

~~4510.25~~ 4510.0

Н 22

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

НАКОВ ЛЮДМИЛ КОНСТАНТИНОВ

УДК 612.816 + 612.73/.76

НАКОПЛЕНИЕ И РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ
В МЫШЕЧНЫХ И СУХОЖИЛЬНЫХ СТРУКТУРАХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ
СКОРОСТНО - СИЛОВЫХ УПРАЖНЕНИЙ.

(01. 02. 08 - Биомеханика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата педагогических наук

Москва 1990

4510.0
H 22

Работа выполнена в Государственном центральном ордена Ленина
институте физической культуры

Научный руководитель: доктор педагогических наук,
профессор Защирский В. М.

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
Козлов И. М.

кандидат биологических наук
Аруин А. С.

Ведущая организация: Центральный научно-исследовательский
институт спорта

2953/1

Защита состоится <<11>> 12 1990 г. в 12⁰⁰ часов на
заседании специализированного Совета Д 046.01.01 в Государственном
центральном ордена Ленина институте физической культуры
(105483, г. Москва, Сиреневый бульвар, 4)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного
центрального ордена Ленина института физической культуры

Автореферат разослан <<3>> 12 1990 г.

Ученый секретарь

специализированного Совета

кандидат педагогических наук

ИСТЕНА

Палманов Ан. А.

158035.00: 0 ГОС.

института физкультуры

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эластические свойства скелетных мышц и сухожилий играют важную роль в спортивной практике. Во многих спортивных действиях, особенно в таких, которые направлены на достижение высокой конечной скорости, быстрое растягивание мышц непосредственно предшествует активному приложению мышечной силы. Считается, что при выполнении таких скоростно-силовых упражнений важную роль для повышения эффекта мышечного сокращения играет целесообразное использование эластических свойств мышц и сухожилий. При описании процессов, происходящих в двигательном цикле "растяжение-сокращение" мышц, в биомеханике утвердился термин "накопление и рекуперация энергии упругой деформации". Он возник на основании классических представлений концептуальной трехкомпонентной модели мышц (Fenn and Marsh, 1935; Hill, 1938), в которой контрактильный компонент производит усилие против последовательного упругого компонента. При растягивании мышц считается, что последовательный упругий компонент аккумулирует энергию, которую можно рекуперировать в последующем сокращении.

Сегодня нет единого мнения по вопросу о природе и функциональном значении механизма повышения работоспособности нервно-мышечного аппарата после растягивания мышц *in vivo*. Изучение процессов накопления и рекуперации энергии упругой деформации в мышечных и сухожильных структурах при выполнении скоростно-силовых упражнений призвано способствовать выявлению принципиальных закономерностей механизма потенциации мышечного сокращения после растягивания интактных мышц.

Цель исследования: изучение проявления эластических свойств мышц и сухожилий при выполнении максимальных скоростно-силовых упражнений.

Задачи исследования :

1. Определить закономерности накопления и рекуперации энергии упругой деформации мышц и сухожилий сгибателей лучезапястного сустава и кисти в зависимости от условий их предварительного растягивания при выполнении максимальных скоростно-силовых упражнений.
2. Определить влияние рефлекторной миоэлектрической потенциации на работоспособность нервно-мышечного аппарата в скоростно-силовом цикле "растяжение-сокращение".
3. Выявить критерии рационального сочетания эффекта рефлекторной миоэлектрической потенциации вследствие предварительного растягивания мышц и сухожилий с целесообразным использованием их эластических свойств.

Научная новизна и практическая ценность. Экспериментальным путем установлено, что при выполнении скоростно-силовых движений, в фазе преодолевающей работы мышц возможно целесообразное сопряжение эффектов рефлекторной миоэлектрической потенциации и феномена накопления и рекуперации энергии упругой деформации в мышечных структурах. Моделируя финальное движение руки в метании, показано, что концентрическое сокращение мышц-сгибателей кисти, непосредственно следующего за растягиванием, выполняется наиболее эффективно, когда период их преактивации по отношению к окончанию предварительного растягивания составляет около 50 мс, т. е. длительности средней электромеханической задержки. При этом процессы накопления и рекуперации эластической энергии видимо ограничиваются только в "активном" компоненте мышечной упругости - поперечных актино-миозиновых мостиках, а концентрическое сокращение начинается синхронизированно с началом первой функциональной реакции мышечного аппарата на потенциацию стреч-рефлексом. При такой организации скоростно-силового цикла "разгибание-сгибание" в лучезапястном суставе наблюдается достижение максимальных ин-

дивидуальных величин положительной механической работы и мощности сгибания.

Сопряжение эффектов рефлекторной миоэлектрической потенции и эластического феномена возможно только в том случае, если кинематическая структура скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение" обуславливала бы участие функционального стреч-рефлекса (возникающего вследствие растягиваний мышц) в организации концентрического сокращения. Эти движения условно можно характеризовать как движения с использованием рефлекторной миоэлектрической потенции. К ним относятся спортивные упражнения, в которых в скоростно-силовом цикле "растяжение-сокращение" предварительное растягивание мышц выполняется с большой амплитудой и начинается при их относительной релаксации: замах и бросок в финальной фазе легкоатлетических метаний, замах и удар по мячу в спортивных играх, активные маховые движения при отталкивании в легкоатлетических прыжках и т. д. От эффективного исполнения данных движений в решающей степени зависит спортивный результат.

Практическая значимость исследования состоит в том, что на основании установленных характерных особенностей двигательной структуры и нервно-мышечной организации скоростно-силовых движений предлагаются рекомендации к усвоению эффективной стратегии использования скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение" мышц в спортивных действиях:

1. Установлено, что выполнение скоростно-силовых упражнений с максимальной интенсивностью предполагает управление мышц, участвующих в цикле "растяжение-сокращение" целесообразными предпрограммированными нервно-мышечными паттернами активности. Так как они формируются и закрепляются в комплексной программе управления при многократном воспроизведении кинематической и динамической структуры данного движения в режиме максимальной

интенсивности, предлагается их выполнение только на фоне высокого уровня физического восстановления и психической концентрации, т.е. только в соревновательных или в максимально близких к ним тренировочных условиях.

2. Показано, что эффективное интегрирование "кондиционирующих" растягиваний мышц в ритмической структуре скоростно-силового движения, способствует облегчению их рефлекторной потенциации и значительно увеличивает (в среднем с 10,1 до 27,4 % по данным о положительной механической работе, и с 20,4 до 43,5 % по данным о положительной мощности) их работоспособность в финальной фазе цикла. В этом смысле целенаправленное применение ритмических "кондиционирующих" растягиваний в двигательной структуре скоростно-силового упражнения является существенным элементом эффективной стратегии использования цикла "растяжение-сокращение" мышц.

3. Есть основания предполагать, что при выполнении скоростно-силовых упражнений с кинематической структурой, благоприятствующей использованию рефлекторной миелектрической потенциации, сохранение высокой интенсивности концентрического сокращения мышц в двигательном цикле "растяжение-сокращение" возможно и при относительно невысоком мышечном напряжении в предшествующей уступающей фазе цикла. Это позволит увеличить тренировочные объемы за счет уменьшения метаболических затрат на эксцентрическую мышечную работу.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Национальном конкурсе "Научные исследования в области физической культуры и спорта" (София, 1986).

Публикации. По теме диссертации опубликована 1 научная работа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из вве-

дения, четырех глав, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации 227 стр., в том числе 39 рисунков, 18 таблиц. Библиографический список содержит 321 наименование.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обобщаются литературные данные о физиологии и биомеханике процессов накопления и рекуперации энергии упругой деформации в мышечных и сухожильных структурах.

В экспериментах на изолированных препаратах, после растягивания тетанически возбужденной мышцы с умеренной скоростью, намеренная положительная механическая работа в фазе последующего концентрического сокращения увеличивается (в сравнении с положительной механической работой, выполняемой при сокращении мышц без предварительного растягивания) примерно от 2 раз при растягивании на 7-10 % (Cavagna et. al., 1968; 1981) до 3,5 раз при растягивании на 25 % исходной длины (Cavagna et. al., 1965). При этом, как правило, мышца сокращается при определенной скорости (при этом регистрируется развиваемая сила), либо против определенного груза (чаще всего величина груза равняется максимальной изометрической силе мышцы для данной длины) - в этом случае регистрируется скорость сокращения. После растягивания она увеличивается скоростью укорочения упругих компонентов (Cavagna and Citterio, 1974; Cavagna et. al., 1986). Происходит как бы смещение гиперболической зависимости "сила-скорость" в сторону большей силы при данной скорости, или большей скорости при данной силе (Cavagna and Citterio, 1974; Edman et. al., 1978 и др.).

Считается, что в таких экспериментальных условиях механическая эффективность концентрического сокращения мышц после растя-

гивания повышается за счет рекуперации части накопленной энергии упругой деформации в эластических структурах мышечного аппарата (Cavagna et. al., 1965; Bergel et. al., 1972 и др.).

По некоторым данным (Cavagna et. al., 1968) только 50 % энергии, затраченной в положительной механической работе в концентрическом сокращении непосредственно после растягивания является результатом рекуперации эластической энергии мышц и сухожилий. В экспериментах на изолированных мышцах, проведенных при сравнительно высоких температурах (15-23°C) и со значительными скоростями предварительного растягивания (10-30 L₀/с) зарегистрировано заметное увеличение силы мышц в фазе концентрического сокращения вследствие активации сократительных способностей контрактного компонента. При этом проявление механизма потенциации сократительных способностей мышцы наблюдается через 50-100 мс после начала растягивания (Armstrong et. al., 1966; Ruegg et. al., 1970; Sugi, 1972). Установлено, что длительность интервала запаздывания не зависит от внешних факторов - температуры и концентрации Ca⁺⁺ в среде, а величина силы, развиваемой с опозданием после конца растягивания, значительно увеличивается с повышением температуры (Ruegg et. al., 1970) и с увеличением амплитуды растягивания (Sugi, 1972). Предполагается, что между двумя параллельно протекающими после растягивания мышцами процессами - рекуперацией эластических структур и потенциацией контрактного компонента существует непосредственная взаимосвязь (Cavagna et. al., 1986). Повышенная сократительная активность после завершения растягивания обусловлена, по мнению этих исследователей, активным "заряжением" контрактного компонента мышц за счет энергии деформации упругих структур. При этом предполагается существование механизма накопления и рекуперации механической энергии внутри самого контрактного компонента мышцы (помимо эластических структур).

Эргометрические исследования *in vivo* показали, что в естественных локомоциях (бег, прыжки), в которых растягивание мышц предшествует активному сокращению, механическая эффективность движения намного превышает зарегистрированную на изолированных мышцах и при простой концентрической работе *in vivo*. Измеренные значения намного выше, чем можно ожидать на основе биохимических и термодинамических расчетов (Lloyd and Zacks, 1972; Whipp and Wasserman, 1968). В исследованиях движений человека наиболее яркое проявление повышения работоспособности в скоростно-силовом цикле "растяжение-сокращение" мышц было получено при сравнении прыжков вверх с предшествующим приседанием и без него. Показано, что способность использования энергии упругой деформации в прыжках с приседанием зависит от механических параметров предварительного растягивания мышц (Bosco et al., 1987), от мышечной композиции (Bosco et al., 1982; 1986), от пола (Komi and Bosco, 1978) и спортивной специализации (Bosco and Komi, 1982).

С другой стороны, в эксцентрической фазе движений с предварительным растягиванием мышц наблюдается заметная потенциация электрической активности мышц при сравнении с максимальным изометрическим сокращением (Schmidtbleicher et al., 1978) или с простым концентрическим сокращением (Bosco and Viitasalo, 1981). Этот феномен обуславливает в конце эксцентрического сокращения высокую ЭМГ - активность и соответственно высокую мгновенную эксцентрическую силу и, вследствие этого, резко повышенную жесткость мышц (Matthews P. B. C., 1959; Houk et al., 1970; Nichols and Houk, 1973; Jouse et al., 1974), которая обуславливает высокую эффективность накопления и рекуперации энергии упругой деформации. Высказываются предположения, что нервно-мышечный паттерн команд с ЦНС для двух типов прыжков отличается (Gottlieb et al., 1970; Hallet et al., 1975). По мнению Kornhuber (1971),

эти два типа движений контролируются двумя различными отделами мозга.

В ряде работ (Chapman et. al. , 1985; Thompson and Chapman, 1988; Bosco et. al. , 1987) представлены доказательства того, что растягивание мышц *in vivo* временно модифицирует внутренние контрактильные способности мышечного аппарата, "потенцируя" в течение определенного времени после окончания растягивания генерацию повышенной мышечной силы. При этом предполагается, что данный механизм принципиально отличается от наблюдаемого на изолированных мышцах, но определение относительного вклада рефлекторной потенциации и эластического феномена является затруднительным.

Во второй главе рассматриваются задачи, методы и организация исследования. Для решения поставленных задач были использованы следующие методы :

1. Критический анализ и обобщение теоретических исследований и экспериментальных данных.
2. Антропометрия.
3. Инерционная динамография.
4. Электромиография.
5. Компьютерная регистрация и обработка четырехканального высокочастотного цифрового сигнала, несущего информацию о механических параметрах экспериментального движения и электрической активности мышц.
6. Методы математической статистики.

В целях настоящего исследования была использована тренажерная установка, которая позволяет изучать скоростно-силовые характеристики движений кисти, выполняемых в разных режимах, в частности в режиме "внезапного освобождения" ("quick release"). Экспериментальные движения, выполняемые на установке, основаны на принципе противопоставления движущей силе мышц инерции вра-

щаемых масс. Тренажерная установка построена таким образом, что имитирует финальное положение руки в метании. В её конструкции предусмотрены возможности предварительного растягивания мышц и сухожилий сгибателей лучезапястного сустава и кисти при непрерывном контроле за скоростью и амплитудой движения. Во время взаимодействия руки с инерционной частью динамографа регистрировалась сила, прикладываемая к ускоряемой массе, и угловая скорость колеса инерции.

Поверхностное биполярное отведение биопотенциалов с *m. flexor digitorum superficialis* из группы мышц-сгибателей и *m. extensor carpi ulnaris* из группы мышц-разгибателей кисти, производилось одноразовыми самоклеящимися электродами фирмы "Disa" площадью 25 мм² по стандартизированной методике Zipp (1982). Использовался четырехканальный миограф типа М 440 фирмы "Медикор" (Венгрия).

Программа на языке "Паскаль", созданная в целях настоящего исследования, обеспечивала регистрацию и математическую обработку цифрового сигнала, поступающего в ЭЕМ "Robotron CM 1910" по 4 каналам аналого-цифрового преобразователя :

- 1 канал - ЭМГ с *m. extensor carpi ulnaris*.
- 2 канал - ЭМГ с *m. flexor digitorum superficialis*.
- 3 канал - тензограмма с датчика измерения сил.
- 4 канал - спидограмма с датчика измерения скорости вращения инерционного колеса.

На экспериментальной установке выполнялись скоростно-силовые движения в условиях предварительного растягивания мышц-сгибателей кисти. Основной экспериментальный цикл состоял из двух фаз - двух противоположно направленных движений :

- 1) движение, приводящее к растягиванию (эксцентрическое сокращение) мышц-сгибателей кисти (аналогом такого движения в спортивных метаниях является замах);

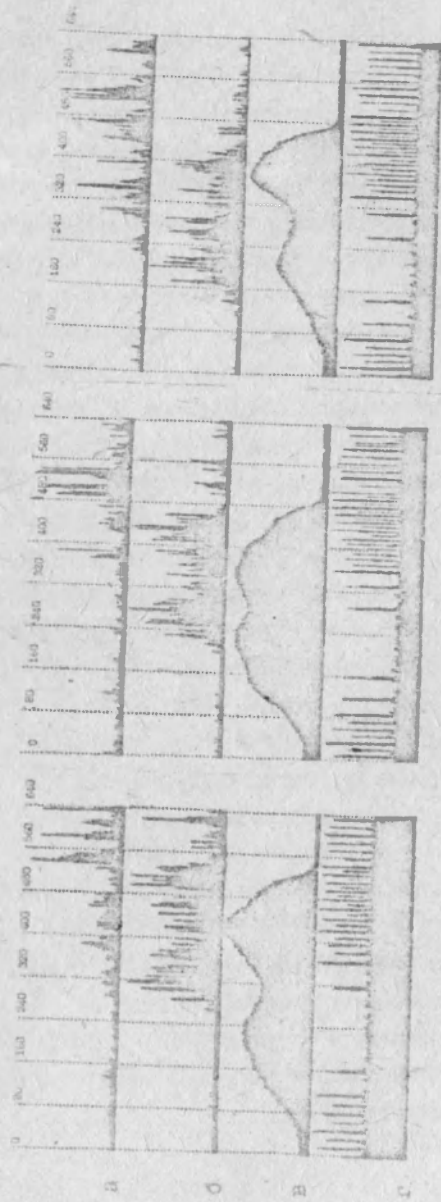


Рис. I Экспериментальная запись динамического цикла "разгибание-сгибание" кисти
испытания 2 испытуемого И.Т. /I/, испытания 4 испытуемого М.К. /II/,
испытания 4 испытуемого А.С. /III/
а/ - инвертированная ЭМГ с *m. extensor carpi ulnaris*
б/ - инвертированная ЭМГ с *m. flexor digitorum superficialis*
в/ - тензограмма
г/ - спидограмма

2) основное движение, при котором происходит укорочение (концентрическое сокращение) предварительно растянутых мышц.

В этих двух фазах мышцы-сгибатели кисти совершают соответственно отрицательную (во время растягивания) и положительную (во время укорочения) механическую работу.

Первая фаза основного экспериментального цикла - растягивание мышц-сгибателей кисти из исходного полуразогнутого положения кисти, выполнялась под воздействием внешней по отношению к изучаемому звену силы - вращающим моментом колеса инерции в направлении тыльного разгибания кисти. Это так называемая "уступающая" фаза скоростно-силового цикла. Непосредственно по ее завершении, по мере преодоления кинетической энергии колеса, следовало активное сокращение мышц-сгибателей кисти - так называемая "преодолевающая" фаза движения. В результате колесо инерции начинало вращение в направлении сгибания кисти.

Эксперимент проводился в проблемной лаборатории группы биомеханики ГЦОЛИФК весной 1989 года. В эксперименте приняли участие пять спортсменов высокой квалификации различной спортивной специализации - гимнастика, борьба, баскетбол, волейбол, гандбол.

Виды испытаний и порядок их выполнения были следующие :

1. Максимальное изометрическое сгибание кисти в положении тыльного разгибания в лучезапястном суставе на 90° с последующим "внезапным освобождением".

2. Максимальное сгибание кисти после предварительного растягивания мышц и сухожилий сгибателей кисти.

3. Максимальное сгибание кисти после второго последовательного ритмического предварительного растягивания мышц и сухожилий сгибателей кисти.

4. Максимальное сгибание кисти после третьего последовательного ритмического предварительного растягивания мышц и сухожилий

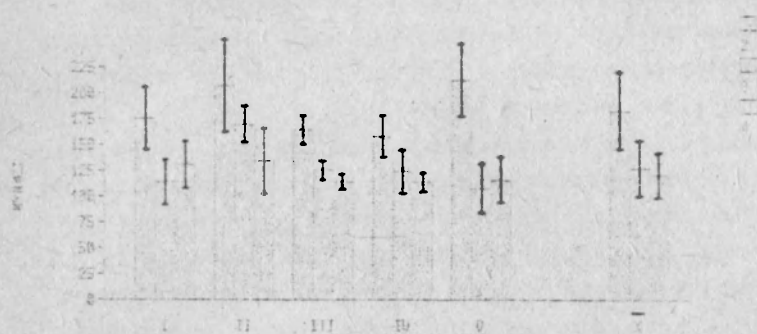


Рис. 2 Средняя длительность латентного периода инициации мышечной активности в условиях предварительного растягивания мышц-сгибателей кисти в различных испытаниях (2, 3, 4) у разных испытуемых (I - V)

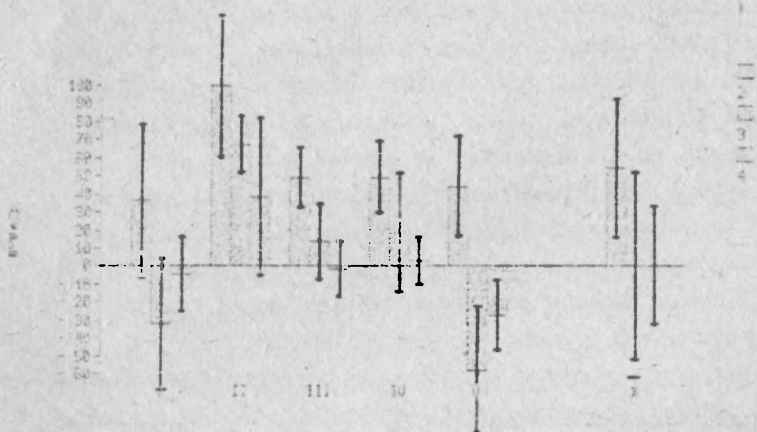


Рис. 3 Средняя длительность периода преактивации (0 - -60 мс) и интервала опаздывания инициации мышечной активности (0 - 100 мс) сгибателей кисти в различных испытаниях (2, 3, 4) у разных испытуемых (I - V)

сгибателей кисти.

Трое из испытуемых выполнили 5, а двое - 6 серий всех четырех испытаний. Общее количество испытаний для всех участвовавших в эксперименте составило 108.

На рис. 1 представлены экспериментальные записи финальных фаз разных испытаний для троих из испытуемых.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В третьей главе представлены экспериментальные данные.

С применением предварительных ритмических растягиваний перед максимальным сгибанием кисти (испытания 3 и 4), длительность латентного периода инициации мышечной активности в условиях предварительного растягивания мышц-сгибателей кисти достоверно уменьшалась для всех испытуемых (рис. 2). По усредненным данным она составила $182,48 \pm 37,79$ мс для испытания 2, $126,30 \pm 23,22$ мс для испытания 3, и $120,33 \pm 21,46$ мс для испытания 4. Высокая степень приближения экспериментальных данных к результатам, полученным в ряде других исследований, а также наблюдаемые небольшие различия между испытуемыми, свидетельствуют о том, что данные нейрофизиологические параметры мышечной деятельности (латентный период произвольного мышечного сокращения - в испытании 2, и латентный период функционального стреч-рефлекса - в испытаниях 3 и 4) характеризовались значительной стабильностью проявления в данных экспериментальных условиях. В условиях эксперимента, с применением предварительных ритмических растягиваний перед максимальным сгибанием кисти (испытания 3 и 4), у всех испытуемых наблюдалась тенденция к использованию механизма преактивации мышц-сгибателей кисти в организации скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение" (рис. 3).

Сравнения величины положительной механической работы, совершаемой при максимальном сгибании кисти в различных испытаниях,

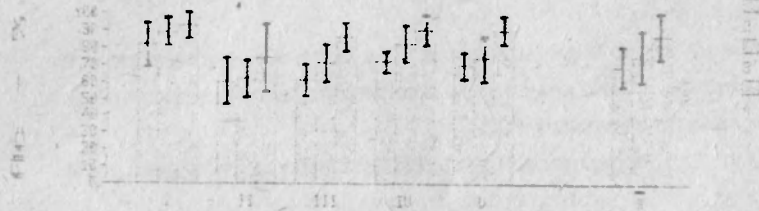


Рис. 4 Величина положительной механической работы (A_c в %), совершаемой при максимальном сгибании кисти в цикле "растяжение-сокращение" в различных испытаниях (2, 3, 4); испытуемые : I, II, III, IV, V

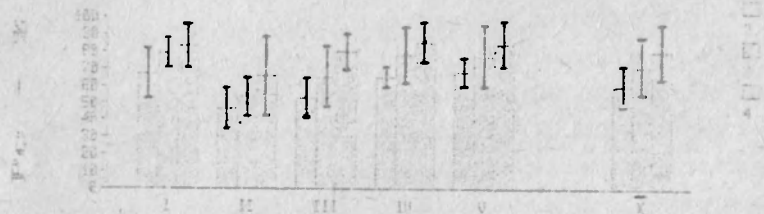


Рис. 5 Величина положительной мощности (P_c в %) при максимальном сгибании кисти в цикле "растяжение-сокращение" в различных испытаниях (2, 3, 4); испытуемые : I, II, III, IV, V



Рис. 6 Прирост (+) положительной механической работы (A_c) и мощности (P_c) в испытаниях 3 и 4 по отношению к испытанию 2 (2 - 100 %)

свидетельствуют в пользу использования предварительных ритмических растягиваний для повышения работоспособности мышц-сгибателей кисти в движениях, выполняемых против инерционной нагрузки (рис. 4). Прирост в положительной механической работе для испытаний, включающих ритмические растягивания мышц перед максимальным сгибанием кисти, в сравнении с испытанием 2, в среднем равнялось соответственно 10,1 % для испытания 3 и 27,4 % для испытания 4 (рис. 6). Результаты эксперимента свидетельствуют также о достоверном увеличении мощности максимального сгибания кисти в экспериментальных испытаниях, включающих ритмические предварительные растягивания мышц-сгибателей кисти (испытания 3 и 4), в сравнении с мощностью движения в испытании 2 (рис. 5). По отношению к испытанию 2 повышение положительной мощности составило соответственно 20,4 % для испытания 3, и 43,5 % для испытания 4 (рис. 6).

Количество энергии упругой деформации, накопленной в мышечных и сухожильных структурах сгибателей кисти во время их предварительного растягивания пропорционально количеству отрицательной работы, совершаемой в уступающей фазе движения, непосредственно перед максимальным сгибанием кисти (Chapman et. al., 1985). Анализ экспериментальных данных показал, что малые и средние величины отрицательной работы, совершаемой мышцами-сгибателями кисти в уступающей фазе скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение", являлись достаточными для максимализации концентрического сокращения. Данная тенденция наблюдалась у всех испытуемых (см. рис. 7, испытуемый А.С.).

В работе исследовалась мышечная работоспособность сгибателей кисти после их предварительного растягивания (критериями служили положительная механическая работа и мощность при максимальном сгибании кисти) в зависимости от длительности периода их предак-

тивации и интервала опаздывания инициации их мышечной активности по отношению к окончанию растягивания. У всех испытуемых наблюдалась тенденция к повышению положительной механической работы и мощности сгибания в цикле "растяжение-сокращение" при длительности периода преактивации мышц-сгибателей кисти до 50 мс (см. рис. 8, испытуемый А. С.).

На основании анализа различных экспериментальных условий для накопления энергии упругой деформации в мышцах и сухожилиях в скоростно-силовом цикле "растяжение-сокращение" были определены три уровня фактора "преактивация мышц-сгибателей кисти", соответствующие трем принципиально отличающимся функциональным сочетаниям кинематической структуры предварительного растягивания с нервно-мышечным паттерном управления активностью сгибателей кисти. Для количественной оценки влияния фактора на вариацию результирующего признака (положительная механическая работа и мощность при максимальном сгибании кисти) использовался одно- и двухфакторный дисперсионный анализ. В выборочном комплексе настоящего исследования обнаружено достоверное влияние фактора "преактивация мышц-сгибателей кисти" на результат каждого испытуемого в экспериментальных заданиях. Установлено, что в двухфакторном комплексе это влияние мало зависит от действия фактора "индивидуальность".

В главе 4 на основе данных об изменении работоспособности мышц при максимальном сгибании кисти в различных экспериментальных испытаниях обсуждается функциональное значение сочетания процессов накопления и рекуперации энергии упругой деформации в мышечных и сухожильных структурах с рефлекторной потенциацией вследствие растягиваний мышц. При этом подчеркивается, что сопряжение эффектов рефлекторной миозлектрической потенциации и эластического феномена возможно только в том случае, если

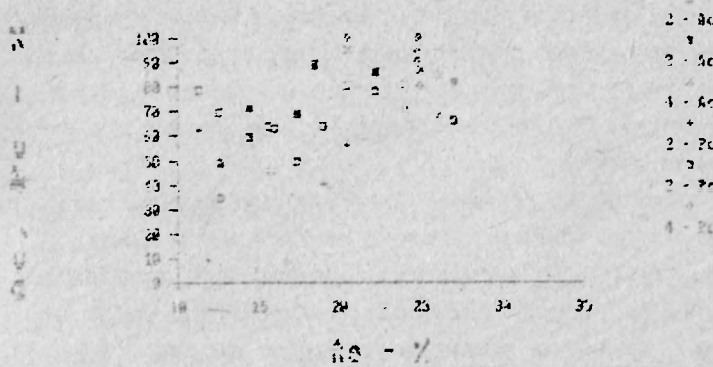


Рис. 7 Изменение положительной механической работы (A_s в %) и мощности (P_s в %) при максимальном сгибании кисти, в зависимости от величины отрицательной работы (A_e в % к A_s -max), совершаемой в фазе предварительного растягивания (испытуемый А. С., испытания 2, 3 и 4)

2953/1

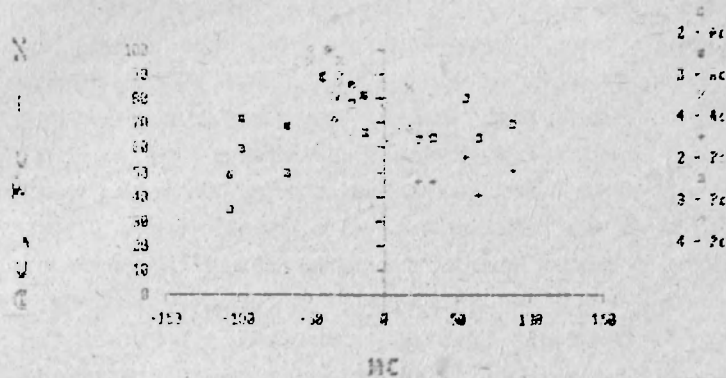


Рис. 8 Изменение положительной механической работы (A_s в %) и мощности (P_s в %) при максимальном сгибании кисти, в зависимости от длительности периода преактивации (0 - -150 мс) и интервала опаздывания (0 - 150 мс) инициации мышечной активности сгибателей кисти по отношению к окончанию финального растягивания (испытуемый А. С., испытания 2, 3 и 4)

ИСТЕНА
ИВАНОВОГО ГОС.
ИНСТИТУТА Физкультуры

кинематическая структура скоростно-силового двигательного цикла "растяжение-сокращение" обуславливала бы участие функционального стреч-рефлекса (возникающего вследствие растягивания) в организации концентрического сокращения мышц, непосредственно следующего за растягиванием.

Экспериментальные результаты показали, что длительность латентного периода инициации мышечной активности в *m. flexor digitorum superficialis* в условиях предварительного растягивания в испытании 2 соответствует длительности латентного периода для произвольного мышечного сокращения сгибателей кисти (выполняемого с установкой на максимально быстрое сгибание в ответ на растягивающее возмущение). По усредненным данным (для всех испытуемых) этот латентный период составил $182,48 \pm 37,79$ мс, и при этом по своей продолжительности достоверно отличался от латентного периода инициации мышечной активности в условиях предварительного растягивания в испытаниях 3 и 4, который, по-видимому, соответствовал латентному периоду функционального стреч-рефлекса для *m. flexor digitorum superficialis* - $126,30 \pm 28,22$ мс (испытание 3) и $120,32 \pm 21,46$ мс (испытание 4). Этим доказано использование принципиально отличающихся механизмов организации максимального мышечного сокращения после предварительного растягивания в испытании 2, с одной, и в испытаниях 3 и 4, с другой стороны. С точки зрения теории регуляции движений "кондиционирующие" растягивания (в испытаниях 3 и 4) можно рассматривать как пусковой механизм комплексной "центральной" программы, включающей, в частности (в финальном двигательном цикле "растяжение-сокращение"), управление сгибателей кисти по принципу альфа-гамма-сопряжения. Как известно, в этом случае мышцы отвечают интенсивным разрядом своих веретен, что вызывает рекрутирование новых популяций альфа-мотонейронов из подпороговой каймы и, таким образом, облегчает возбуждение

рефлекторной активности.

Значительное повышение мышечной работоспособности в испытаниях 3 и 4 (по данным о положительной механической работе и мощности) свидетельствует об очевидных преимуществах механизма использования функционального стреч-рефлекса в организации концентрического сокращения мышц в цикле "растяжение-сокращение" (рис. 4 и 5).

Результаты эксперимента недвусмысленно показали, что в скоростно-силовых движениях с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации (испытания 3 и 4), наиболее эффективной является нервно-мышечная организация концентрического сокращения мышц-сгибателей кисти, включающая период преактивации (по отношению к окончанию растягивания) длительностью около средней электромеханической задержки (рис. 8). К тому же, есть основания предполагать (использование "гамма-преднастройки" мышечных рецепторов для облегчения возбуждения стреч-рефлекса), что значительное повышение мышечной работоспособности в фазе преодолевающей работы цикла "растяжение-сокращение" в данных скоростно-силовых движениях связано с использованием строго предпрограммированного нервно-мышечного паттерна управления мышечной активностью.

Если паттерн управления активностью сгибателей кисти способствует их преактивации, превышающей по длительности среднюю электромеханическую задержку, рефлекторная миоэлектрическая потенция используется преимущественно для мобилизации всех ресурсов эластического феномена ("пассивного" и "активного" компонентов мышечной упругости). Когда паттерн управления способствует преактивации длительностью около средней электромеханической задержки, процессы накопления и рекуперации эластической энергии, видимо, ограничиваются только в "активном" компоненте мышечной упругости - поперечных актино-миозиновых мостиках, но зато

обеспечивается полноценное участие функционального стреч-рефлекса в организации концентрического сокращения мышц-сгибателей кисти.

Экспериментальный факт достижения максимальной индивидуальной величин положительной механической работы и мощности сгибания в случаях, когда период преактивации (по отношению к окончанию предварительного растягивания) мышц-сгибателей кисти составляет около 50 мс, т. е. длительности средней электромеханической задержки, дает серьезные основания предполагать, что в экспериментальном двигательном скоростно-силовом цикле "растяжение-сокращение" сгибателей кисти наивысшая эффективность концентрического сокращения обеспечивается при целесообразном сопряжении функционального стреч-рефлекса с накоплением эластической энергии в "активном" компоненте мышечной упругости - поперечных актомиозиновых мостиках.

Анализ зависимости между количеством накопленной в уступающей фазе скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение" в мышечных и сухожильных структурах сгибателей кисти энергии упругой деформации и мышечной работоспособностью в концентрической фазе цикла подтверждает, что накопление абсолютных максимальных количеств эластической энергии не гарантирует максимальной работоспособности при концентрическом сокращении мышц в экспериментальном цикле "растяжение-сокращение". С другой стороны, для возбуждения стреч-рефлекса при управлении мышцами по принципу альфа-гамма-сопряжения вполне достаточны малые и средние величины мышечного напряжения в эксцентрической фазе движения (малые и средние величины отрицательной работы, совершаемой мышцами-сгибателями кисти в уступающей фазе скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение" являлись достаточными для максимизации концентрического сокращения).

ВЫВОДЫ

1. В скоростно-силовых движениях с использованием рефлекторной миоэлектрической потенции центрального управления мышц, участвующих в двигательном цикле "растяжение-сокращение", осуществляется по принципу альфа-гамма-сопряжения. Это позволяет полностью реализовать потенциальные возможности, присущие этой организации, сочетающей прямое и не прямое возбуждение в целях управления двигательными актами.

2. Важным компонентом ритмической структуры скоростно-силовых движений с использованием рефлекторной миоэлектрической потенции, являются подготовительные "кондиционирующие" растягивания мышц, участвующих в двигательном цикле "растяжение-сокращение". Применение "кондиционирующих" ритмических растягиваний способствует облегчению проявления рефлекторной миоэлектрической потенции в данных мышцах в финальной фазе цикла, что повышает эффективность движения.

3. "Центральное" управление максимальных скоростно-силовых движений с использованием рефлекторной миоэлектрической потенции, осуществляется при реципрокных координационных взаимоотношениях между моторными центрами мышц-антагонистов, участвующих в двигательном цикле "растяжение-сокращение".

4. Максимальная концентрическая мышечная работоспособность в скоростно-силовых движениях с использованием рефлекторной миоэлектрической потенции, достигается при управлении участвующих в двигательном цикле "растяжение-сокращение" мышц предпрограммированным нервно-мышечным паттерном активности, включающим их преактивацию (по отношению к окончанию растягивания), длительностью около средней электромеханической задержки. При этом в уступающей 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 стреч-рефлексом.

5. Максимальная концентрическая мышечная работоспособность в скоростно-силовых движениях с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации, зависит не от абсолютных максимальных величин накопленной в уступающей фазе цикла "растяжение-сокращение" энергии упругой деформации, а от целесообразного сопряжения миоэлектрической потенциации стреч-рефлексом с накоплением и рекуперацией эластической энергии в "активном" компоненте мышечной упругости - поперечных актино-миозиновых мостиках.

6. При выполнении скоростно-силовых движений с использованием рефлекторной миоэлектрической потенциации существуют потенциальные возможности минимизировать общие энергетические затраты на совершение мышцами положительной механической работы в цикле "растяжение-сокращение". Это возможно за счет снижения метаболических расходов на эксцентрическую мышечную работу, так как малые и средние величины отрицательной мышечной работы, совершаемой в уступающей фазе скоростно-силового цикла "растяжение-сокращение", являются достаточными для максимизации концентрического сокращения.

ПУБЛИКАЦИЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Наков Л. К. Эффективност на спортните движения в зависимост от времето за акумулиране енергията на еластична деформация в мускули и сухожилия // Въпроси на физическата култура. - 1986. - Бр. 7. - С. 7-13.