

ПЕРЕНОС МАХОВОЙ НОГИ ВОЛНОЙ УСКОРЕНИЯ В БЕГОВОМ ШАГЕ – ИДЕАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОСОЗНАВАЕМЫХ ДВИЖЕНИЙ

В.Г. Семенов¹, Е.А. Масловский², В.И. Загревский³

¹Смоленская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, Смоленск, Россия

²Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь

³Могилевский государственный университет им.А.Кулешова, Могилев, Республика Беларусь

Введение. В беговом шаге управление 90% всех движений осуществляется без участия контроля со стороны коры больших полушарий головного мозга, то есть, бессознательно. И только 10% движений осознаваемы, которые имеют центральное происхождение и задаются корой больших полушарий. Перенос маховой ноги волной ускорения в беговом шаге является идеальной моделью осознаваемых движений. Подобный перенос рассматривается Н.А.Бернштейном [1], как «древний локомоторный импульс, выбрасывающий ногу вперед», а элемент техники бега назван

им как «активный мах». Суть его – разгон маховых конечностей и ОЦМТ спортсмена в опорном периоде. То есть, спортсмен способен управлять движениями в фазе переноса маховой ноги при опорном положении контрлатеральной конечности. Этот перенос маховой ноги происходит за счет: 1) внутренних сил, возникающих при растяжении и последующем сокращении мышц передней поверхности бедра; 2) реактивной силы, вызываемой в результате ускорения, а затем торможения бедра при переносе; 3) горизонтальной и вертикальной составляющих силы реакции опоры.

Наименьшие потери в скорости бега в момент амортизации опорной ноги в голеностопном, коленном и тазобедренном суставах и последующего разгона бедра (маховый стиль бега) происходят в условиях [3]: 1) наибольшего сведения бедер к моменту постановки ноги на опору; 2) максимальной концентрации на образование рационального направления и величины силового импульса, формирующего активный мах; 3) уменьшения потерь скорости за счет сокращения времени торможения, которое является одним из основных критериев техники бега; 4) рациональной кинематики подошвенных сгибателей стопы (как в балете).

При использовании махового стиля бега возрастает роль вращения таза как вокруг продольной, так и вокруг сагиттальной оси. К моменту отрыва ноги от опоры начинается перенос ноги и угол поворота таза достигает 45° . В момент вертикального положения таза над опорой угол поворота равен нулю. Наибольший наклон таза (вокруг сагиттальной оси) в сторону маховой ноги наблюдается в момент вертикали. Поэтому колено маховой ноги оказывается несколько ниже колена опорной ноги. При рассматриваемом стиле бега роль туловища также существенна. Увеличение движений верхней половины туловища (по продольной оси) во всех случаях способствует повышению скорости бега на 6–12%. Причем последнее обусловлено возрастанием как длины, так и темпа шагов.

Результаты исследования. Был проведен биомеханический анализ спортивной техники по критерию количественно–качественных характеристик на основе анализа кинограмм выдающихся негритянских спринтеров (победителей Олимпийских игр, рекордсменов мира). Практически у всех спортсменов отметим высокое положение пятки в фазе амортизации за счет чего и происходит удлинение мышц, обслуживающих голеностопный сустав. Оно способно вызвать ее последующее сокращение по механизму миостатического рефлекса (то есть, за счет упругой деформации мышц голеностопного сустава в виде рекуперации энергии). Выход тела спортсмена высоко на переднюю часть стопы позволяет растянуть соответствующие мышцы в необходимой мере и тем самым подготовить их к активной работе при отталкивании (эффект перехода кинетической энергии в результирующее действие).

В заднем шаге за счет максимального выхода на носок таз хорошо продвинут вперед по ходу движения, обеспечивая хорошее натяжение сгибателей туловища и 4–главой мышцы бедра, что способствует в дальнейшем организации хорошего реактивного маха с малыми энергозатратами. Из этого следует, что мах будет силовой, медленный и высокоэнергозатратный за счет сокращения мышц, поднимающих бедро.

В переднем шаге максимальный выход звеньев тела (кинематическая составляющая) вперед в значительной степени осуществляется за счет превращения потенциальной энергии в кинетическую. Во время махового движения происходит натяжение мышц–антагонистов (разгибатели туловища и мышц задней поверхности соответствующей ноги), что обеспечивает сохранение линейной скорости общего центра массы тела (ОЦМТ) спортсмена.

Следовательно, наиболее рациональная схема махового стиля бега – это та, которая типична для негритянских спринтеров. У них взаимодействие стопы с опорой происходит на уровне ее пальцевой части (как в балете) и вся кинематическая система опорной части бегового шага (стопа, колено, таз, туловище) и, естественно, ОЦМТ несколько сдвинуты вперед относительно вертикальной составляющей опорного положения, что позволяет обеспечить при смене опорных и полетных фаз бегового шага максимальную частоту движений звеньев свободных конечностей.

Такой способ выполнения махового стиля бега существенно повышает силовую нагрузку на туловище, которое должно быть функционально подготовлено и справиться с дополнительными силовыми воздействиями. Поэтому туловище служит не столько целям амортизации а, наоборот, должно обеспечить трансформацию движущих сил на выполнение конкретного двигательного действия. Это позволяет нам выдвинуть положение о расширении зоны опорной части бегового шага и перемещения части ее нагрузки на мышцы туловища (как опорная составляющая), которое должно быть соответствующе подготовлено функционально.

Таким образом, построение беговой локомоции (маховый стиль бега) с возрастающей функцией линейной скорости звеньев тела спортсмена, осуществляется изначально «древним локомотор-

ным импульсом, выбрасывающим ногу вперед», создающим энергетические волны. Волна распространяется как вдоль, так и между симметричными верхними и нижними звеньями опорно-двигательного аппарата бегуна, которые синхронизируют (ритм колебания всех звеньев по амплитудно-частотным характеристикам), и способствуют, в первую очередь, увеличению действия **реактивных сил** (3).

Если учесть, что к этим силам добавляются и силы реакции опоры, то можно понять, что в целом это обеспечивает соответствующую амплитуду махового движения звеньев свободной конечности ноги.

Таким способом, при использовании махового стиля бега формируется специальная геометрия мышечной массы звеньев тела спринтера, создающая благоприятные условия для достижения максимальной частоты движений специфических для бега звеньев тела спортсмена без дополнительных мышечных усилий (например, мышц, поднимающих бедро). В целом это обеспечивает и возрастание скорости перемещений звеньев тела и бегового шага, обусловленное дополнительным композиционным соотношением активной мышечной массы, межмышечной координацией и пассивным костно-суставно-сухожильным аппаратом.

Поскольку реактивные силы в беге имеют приоритетное значение, рассмотрим их более подробно. По мнению специалистов [3] существуют реактивные силы, являющиеся отражением механических сил, возникающих на периферии опорно-двигательного аппарата тела спортсмена. Поэтому, в случае, если первоначальной биомеханической задачей выполнения рациональной техники движения является погашение всех излишних сил, кроме минимально необходимых для построения эффективной техники движения, необходимо нейтрализовать их воздействие. Дополнительно можно отметить, что в рассматриваемых соревновательных упражнениях возникают реактивно-иннервационные импульсы, суть которых заключается в коррекции двигательных действий со стороны центральной нервной системы. Эти импульсы как раз и возникают в такие моменты, когда движению необходима **осознанная коррекция** (например, в фазах переноса ноги). Поэтому основная задача в управлении движениями это та, когда реактивные силы используются для образования самой структуры движения, при уменьшении количества возможных траекторий движения.

Подтверждение тому, что **перенос маховой ноги** волной ускорения в беговом шаге идеальная модель **осознаваемых движений** является утверждение И.М.Сеченова о том, что все управление движениями человека сводится, в сущности, к одному – к непрерывной, подчиненной строгому контролю со стороны центральной системы, коррекции хода перемещений приоритетного звена. Эти **сигналы** поступают, затем анализируются, **осознаются** и корректируются на основании данных, поступающих с периферии. Иными словами, центральная нервная система, «подав команду», на начало движения (путем сокращения нужных для этого мышц), осуществляет дальнейшее перемещение звеньев тела спортсмена под непрерывным контролем и, естественно, благодаря этому, немедленно корригируется путем соответствующего изменения мышечных напряжений не без помощи «сенсорной коррекции». Н.А.Бернштейн пошел значительно дальше теоретических высказываний Н.М.Сеченова. Взяв за модель легкоатлетический бег, он доказал, что наиболее важные инициативные силовые импульсы возникали в такие моменты, когда движение более всего нуждалось в коррекции (например, в фазах начала махового движения конечностью или начала переноса ноги). То есть, речь идет о непрерывной «сенсорной коррекции», которая вписывается в теорию цикличности управления движениями, отражающих феномен осознаваемых движений. На этой основе им было выдвинуто положение, что мышечное напряжение и результирующее движение оказались настолько взаимосвязанными, что в целом, воздействовали друг на друга. Это было математическое доказательство цикличности управления движениями в виде дифференциального уравнения, **которое обеспечивалось на уровне осознаваемых движений**.

Работы последних лет (М.Фельденкрайз, 2007) осознанию через движение в контексте телесноориентированных систем развития личности отдают приоритет. 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 восстановление связей между двигательными участками коры головного мозга и мышцами с целью – создать в теле способность двигаться с минимальными усилиями и максимальной эффективностью не благодаря увеличению силовых характеристик движения, а благодаря возрастающему пониманию этого движения. Согласно М.Фельденкрайзу (4), возрастающее осознание и подвижность могут быть достигнуты при успокоении и уравнивании двигательных участков коры головного мозга, что обеспечи-

вает «эффект неусилия», возвращает к мудрости – естественности движений, координации и равновесию тела.

В последнее время в Республике Беларусь, разработан один из перспективных способов теоретического синтеза техники соревновательных упражнений – метод имитационного моделирования движений человека на ПЭВМ (В.И.Загrevский, Д.А.Лавшук,2006). Сущность метода имитационного моделирования движений человека на ПЭВМ заключается в том, что эволюция многозвенной биомеханической системы в пространстве и во времени описывается системой дифференциальных уравнений второго порядка, в частности уравнениями Лагранжа второго рода.

Формульные выражения уравнений движения неразветвленной трехзвенной модели биомеханической системы, представленные в форме уравнений Лагранжа второго рода, имеют вид [1].

$$A_{11}\ddot{\varphi}_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_1) + A_{12}\ddot{\varphi}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1) + A_{13}\ddot{\varphi}_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_1) - \\ - A_{11}\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_1) - A_{12}\dot{\varphi}_2^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_1) - A_{13}\dot{\varphi}_3^2 \sin(\varphi_3 - \varphi_1) + \\ + Y_1 \cos \varphi_1 = M_1 - M_2;$$

$$A_{21}\ddot{\varphi}_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + A_{22}\ddot{\varphi}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_2) + A_{23}\ddot{\varphi}_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_2) - \\ - A_{21}\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_2) - A_{22}\dot{\varphi}_2^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_2) - A_{23}\dot{\varphi}_3^2 \sin(\varphi_3 - \varphi_2) + \\ + Y_2 \cos \varphi_2 = M_2 - M_3;$$

$$A_{31}\ddot{\varphi}_1 \cos(\varphi_1 - \varphi_3) + A_{32}\ddot{\varphi}_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + A_{33}\ddot{\varphi}_3 \cos(\varphi_3 - \varphi_3) - \\ - A_{31}\dot{\varphi}_1^2 \sin(\varphi_1 - \varphi_3) - A_{32}\dot{\varphi}_2^2 \sin(\varphi_2 - \varphi_3) - A_{33}\dot{\varphi}_3^2 \sin(\varphi_3 - \varphi_3) + \\ + Y_3 \cos \varphi_3 = M_3.$$

Заключение. Уравнения синтеза движений биомеханической системы в условиях полетной части упражнений (опорные и полетные периоды бегового шага в гладком и барьерном беге), построенные на основе базовой математической модели (2) имеют рекуррентную структуру и распространяются на N -звенную модель, что позволяет автоматизировать процесс их вывода с помощью ЭВМ. Для этого пользователю достаточно задать количество звеньев модели, а ЭВМ формирует уравнения движения непосредственно в процессе вычислительного эксперимента. С помощью данной математической модели был изучен «маховый» стиль бега с заданными пространственно–временными параметрами. Исходными данными послужил киноциклографический анализ бега на 100 метров (гладкий) и 110 метров (с барьерами) по шесть сильнейших мужчин–спринтеров мира в каждом виде. Для математического описания движения спортсменок в безопорном положении использована формула В.И.Загrevского (2). Это кинематическая схема N -звенной биомеханической системы при условии, что точка контакта спортсмена с опорой свободна и методика построения математической модели движения представлена в виде свободного трехзвенника. Этот подход распространен на многозвенную модель биомеханической системы движений в барьерном беге, которая формируется на основе искомым уравнений в процессе вычислительного эксперимента с помощью ЭВМ. Результаты исследования показали, что «маховый» стиль бега обеспечивает более эффективное использование инерционных и реактивных сил в безопорной фазе свободных конечностей опорно–двигательного аппарата. Данный стиль бега отличается тем, что он более осознаваем и более контролируем спортсменом.

Литература:

1. Бернштейн, Н.А. О построении движений /Н.А.Бернштейн. М.: Медгиз, 1947. – 224 с.
2. Загrevский, В.И. Биомеханика физических упражнений: учебное пособие. /В.И.Загrevский, О.И.Загrevский. – Томск: ТМЛ–Пресс, 2007. – 274 с.
3. Чхаидзе, Л.В. Формула шага /Л.В.Чхаидзе, С.В.Чумаков. М.: Физкультура и спорт», 1972. – 117 с.
4. Фельденкрайз, М. Осознание через движение: двенадцать практических уроков /М.Фельденкрайз. Пер. с английского – М.: Институт Общегуманитарных Исследований, 2007. – 244 с.