

ция используется преимущественно для мобилизации всех ресурсов эластического феномена («пассивного» и «активного» компонентов мышечной упругости). Применение предварительных ритмических растягиваний способствует облегчению проявления рефлекторной потенциации в данных мышцах в финальной фазе цикла (например, отталкивание в беге), что повышает эффективность движения. Центральное управление максимальных скоростно-силовых движений с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации осуществляется при реципрокных координационных взаимоотношениях между моторными центрами мышц-антагонистов, участвующих в двигательном цикле «растяжение-сокращение» [5].

Таким образом, при выполнении скоростно-силовых упражнений с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации появляются существенные возможности минимизировать общие энергетические затраты на совершение мышцами положительной механической работы в цикле «растяжение-сокращение», за счет снижения метаболических ресурсов на эксцентрическую мышечную работу.

1. Верхошанский, Ю.В. Основы специальной физической подготовки спортсменов / Ю.В. Верхошанский – М: Ф и С. – 1988. – С. 223.
2. Волков, В.М. // Резервы спортсмена: метод. пособие / В.М. Волков, А.А. Семкин. – Минск, ИПП Госэкономплана Респ. Беларусь, 1993. – С. 65.
3. Зациорский, В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М. Ф и С, 1981. – 64 с.
4. Физиология мышечной деятельности: учебник для ИФК / Я.М. Коц [и др.]; под общ. ред. Я.М. Коца. – М: Ф и С, 1982. – С. 93.
5. Након, Л.К. Накопление и рекуперация энергии упругой деформации в мышечных и сухожильных структурах при выполнении скоростно-силовых упражнений: автореф. дис канд. пед. наук. – М., 1990. – 22 с.
6. Хилл, А. Механика мышечного сокращения / А. Хилл. – М.: Мир, 1972. – 183 с.

ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ РАБОТА МЫШЦ В ЛЕГКОАТЛЕТИЧЕСКОМ СПРИНТЕ

Заброцкий А.В.,

Белорусский государственный университет физической культуры,
Республика Беларусь

Поскольку в беге с высокой скоростью сознание не контролирует отдельные движения рук и ног, очень важно разобраться во внутренней структуре бегового шага, то есть последовательности и характере действий отдельных мышечных групп ног, с тем чтобы в процессе тренировок использовать целенаправленную программу технической подготовки и применять специальные упражнения, соответствующие режиму работы мышц в беге с максимальной скоростью. В стартовом разгоне (особенно в его начальной фазе) наибольшая ам-

плитуда движения отмечается в тазобедренном суставе – 70° , в то время как в коленном и голеностопном суставах – примерно 45° . Таким образом, наибольшую нагрузку в беге со старта несут мышцы тазобедренного сустава. Мощное разгибание ног осуществляется активизацией сильных ягодичных мышц, а также передней группой мышц бедра, разгибающих голень. Причем на эту группу мышц ног ложится основная нагрузка в стартовых действиях, так как после разгибания голени двусуставные мышцы передней поверхности бедра мгновенно переключаются на выполнение активного маха вперед. Этому действию способствуют мышцы задней поверхности бедра, которые, напрягаясь, стабилизируют угол в коленном суставе. В стартовом разгоне главную роль играют силовые характеристики отталкивания, однако значение быстрого и эффективного маха голенью не менее велико. По мере развития скорости бега спринтер все больше увеличивает длительность фазы полета, и все меньше находится на опоре. Так, в беге со скоростью 11 м/с время опоры составляет 90 мс, а полета – 115 мс. При этом мышцы ног работают в диапазоне 30–80 % от всего двигательного цикла, то есть движение совершается по баллистическому типу, когда, резко повышая активность, мышца разгоняет отдельные звенья тела на коротком отрезке пути, после чего движение осуществляется по инерции. Такие баллистические движения характерны для всех высокоавтоматизированных быстрых действий [3].

Наибольшая активность всех мышечных групп ноги наблюдается в момент подготовки к постановке стопы на дорожку и в первую фазу периода опоры. Мощное напряжение мышц, вызывающее разгибание бедра и голени, позволяет развить необходимую «посадочную» скорость стопы, а напряжение соответствующих мышц-антагонистов «закрепляет» все суставы опорной ноги и обеспечивает достаточно жесткое приземление, сохраняющее высокую траекторию общего центра тяжести тела. В фазе амортизации основную нагрузку несут мышцы голени – икроножная и камбаловидная, при этом угол в голеностопном суставе изменяется на $34\text{--}38^\circ$. Перемещение звеньев ноги в коленном суставе в период опоры достигает лишь $4\text{--}10^\circ$, поэтому нагрузка на прямую мышцу бедра в эксцентрическом режиме в фазе амортизации относительно меньше. Экспериментально установлено, что у спринтеров в периоде опоры мышцы голеностопного сустава выполняют работу в шесть раз большую, чем мышцы коленного [1].

В фазе разгона маховой ноги одновременно активны двусуставные мышцы бедра, его задней и передней поверхности. Разгон начинается передней группой мышц бедра чуть раньше момента, когда опорная нога касается поверхности дорожки. По мере роста скорости бега удлиняется как относительное, так и абсолютное время активности, а также фаза одновременной активности. Определено, что активный период прямой мышцы бедра составляет 80 % всего двигательного цикла, а двуглавой – 75 % [3].

С возрастанием скорости бега значение интегрированной электрической активности прямой мышцы бедра и трехглавой мышцы голени увеличивается в квадрате. Более высококвалифицированные спринтеры характеризуются большей внешней работой за счет продольного компонента, меньшей верти-

кальной, производимой за единицу пути и времени, большей мощностью взаимодействия с опорой в фазе отталкивания и торможения, большим количеством отрицательной внешней работы [4].

Признаком выполнения отрицательной работы в суставе является отрицательный знак произведения управляющего момента на скорость изменения угла в суставе, которое равно суставной мощности. Отрицательная мощность наблюдается, главным образом, в тазобедренном суставе во время опоры и в коленном суставе – в начале и в конце опорного периода и во второй половине фазы переноса ноги. В среднем за цикл отрицательная работа момента в этих суставах несколько превышает положительную. В спринтерском беге наибольшие значения отрицательных мощностей наблюдаются в голеностопном суставе в первой половине опорного периода, и могут достигать 8411 Вт. В данном суставе величина отрицательной работы примерно равна положительной. В коленном суставе выполняется в основном отрицательная работа, причем наибольшие величины отрицательной мощности (2000–3000 Вт) наблюдаются в момент безопорного положения ноги. Отрицательная работа мышц совершается при их растягивании в напряженном состоянии. Отрицательную работу мышц при локомоциях вычислить довольно трудно (необходимо знать, как меняется сила тяги мышц и их длина). В беге отрицательная работа икроножной мышцы и мышц задней поверхности бедра составляет порядка 43 и 37 Дж соответственно [2].

Количественное изучение отрицательной работы мышц пока затруднительно, а качественное широко используется (главное констатация отрицательной работы), то есть рассматриваются управляющие моменты и электрическая активность мышц. В беге большой управляющий момент наблюдается в голеностопном суставе в опорном периоде. Он направлен на подошвенное сгибание стопы. Это говорит об активности мышц задней поверхности голени, что подтверждается данными электромиографии. В то же время происходит тыльное сгибание стопы при постановке ноги на опору (отрицательная работа).

В спринтерском беге со старта отрицательная работа по изменению полной энергии тела в каждом шаге увеличивается и становится равной положительной при стабилизации скорости. Величина прироста отрицательной работы на финише больше, чем величина падения положительной. Это является следствием снижения мощности сокращения мышц. Локальное утомление мышц задней поверхности бедра делает затруднительным момент опускания бедра маховой ноги, при этом сила в центре масс ноги снижается на 70 % [4]. Это обстоятельство лишает возможности перехода энергии от опускаемой ноги к другой ноге, вследствие чего она выносится вперед за счет метаболической энергии сокращения мышц бедра, что и приводит к их излишнему утомлению. Переход механической энергии позволяет сэкономить энергетические затраты, повысить экономичность и эффективность мышечной работы.

В фазе стартового ускорения выполняется основная задача – достижение предельных для каждой дистанции величин механической энергии за минимальный срок. Увеличение энергии достигается в основном за счет метаболических источников энергии, особенно в первой половине стартового разбега,

так как мышцы работают в преодолевающем режиме. Но при перестройке кинематической структуры бегового шага в переходе со стартового разбега на бег по дистанции вклад положительной и отрицательной работы за каждый цикл уравнивается. Данные условия, а именно выполнение отрицательной работы мышцами (эксцентрический режим сокращения), позволяют использовать механизм накопления и рекуперации энергии упругой деформации в следующем за этим (концентрическом) сокращении. При постановке ноги на дорожку под влиянием отягощения массы тела напряженные мышцы (передней поверхности бедра, задней поверхности голени и подошвенные сгибатели стопы), растягиваясь, поглощают энергию с тем чтобы во второй фазе опорного периода использовать ее при отталкивании. Прирост мощности сокращения зависит от скорости предварительного растягивания мышцы, времени перехода от растягивания к началу основной фазы движения, соотношения быстрых и медленных волокон, ее механических свойств, температуры, пола, возраста. В беге вклад предварительного растягивания мышц начинает сказываться со скоростей 6–7 м/с. Сила, проявляемая при растягивании активных мышц человека, выше, чем при изометрических и концентрических сокращениях и не подчиняется уравнению «сила-скорость». Утомление в максимальном эксцентрическом напряжении развивается быстрее, чем при концентрическом.

Влияние предварительного растягивания активных мышц на положительную работу заключается в следующем: а) в последовательной упругой компоненте запасается дополнительное количество энергии упругой деформации, освобождаемой при укорочении; б) статический эксцесс силы смещает кривую «сила-скорость» на укорочение мышцы вправо, что позволяет выполнить большую механическую работу, причем на поддержание эксцесса силы требуется мало метаболических субстратов (не больше чем при изометрическом режиме); в) растягивание активной мышцы так же не вызывает значительных метаболических затрат. Запасание энергии упругой деформации в растянутых мышцах составляет 35–53 % [2].

Таким образом, использование отрицательной работы мышц как признака проявления механизма накопления и рекуперации энергии упругой деформации мышц и сухожилий в спринтерском беге можно рассматривать, как важный фактор в поиске условий, при которых эластические свойства имеют наибольшую реализацию. А также обоснование комплекса специальных тренировочных средств и тренажерных устройств, обеспечивающих наилучшее использование этих свойств.

1. Зациорский, В.М. Биомеханика двигательного аппарата человека / В.М. Зациорский, А.С. Аруин, В.Н. Селуянов. – М.: Ф и С, 1981. – 143 с.
2. Зациорский, В.М. Биомеханика отрицательной работы / В.М. Зациорский, Б.И. Прилуцкий – М., 1986. – 64 с.
3. Озолин, Э.С. Спринтерский бег / Э.С. Озолин. – М.: Ф и С, 1986. – 159 с.
4. Тюпа, В.В. Биомеханика бега / В.В. Тюпа. – М.: Ф и С, 1990. – 98 с.