждом беговом цикле. Можно полагать, что руки «ведут» ноги в беге, однако, поскольку действия и противодействия взаимозависимы, быстрая и мощная работа рук может быть детерминирована для усиления движений нижних конечностей, и в том числе отталкивания (Д. Д. Донской, 1985).

Это позволяет выдвинуть положение о необходимости расширения силовой зоны бегового шага и перемещения части силовой нагрузки на мышцы туловища как верхней функциональной опоры. Следовательно, построение всей структуры

беговой локомоции и возрастающая роль махового стиля для развития и совершенствования линейной скорости звеньев тела создают своеобразные энергетические «волны» маховых движений левой и правой ноги при активном участии мышц туловища. Силовые волны распространяются как вдоль, так и между асимметричными движениями верхними и нижними звеньями опорно-двигательного аппарата бегуна, которые синхронизируют ритм колебаний всех звеньев по амплитудно-частотным характеристикам, что и вызывает в первую очередь увеличение действия реактивных сил [3].

При использовании махового стиля бега формируется функциональная геометрия мышечных звеньев нижних конечностей, создающая важнейшие условия для развития и существенного увеличения максимальной частоты движений бега. В целом это обеспечивает возрастание скорости перемещения звеньев нижних конечностей в каждом беговом шаге на основании конвергентности (сближения) силы мышц – сгибателей и разгибателей бедра, голени и стопы [5].

Поскольку реактивные силы имеют важное значение в беге, рассмотрим их более подробно. По мнению специалистов [7 и др.] существуют реактивные силы, являющиеся отражением сил, возникающих на периферии опорно-двигательного аппарата спортсмена. Если первоначальной двигательной задачей выполнения рациональной техники движений в беге является погашение всех излишних отрицательных сил, кроме функционально необходимых для реализации эффективной структуры техники движений, то в данном случае нужно нейтрализовать их воздействие. Однако при выполнении техники спринтерского бега возникают реактивно инерционные силы, суть которых – в коррекции двигательных действий со стороны ЦНС. Эти импульсы сил возникают как раз в такие моменты, когда беговому движению необходима осознанная коррекция маховых движений нижних конечностей в безопасном периоде. Поэтому основная задача управления движениями в беге – использование реактивных сил для эффективного выполнения беговой структуры движений при уменьшении количества возможных отрицательных воздействий.

Можно полагать, что перенос маховой ноги волной ускорения в беговом шаге – идеальная функциональная структурная модель осознаваемых движений. Согласно положению, выдвинутому И.М. Сеченовым, управление движениями сводится, в сущности, к одному – к непрерывному, подчиненному и строгому контролю со стороны ЦНС для их коррекции. Эти сигналы поступают в кору головного мозга, далее анализируются, осознаются и корректируются на основании данных, поступающих с периферии. Иными словами, ЦНС «подав команду» к началу движения, путем работы необходимых мышц осуществляет перемещение звеньев тела, увеличивает скорость ОЦМТ и тем самым повышает градиент силы мышц при отталкивании от опоры (Д.Д. Донской, 1985).

Таким образом, наиболее рациональной моделью махового стиля бега является та, которая типична для современных спринтеров экстра-класса, непрерывно контролируется и благодаря этому немедленно корректируется путем соответствующих изменений мышечных напряжений. Н.А. Бернштейн [1] в своих теоретических и экспериментальных исследованиях обосновал, что наиболее важные инициативные силовые импульсы возникали в такие моменты, когда движение более всего нуждается в коррекции (например, в фазе начала маховых движений конечностью или переноса ноги). В данном случае автор рассматривает непрерывную сенсорную коррекцию, которая вписывается в теорию цикличности управления движениями, отражая феномен их осознаваемости. На этой основе Н.А. Бернштейном было выдвинуто положение, что мышечное напряжение и последующее результирующее движение звеньев тела в целом взаимосвязаны

и непрерывно воздействуют друг на друга. Это получило математическое доказательство цикличности управления движениями в виде дифференцированного уравнения, которое обеспечивалось на уровне осознаваемых движений. Результаты исследований М. Фельденкрайза [6] показали приоритетность и высокую значимость осознаваемости движений в контексте телесно-ориентированных систем развития личности. Эти системы рассматривают тело и ум как единое целое, как непрерывный психофизический процесс, в котором изменения на одном уровне воздействуют на остальные. Они направлены на связи между двигательными участками коры головного мозга и мышцами с целью обеспечить телу способность двигаться с минимальными усилиями и максимальной эффективностью не только благодаря увеличению силы движения, но и за счет возрастающего понимания и осознания этого движения.

Результаты исследования убедительно показали, что маховый стиль бега позволяет более эффективно использовать инерционные и реактивные силы в безопасной фазе свободных конечностей двигательного аппарата. Серия лабораторных исследований подтвердила, что данный стиль бега лучше осознается и контролируется спортсменом.

**Вывод.** Целенаправленное решение данной двигательной задачи с приоритетностью маховых движений в скоростном беге, которые определяют развитие и совершенствование максимального темпа и как следствие линейного увеличения скорости, возможно только на основе применения сенсорно-моторных и биотехнических средств, реализуемых в условиях искусственно управляемой предметной среды.

#### Литература

1. Бернштейн Н.А. О построении движений / Н.А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. – 224 с.
2. Донской Д.Д. Биомеханика: учебник для ин-тов физкультуры / Д.Д. Донской, В.М. Зациорский. – М.: Физкультура и спорт, 1979. – 264 с.
3. Донской Д.Д. Психомоторное единство управления физическими упражнениями как двигательными действиями (от «механики живого» к психобиомеханике действий) / Д.Д. Донской // Теория и практика физ. культуры. – 1995. – № 5-6. – С. 23-26.
4. Закревский В.И. Биомеханика физических упражнений: учеб. пособие / В.И. Закревский, О.И. Закревский. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. – 274 с.
5. Семенов В.Г. Двигательный аппарат женщин-спринтеров в спортивном генезисе: монография / В.Г. Семенов. – Смоленск: СГАФКСТ. – 2008. – 130 с.
6. Фельденкрайз М. Осознание через движение: двенадцать практических уроков / М. Фельденкрайз / Пер. с англ. – М.: Институт общегуманитарных исследований, 2007. – 244 с.
7. Чхаидзе Л.В. Формула шага / Л.В. Чхаидзе, С.М. Чумаков. – М.: Физкультура и спорт, 1972. – 117 с.

#### References

1. Bernstein, N.A. O postroenii dvizheniy (On construction of movements) / N.A. Bernstein. – Moscow: Medgiz, 1947. – 224 P.
2. Donskoy, D.D. Biomekhanika: uchebnik dlya in-tov fizkul'tury (Biomechanics: textbook for institutes of phys. cult.) / D.D. Donskoy, V.M. Zatsiorskiy. – Moscow: Fizkul'tura i sport, 1979. – 264 P.
3. Donskoy, D.D. Psikhomotornoe edinstvo upravleniya fizicheskimi uprazhneniyami kak dvigatel'nyimi deystviyami (ot «mekhaniki zhivogo» k psikhobiomekhanike deystviy) (Psychomotor unity of management of physical exercises as motor actions (from "mechanics of living" to psychobiomechanics of actions) / D.D. Donskoy // Teoriya i praktika fiz. kul'tury. – 1995. – № 5-6. – P. 23-26.
4. Zakrevskiy, V.I. Biomekhanika fizicheskikh uprazhneniy: ucheb. posobie (Biomechanics of physical exercises: study guide) / V.I. Zakrevskiy, O.I. Zakrevskiy. – Tomsk: TML-Press, 2007. – 274 P.
5. Semenov, V.G. Dvigatel'ny apparat zhenshchin-sprinterov v sportivnom genезise: monografiya (Locomotor system of female sprinters in sports genesis) / V.G. Semenov. – Smolensk: SGAFKST. – 2008. – 130 s.
6. Feldenkrais, M. Osoznavanie cherez dvizhenie: dvenadtsat' prakticheskikh urokov (Awareness through movement: 12 practical lessons) / M. Feldenkrais / Transl. from Eng. – Moscow: Institut obshchegumanitarnykh issledovaniy, 2007. – 244 P.
7. Chkhaidze, L.V. Formula shaga (Step formula) / L.V. Chkhaidze, S.M. Chumakov. – Moscow: Fizkul'tura i sport, 1972. – 117 P.