

## ЭЛАСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЫШЦ И СУХОЖИЛИЙ В СПОРТИВНЫХ УПРАЖНЕНИЯХ СКОРОСТНО-СИЛОВОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

*Заброцкий А.В.,*

Белорусский государственный университет физической культуры,  
Республика Беларусь

Управление локомоциями в спорте осуществляется комплексом нервных центров, расположенных в различных отделах центральной нервной системы (ЦНС). Между ЦНС как управляющей и двигательным аппаратом как управляемой системой, существует прямая и обратная связь. Первая осуществляется передачей информации (импульсов управления) по эфферентным путям через мотонейроны спинного мозга к рабочим мышцам; вторая обеспечивается поступлением сигналов от механорецепторов или проприорецепторов (расположены в мышцах, сухожилиях и суставных сумках) двигательного аппарата и других сенсорных систем организма в ЦНС.

Проприорецепторы двигательной сенсорной системы служат для анализа состояния двигательного аппарата, его движения и положения (чем более тонкие и высококоординированные операции осуществляют мышцы, тем больше в них рецепторов: мышцы шеи – 63, мышцы таза и бедра – 5 на один грамм веса мышцы). Специфическим раздражителем этих рецепторов является растяжение вследствие изменения суставного угла, растяжения мышц и сухожилий [4].

Мышца является упругим телом. По биомеханическим свойствам она подобна системам, состоящим из трех компонентов: а) собственно контрактильный – в этом компоненте разворачиваются процессы, приводящие к генерированию сил мышечной тяги и укорочению мышцы, демпфирование в этом компоненте весьма велико; б) пассивный упругий, соединенный последовательно с контрактильным; в) пассивный упругий, соединенный параллельно с контрактильным.

Последовательные упругие элементы представляют собой участки миозиновых поперечных мостиков, а также участки перехода миофибрилл в соединительно-тканые образования и сухожилия мышцы. Параллельные упругие компоненты – оболочки, покрывающие пучки мышечных волокон и отделяющие эти пучки друг от друга внутри мышцы.

Упругие свойства покоящейся (пассивной) мышцы проявляются в том, что при растяжении в ней развивается напряжение. Изолированная мышца имеет равновесную длину, при которой ее упругое напряжение равно нулю. При растяжении упругое напряжение мышцы прогрессивно увеличивается вдвое от равновесной длины. Напряжение сокращающейся мышцы максимально, если ее длина на 20 % больше равновесной. Активное напряжение повышается более или менее линейно с увеличением начальной длины мышцы вплоть до достижения максимума. Если длина мышцы превышает этот максимум, то активное напряжение снижается. Биомеханические свойства не посто-

яны и зависят от степени возбуждения мышцы и других факторов: а) собственно механических свойств; б) механических характеристик взаимодействия актино-миозинового сократительного комплекса, связанного с образованием и разрывом поперечных спаек между филаментами [3].

Центральная нервная система, как всякая сложная система управления, включает как безусловно-рефлекторные механизмы (унаследованные двигательные автоматические действия), так и условно-рефлекторные (приобретенные в процессе жизни, тренировки). Одним из безусловных двигательных рефлексов является рефлекс на растяжение (миотатический рефлекс). По существу, это рефлекс активного противодействия мышцы ее растяжению. При растяжении мышцы возбуждаются чувствительные нервные окончания в мышечных веретенах. Импульсы от них направляются по афферентным волокнам в спинной мозг и непосредственно без участия вставочных нейронов передаются на альфа-мотонейроны, вызывая сокращение [4]. В естественных условиях основным раздражителем механорецепторов является сила тяжести, растягивающая скелетные мышцы.

Эластические свойства скелетных мышц и сухожилий играют важную роль в выполнении спортивных упражнений. Особенно в тех, которые направлены на достижение высокой конечной скорости. Быстрое растягивание мышц непосредственно предшествует активному приложению мышечной силы. При выполнении таких скоростно-силовых упражнений важное значение для повышения эффекта мышечного сокращения имеет целесообразное использование эластических свойств мышц и сухожилий. Согласно рефлекторному взаимодействию, если мышцы предварительно растягиваются внешней силой, то они совершают работу, в процессе которой в них накапливается энергия упругой деформации, которую можно рекуперировать в последующем сокращении. Например, это можно наблюдать при быстром переключении от уступающей работы мышц к преодолевающей в условиях максимума развивающейся в данный момент динамической нагрузки [1]. При этом, чем больше (в оптимальных пределах, см. выше) деформация мышц в фазе амортизации, тем выше мощность и скорость сокращения. По данным ряда исследователей, сила мышц в уступающем режиме может превосходить максимальную изометрическую силу на 50–100 %. В этом случае от растягиваемых мышц в ЦНС направляется мощный поток проприоцептивных импульсов, который по механизму миотатического рефлекса создает дополнительный потенциал упругого напряжения, существенно усиливающий рабочий ресурс мышц [2].

В экспериментах на изолированных препаратах после растягивания тетанически напряженной мышцы с умеренной скоростью, измеренная механическая работа в фазе последующего концентрического сокращения увеличивается (в сравнении с положительной механической работой, выполняемой без предварительного растягивания) примерно в 2 раза при растягивании на 7–10 % и в 3,5 раза при растягивании на 25 % исходной длины. После растягивания скорость концентрической фазы увеличивается скоростью укорочения упругих компонентов (Cavagna et al, 1986) [6]. Происходит смещение гиперболиче-

ской зависимости «сила-скорость» в сторону большей силы при данной скорости, или большей скорости при данной силе (Cavagna and Citterio, 1974) [6].

Таким образом, механическая эффективность концентрического сокращения мышц после растягивания повышается за счет рекуперации части накопленной энергии упругой деформации в эластических структурах мышечного аппарата. Только 50 % выигрыша в положительной механической работе в концентрическом сокращении непосредственно после растягивания являются результатом рекуперации эластической энергии мышц и сухожилий (Cavagna et al, 1968) [6].

При этом проявление механизма потенциации контрактильных способностей мышцы наблюдается через 50–100 мс после начала растягивания (Armstrong et al, 1970) [6]. Эргометрические исследования *in vivo* показали, что в естественных локомоциях, в которых растягивание мышц предшествует активному сокращению, механическая эффективность движения намного превышает зарегистрированную на изолированных мышцах и при простой концентрической работе *in vivo* (Lloyd and Zacks, 1972) [5].

В эксцентрической фазе движений с предварительным растягиванием мышц наблюдается заметная потенциация электрической активности при сравнении с максимальным изометрическим или с простым концентрическим сокращением. Этот феномен обуславливает в конце эксцентрического сокращения высокую электромиографическую активность и соответственно высокую мгновенную эксцентрическую силу и, как следствие этого, резко повышенную жесткость мышц, которая обеспечивает высокую эффективность накопления и рекуперации энергии упругой деформации (Jouze et al, 1974) [6].

Количество энергии упругой деформации, накопленной в мышечных и сухожильных структурах мышц-сгибателей во время их предварительного растягивания, пропорционально количеству отрицательной работы, совершаемой в уступающей фазе движения, непосредственно перед максимальным сгибанием (Charman et al, 1985) [5]. Малые и средние величины отрицательной работы, совершаемой мышцами-сгибателями в уступающей фазе скоростно-силового цикла «растяжение-сокращение», являются достаточными для максимализации концентрического сокращения. В скоростно-силовых движениях с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации, наиболее эффективной является нервно-мышечная организация концентрического сокращения мышц-сгибателей, включающая период преактивации (по отношению к окончанию растягивания) длительностью около средней электромеханической задержки. При этом в эксцентрической фазе цикла «растяжение-сокращение» энергия упругой деформации накапливается только в активном компоненте мышечной упругости – поперечных актино-миозиновых мостиках, а концентрическое сокращение начинается, синхронизированно с началом первой функциональной реакции мышечного аппарата, на потенциацию стретч-рефлексом. Если паттерны управления активностью мышц-сгибателей способствуют их преактивации, превышающей по длительности среднюю электромеханическую задержку, то рефлекторно миоэлектрическая потенциа-

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-