
БИОМЕХАНИКА

© 2005 А.М. Доронин

УДК 796.012

ББК 75.0

Физические упражнения как результат активности мышц в качестве двигателя и анализатора

Аннотация:

В статье особенности моторной и сенсорной активности мышц рассмотрены как универсальный критерий классификации спортивных движений, эффективности спортивной техники и использования технических средств в тренировке.

Ключевые слова:

Относительная длина мышцы, скорость изменения длины мышцы, фазовые траектории, величина афферентного притока.

Физические упражнения представляют собой сложную и многогранную систему, интегрирующую функции частей с различными и разнообразными свойствами. Основными из них являются функции двигательного аппарата в качестве анализатора (органа чувств) и двигателя и рекуператора энергии. Предметную область теории и методики физического воспитания и спортивной тренировки чаще всего составляют средства и способы развития двигательных качеств и формирования двигательных навыков. При этом, как правило, исследователи ограничиваются оценкой только моторного компонента организации двигательной деятельности спортсменов, ее кинематики и динамики. Гораздо меньше работ посвящено исследованию двигательного аппарата в качестве анализатора и преобразователя энергии. Однако и в этих работах изучалась преимущественно какая-либо одна сторона организации и формирования двигательной деятельности человека [8, 15, 16, 17 и др.]. Изучение какой-либо одной стороны сложного явления позволяет упростить исследовательские задачи, сделать их доступными для решения. Такая ситуация характерна, с точки зрения методологии науки, для начального этапа изучения явления. Создание целостной теории объекта и её дальнейшее развитие возможно только при системном его рассмотрении [5, 25].

Взаимодействие двигательного аппарата с опорой – непрерывный объект изучения биомеханики движений человека. Это обусловлено многими причинами. Главной из них является то, что механизм приспособления человека к условиям гравитации является основным содержанием организации движений. В результате многолетних исследований локомоций человека [1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 17, 18, 24] получен огромный фактический материал, характеризующий кинематику и динамику ходьбы, бега, прыжков и других видов движений. Результаты этих исследований нашли широкое применение в различных областях науки и практики: в биологии, медицине, робототехнике, в теории и методике физического воспитания и спортивной тренировки.

В то же время, недостаток информации о закономерностях мышечной активности в движениях человека тормозит разработку весьма важных проблем спортивной науки, в частности: обоснование классификации физических упражнений по универсальному критерию – величине и скорости сокращения мышц; определение эффективности спортивной техники, координационных способностей; использование технических средств тренировки и др. Сказанное определило **проблему** исследования.

В связи с этим **целью** исследования являлась комплексная оценка активности мышц нижних конечностей в качестве движителя, рекуператора и анализатора при выполнении прыжка вверх толчком двух ног в различных режимах внешнего сопротивления.

Методика. Изучались следующие показатели активности мышц: относительная длина мышцы, скорость изменения длины мышцы, величина афферентного притока от рецепторов.

Оценка динамики указанных параметров осуществлялась путём составления их «фазовых траекторий» [11], использовалась комплексная методика А.В. Самсоновой [21].

В качестве объекта исследования выбран прыжок вверх толчком двумя в различных условиях: без отягощения, с дополнительным отягощением, с использованием тренажерного устройства, позволяющего регулировать отягощение (ТРО) [6].

Выбор этих упражнений был обусловлен следующими обстоятельствами:

Первое – эти движения хорошо изучены с использованием традиционных способов регистрации, позволяющих оценивать кинематику и динамику движений посредством светолучевых и тензометрических носителей [4]. В связи с этим определен интерес представляет ответ на вопрос, что может внести методика оценки моторных и сенсорных компонентов биомеханической структуры [20] для изучения сенсомоторной организации двигательных действий?

Второе – это высокоавтоматизированные движения, изучение которых позволяет проследить системные механизмы управления двигательной активностью.

Для анализа были выбраны три антигравитационные мышцы, противодействующие силе тяжести при взаимодействии с опорой: большая ягодичная (*m.gluteus maximus*), широкая латеральная (*m.vastus lateralis*) и камбаловидная (*m.soleus*). Большая ягодичная мышца осуществляет разгибание в тазобедренном суставе, широкая латеральная – в коленном, а камбаловидная – в голеностопном суставе.

Все анализируемые мышцы – односуставные, то есть осуществляющие движение в одном суставе. Такой показатель, как физиологический поперечник, имеет максимальные значения у большой ягодичной мышцы. Промежуточное положение занимает широкая латеральная мышца. Минимальный физиологический поперечник – у камбаловидной мышцы [26]. Однако, внешняя нагрузка, падающая на эти мышечные группы при выполнении прыжка, имеет противоположный характер: она максимальна для мышц голеностопного сустава и

минимальна для мышц тазобедренного сустава. Особенностью исследуемых мышц является характер изменения плеча силы при выполнении движения. Благодаря наличию надколенной чашки, плечо силы широкой латеральной мышцы (*m.vastus lateralis*) остается постоянным на протяжении всего двигательного действия, в то время как плечи сил большой ягодичной и камбаловидной имеют переменные значения.

Результаты и обсуждение. В более ранних исследованиях прыжков вверх было высказано предположение, что прыжки вверх на тренажерном устройстве с возрастающим отягощением при подседе по сравнению с другими видами прыжков вызывают значительное растяжение мышц, выполняющих основную работу в фазе отталкивания [13]. Использование методики расчета морфометрических характеристик мышц позволило проверить эту гипотезу.

В таблице 1 представлены данные о максимальных значениях относительной длины (L/L_0), которую достигают исследуемые мышцы в фазе отталкивания в различных видах прыжков.

Таблица 1

Максимальные значения L/L_0 мышц нижних конечностей при выполнении отталкивания в различных прыжках

Наименование упражнения	Наименование мышцы		
	<i>GL</i>	<i>VL</i>	<i>SO</i>
	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$
Прыжок вверх без отягощения	0,991 ± 0,002	1,031 ± 0,006	1,117 ± 0,001
Прыжок вверх с постоянным 50 %-ным отягощением (штанга)	0,971 ± 0,002	1,018 ± 0,004	1,118 ± 0,001
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением	0,980 ± 0,003	1,043 ± 0,004	1,123 ± 0,001
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным убывающим отягощением	0,969 ± 0,001	1,023 ± 0,001	1,121 ± 0,001

Полученные результаты свидетельствуют о том, что наибольшее растяжение большой ягодичной мышцы (*GL*) наблюдается при прыжке вверх без отягощения ($L/L_0 = 0,991$); при прыжке вверх на ТРО с возрастающе-убывающим отягощением более эффективны по сравнению с другими видами прыжков с использованием ТРО, например, при прыжке с возрастающе-убывающим отягощением удлинение этой мышцы ($L/L_0 = 0,980$) превышает аналогичную характеристику при прыжках с постоянным 50%-ным отягощением ($L/L_0 = 0,971$) и на ТРО с убывающе-возрастающим отягощением ($L/L_0 = 0,969$).

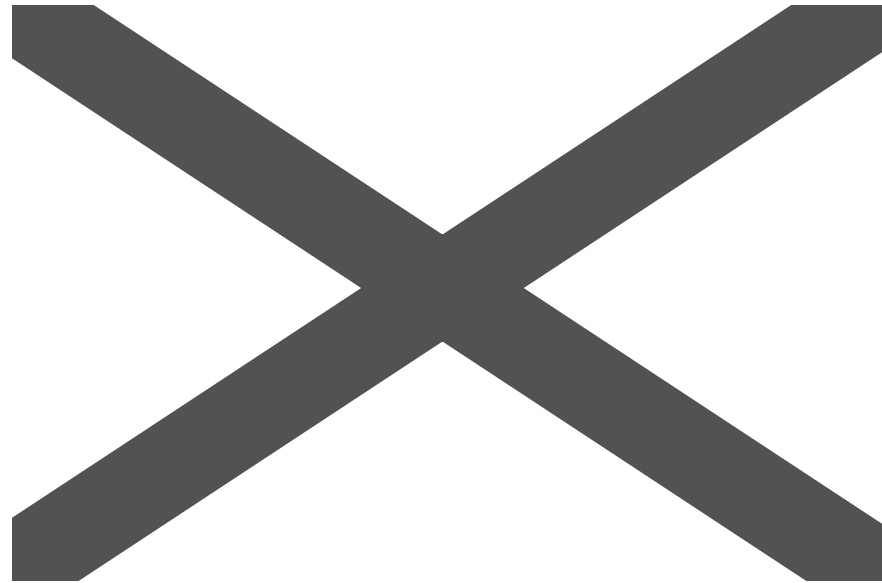
Наибольшее растяжение широкой латеральной мышцы (*VL*) наблюдается в прыжках вверх на ТРО с возрастающе-убывающим отягощением ($L/L_0 = 1,043$). Эта же закономерность сохраняется и в функционировании камбаловидной мышцы: наибольшее растяжение она достигает при выполнении прыжка вверх на ТРО с возрастающим отягощением при подседе ($L/L_0 = 1,123$).

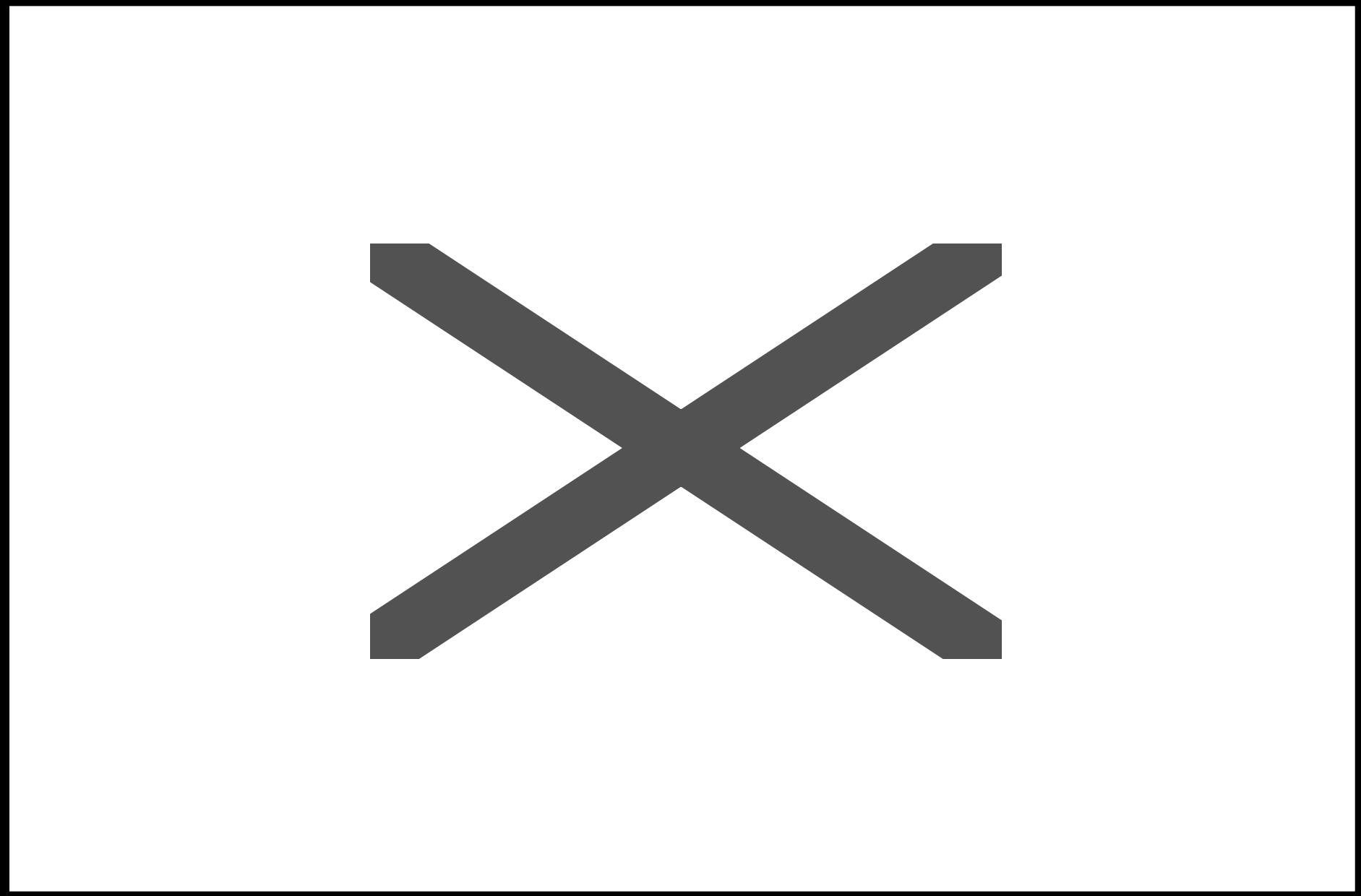
Таким образом, полученные данные подтверждают гипотезу о том, мер, способствуют большему растяжению

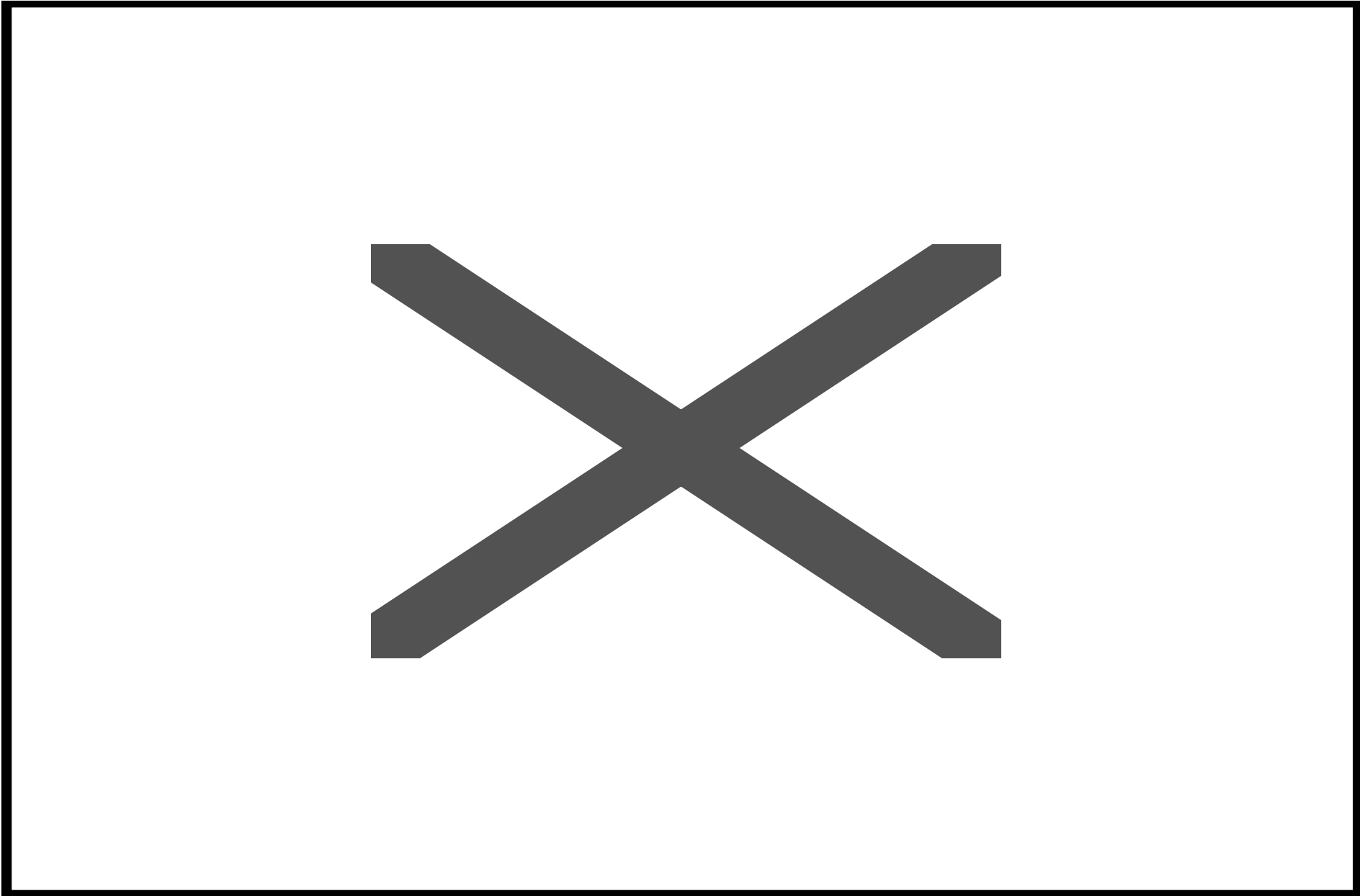
мышц, и как следствие – большему усилию, которое способна развить мышца.

Особенность мышечного аппарата при выполнении различных движений в суставах находят свое отражение в показателях максимальных значений относительной длины (L/L_0), которую достигают различные мышцы в прыжках (рис. 1 – 3). Так, для большой ягодичной мышцы (*GL*) максимальные значения относительной длины находятся в пределах от 0,969 до 0,991 L/L_0 ; для широкой латеральной мышцы (*VL*) этот показатель заключен в пределах от 1,018 до 1,043 L/L_0 ; для камбаловидной мышцы (*SO*) – от 1,117 до 1,123 L/L_0 . Как известно, для мышц характерна следующая закономерность: чем больше она растянута, тем большее усилие она способна развить [23].

Использование такого показателя, как относительная длина мышцы, позволяет сравнивать различные мышцы. Полученные данные (рис. 1 – 3) свидетельствуют о том, что мышцы голеностопного сустава растягиваются в большей степени, чем мышцы коленного и тазобедренного суставов.







Результирующее действие мышцы во многом зависит от такой интегральной характеристики, как импульс силы:

$$P = F \times \Delta t,$$

где: P – импульс силы, F – сила, развиваемая мышцей, Δt – время действия силы.

Основная составляющая импульса силы при работе мышцы в фазе отталкивания возникает при ее работе в эксцентрическом режиме. Косвенно о величине импульса силы можно судить по времени функционирования мышцы в эксцентрическом режиме (см. табл. 2).

Таблица 2

Время работы мышцы (мс) в режиме эксцентрического сокращения в фазе отталкивания при выполнении различных типов прыжков

Наименование упражнения	Наименование мышцы		
	GL	VL	SO
	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$
Прыжок вверх без отягощения	363 ± 84	424 ± 81	424 ± 86
Прыжок вверх с постоянным 50 %- ным отягощением (со штангой)	288 ± 29	364 ± 24	369 ± 23
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением	483 ± 14	606 ± 44	585 ± 46
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным убывающим отягощением	444 ± 21	497 ± 12	433 ± 21

Значительное увеличение длительности работы мышц в фазе эксцентрического режима приводит к значительному увеличению высоты прыжка. По этому показателю прыжки вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением статистически достоверно превышают значения всех остальных видов прыжков вверх (за исключением прыжка вверх без отягощения).

Анализ такого показателя, как относительная длина мышцы, свидетельствует о том, что прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением создает наиболее благоприятные предпосылки для работы мышц опорно-двигательного аппарата, что выражается, прежде всего, в высоте прыжка.

Скорость сокращения мышцы является одной из важнейших характеристик функционирования мышцы. Помимо определяющего значения в зависимости «сила-скорость», эта характеристика имеет решающее значение в сравнительном анализе различных двигательных действий. Это связано с тем, что скорость сокращения мышц может служить универсальным критерием, на основе которого возможно сопоставление движений. В исследованиях А.В. Самсоновой, И.М. Козлова, Н.Б. Кичайкиной [22] было показано, что спринтерский бег отличается от педалирования, выполняемого в аналогичном темпе, вдвое большей скоростью сокращения двусуставных мышц бедра. Использование методики расчета морфометрических характеристик мышц по методике И.М. Козлова и А.В. Самсоновой, позволяет получить

сопоставимые результаты и классифицировать специальные упражнения на основе разработанных критериев.

Из таблицы 3 следует, что максимальная скорость эксцентрического сокращения большой ягодичной мышцы (GL) в фазе опоры при выполнении прыжка вверх без отягощения составляет 7,9 см/с. Увеличение внешней нагрузки за счет использования штанги и тренажера приводит к значительному снижению скорости растяжения мышцы (до 2,9 см/с). В фазе отталкивания скорость укорочения мышцы не превышает 10 см/с.

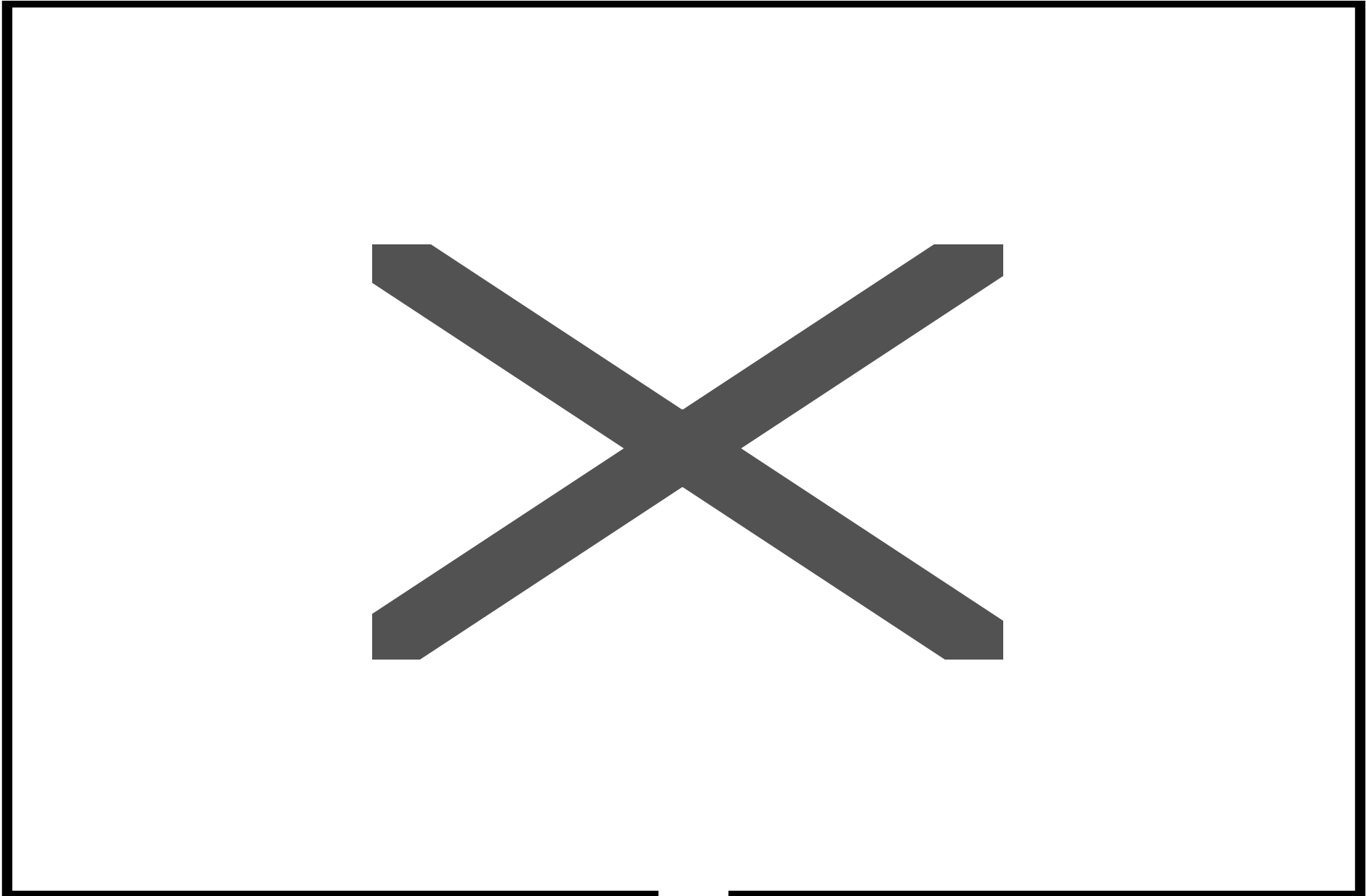
Скорость эксцентрического сокращения широкой латеральной мышцы при выполнении прыжка вверх без отягощения в фазе амортизации достигает 19,6 см/с. Применение отягощения снижает скорость растяжения этой мышцы до 13,2 см/с. Сокращаясь в концентрическом режиме (укорачиваясь), в фазе отталкивания при выполнении прыжка без отягощения широкая латеральная мышца достигает скорости укорочения – 50 см/с. Увеличение внешней нагрузки (штанга, тренажер) приводит к уменьшению скорости сокращения мышц.

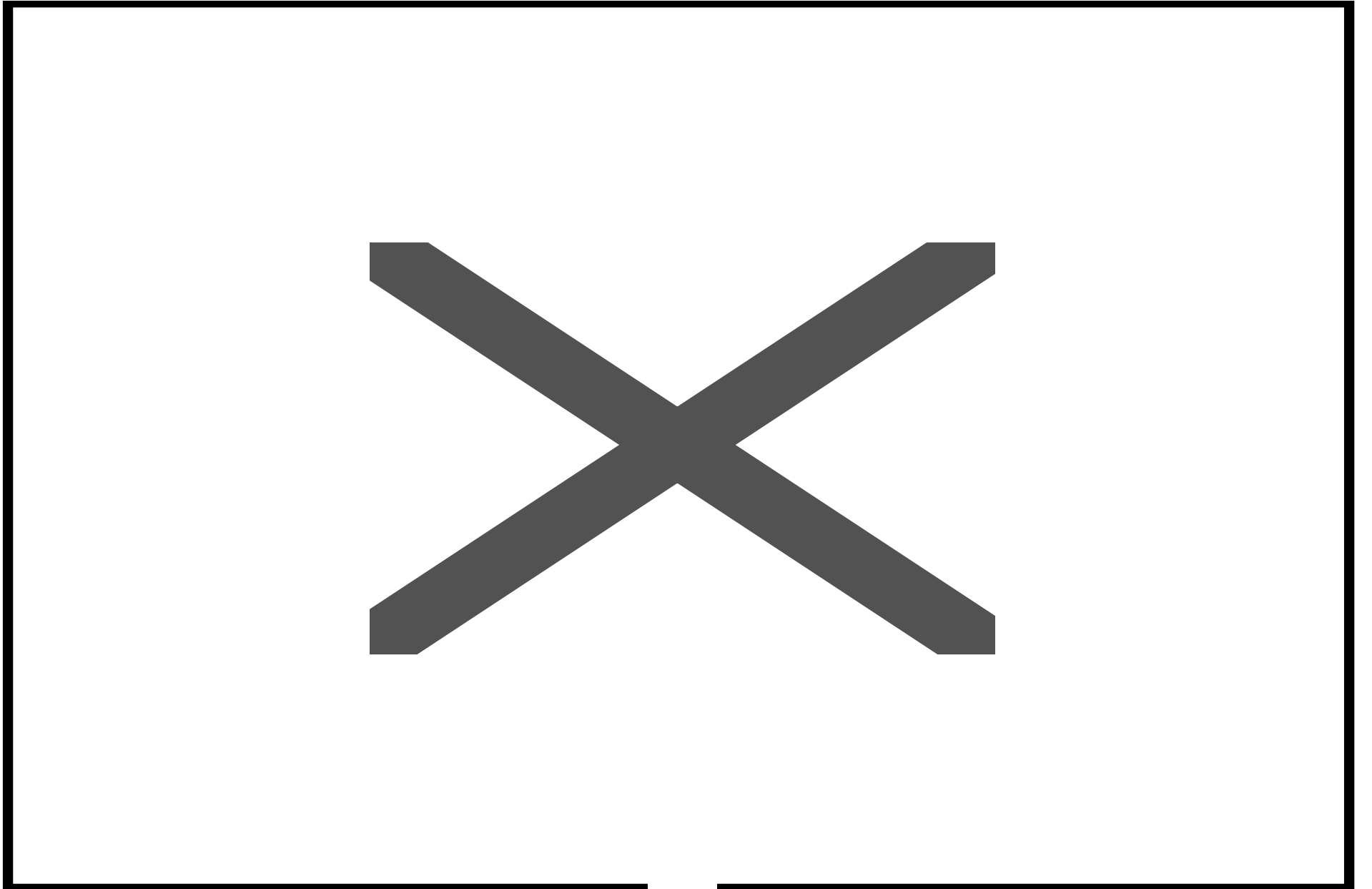
Аналогичная картина характерна и для камбаловидной мышцы при выполнении прыжков различного вида: незначительная скорость растяжения (6,3 см/с без нагрузки и 3,6 см/с с нагрузкой) и достаточно большая скорость укорочения в фазе отталкивания (до – 65 см/с). Применение отягощения несколько снижает скорость укорочения мышцы (до – 50 см/с).

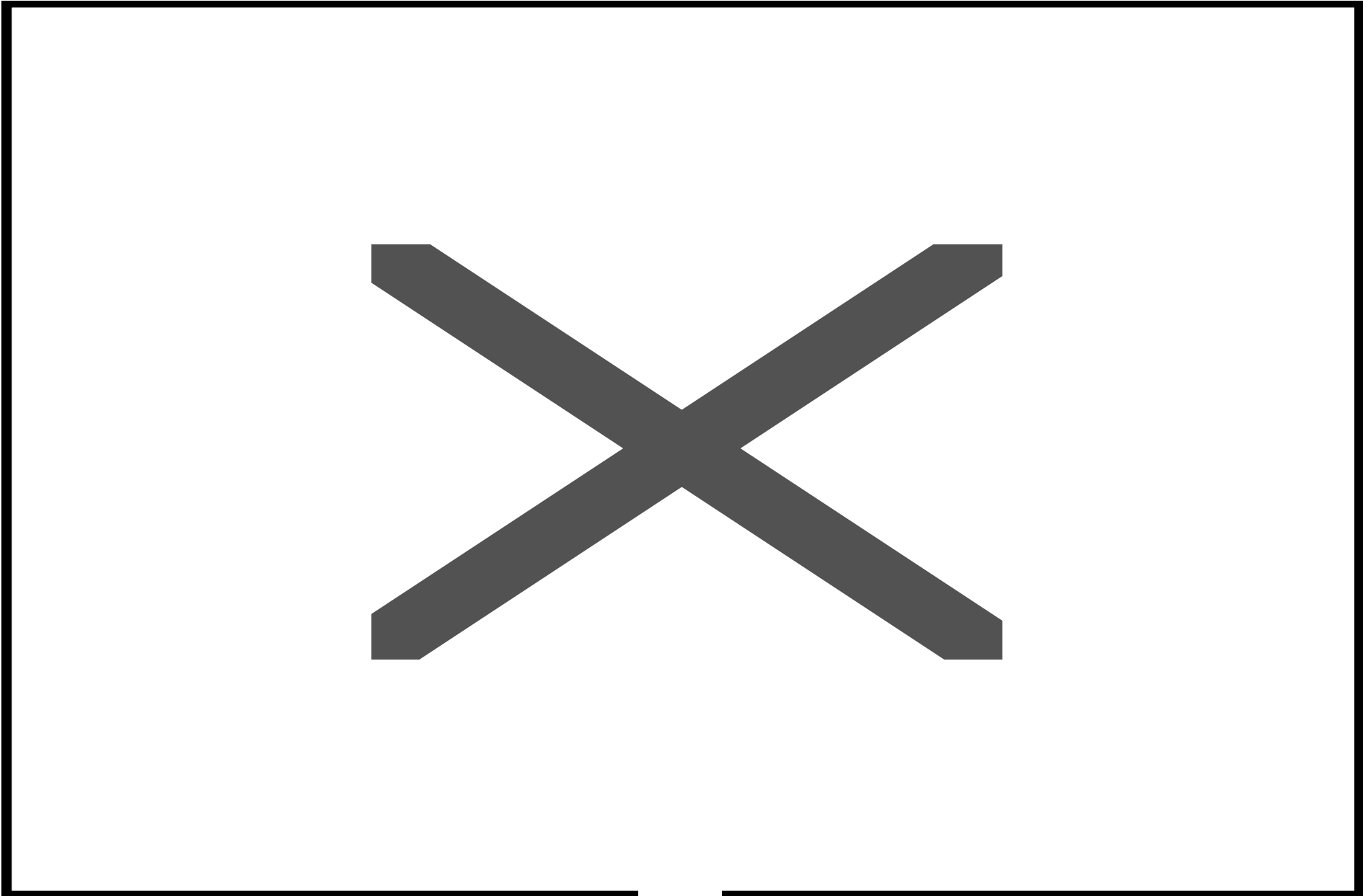
Таблица 3

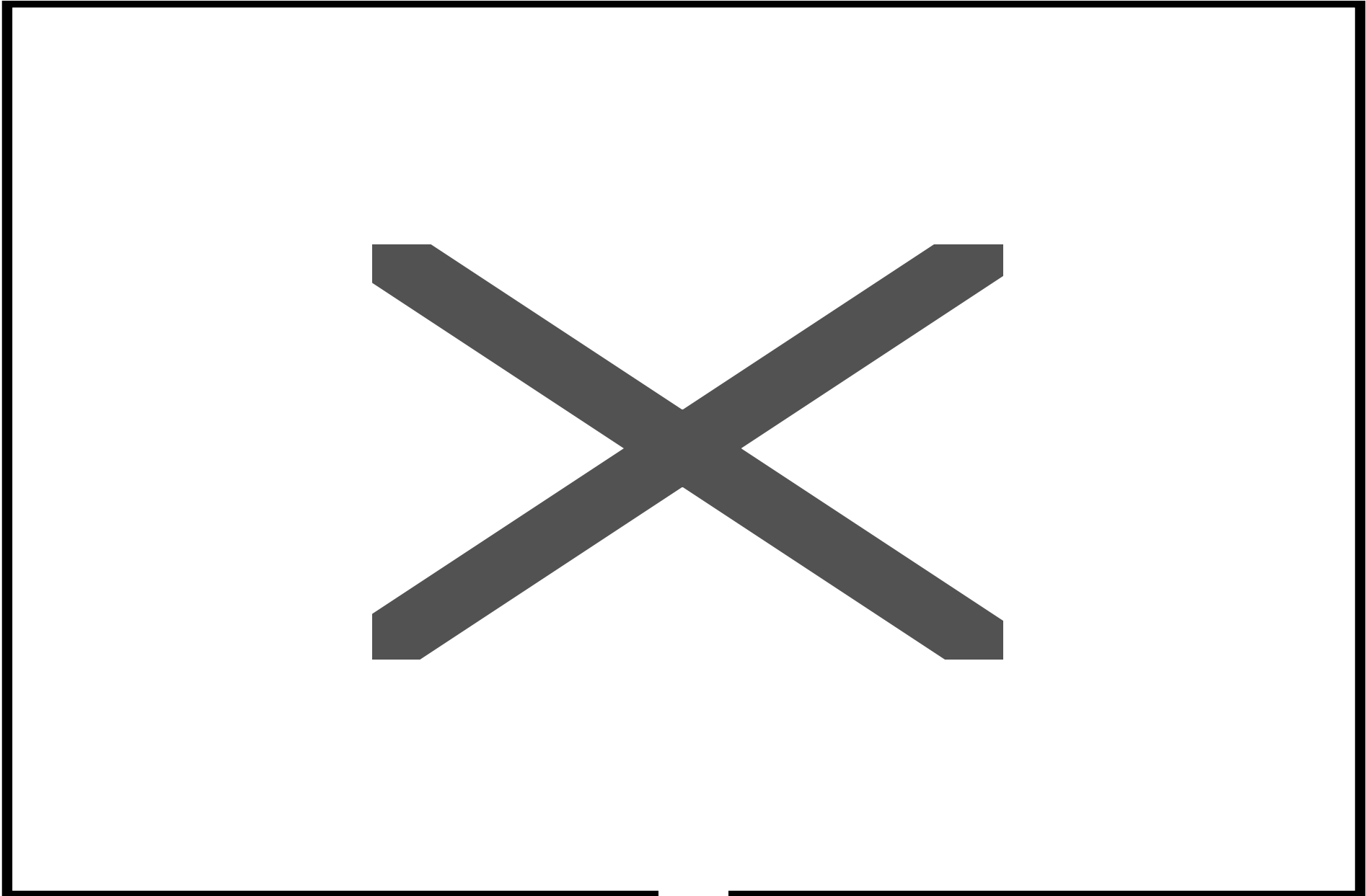
Максимальная скорость эксцентрического сокращения мышц в фазе отталкивания при выполнении различных типов прыжков

Наименование упражнения	Наименование мышцы		
	GL	VL	SO
	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$
Прыжок вверх без отягощения	7,9 ± 0,7	19,6 ± 1,6	6,3 ± 1,5
Прыжок вверх с постоянным 50 %- ным отягощением (со штангой)	4,7 ± 0,2	15,7 ± 0,6	4,6 ± 0,2
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением	4,0 ± 0,2	15,2 ± 0,2	3,6 ± 0,1
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным убывающим отягощением	2,9 ± 0,2	13,2 ± 0,3	4,1 ± 0,3









На рисунках 4 – 7 представлены графики скорости сокращения односуставных мышц бедра при выполнении различных видов прыжков.

При изучении специальных упражнений, используемых спринтерами, И.М. Козлов, В.П. Муравьев, А.В. Самсонова [11, 14, 19] предложили критерий эффективности K_3 специальных упражнений, равный отношению скорости растяжения мышц при выполнении упражнения к скорости растяжения этой же мышцы при выполнении основного упражнения. Как указывал И.М. Козлов [11], чтобы специальное упражнение приносило тренировочный эффект, оно должно по каким-то характеристикам превышать основное:

$$K_3 = L'_c / L'_o$$

Если $K_3 > 1$ это свидетельствует о высокой эффективности специального упражнения (высокой

скорости сокращения мышц). По данным диссертационного исследования А.В. Самсоновой [20], максимальная скорость растяжения большой ягодичной мышцы при спринтерском беге с максимальной скоростью у спортсменов высокой квалификации составляет 30 см/с, широкой латеральной – 50 см/с, камбаловидной мышцы – 25 см/с. В связи с тем, что расчеты настоящего исследования производятся на основании методики, аналогичной методике И.М. Козлова и А.В. Самсоновой, появляется возможность сравнения результатов, полученных на различных объектах исследования – специальных упражнениях спринтеров и специальных упражнениях, имеющих скоростно-силовую направленность.

В таблице 4 представлены коэффициенты эффективности исследуемых специальных упражнений.

Таблица 4

Коэффициенты эффективности специальных упражнений скоростно-силовой направленности

Наименование упражнения	Наименование мышцы		
	GL	VL	SO
Прыжок вверх без отягощения	0,26	0,39	0,25
Прыжок вверх с постоянным 50 %- ным отягощением (со штангой)	0,15	0,31	0,18
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением	0,13	0,30	0,14
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным убывающим отягощением	0,09	0,26	0,16

Следует отметить, что для специальных беговых упражнений коэффициенты эффективности, полученные в исследовании А.В. Самсоновой [20], находятся в следующих пределах:

- от 0,46 до 1,13 для большой ягодичной мышцы;
- от 0,57 до 1,13 для широкой латеральной мышцы;
- от 1,62 до 2,25 для камбаловидной мышцы.

Если сопоставить полученные значения коэффициентов эффективности исследуемых упражнений с данными А.В. Самсоновой, то видно, что эти коэффициенты имеют низкие значения. Из этого следует, что прыжки с отягощением можно отнести к упражнениям не скоростно-силовой, а силовой направленности.

Анализ длины и скорости сокращения мышц при выполнении физических упражнений позволяет косвенно

судить об афферентном притоке, поступающем от рецепторов мышц в ЦНС при выполнении физических упражнений.

Попытаемся применить методику, разработанную А.В. Самсоновой [20], к анализу физических упражнений, выполняемых в различных режимах отягощения, с целью оценить величину афферентного притока, поступающего от мышц в ЦНС.

С этой целью оценим интегральную активность рецепторов восьми мышц нижней конечности (большой ягодичной, прямой бедра, широкой латеральной, двуглавой бедра (длинной и короткой головок), икроножной, камбаловидной и передней большеберцовой). Полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5

Биомеханические характеристики и показатели сенсорной активности мышц при выполнении различных типов прыжков

Наименование упражнения	Наименование показателя				
	$T_{on}, мс$	$T_{пол}, мс$	$I_{al}, мм$	$I_{ll}, мм$	$I_{aff}, мм$
	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$	$\bar{X} \pm m$
Прыжок вверх без отягощения	563 ± 95	518 ± 4	22,7 ± 1,7	174 ± 28	196 ± 30
Прыжок вверх с постоянным 50 %- ным отягощением (штанга)	531 ± 33	403 ± 7	20,2 ± 0,9	154 ± 10	174 ± 10
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением	897 ± 30	560 ± 12	25,4 ± 1,1	283 ± 11	308 ± 11
Прыжок вверх на ТРО с 50 %-ным убывающим отягощением	726 ± 17	432 ± 10	21,0 ± 0,1	224 ± 4	245 ± 4

Сравнительный анализ различных видов прыжков свидетельствует о том, что применение тренажера значительно увеличивает фазу опоры T_{on} . Однако использование режима возрастающего отягощения при подседе по сравнению с противоположным режимом работы (убывающе-возрастающим) способствует

значительному увеличению фазы полета (и высоты прыжка).

Поэтому показателю прыжок с применением ТРО с использованием возрастающе-убывающего отягощения превышает все виды прыжков с другими видами отягощений.

Следует отметить, что прыжок вверх с постоянным

50%-ным отягощением и на ТРО с возрастающим отягощением при подседе превышает по показателям I_{ab} , I_{II} и I_{aff} все виды прыжков.

Интегральный показатель, отражающий афферентный приток, поступающий от мышечных веретен (I_{aff}) почти в два раза больше при прыжке с тренажером, чем при использовании постоянного отягощения (штанги).

Следствием высокого уровня афферентного притока, поступающего от рецепторов мышц в высшие отделы ЦНС должен являться высокий тренирующий эффект использования этого упражнения.

Исследования А.В. Самеоновой [20] показали, что циклические локомоции (спринтерский бег и

педалирование), выполняемые в максимальном темпе, характеризуются пропорциональным «вкладом» афферентной активности, поступающей от различных видов рецепторов.

Результаты наших исследования (рис. 8 – 9) свидетельствуют о том, что все виды прыжков характеризуются значительным преобладанием афферентации, поступающей от вторичных окончаний (реагирующих на изменение длины мышцы). Это позволяет классифицировать рассматриваемые упражнения не как скоростно-силовые, а как силовые.

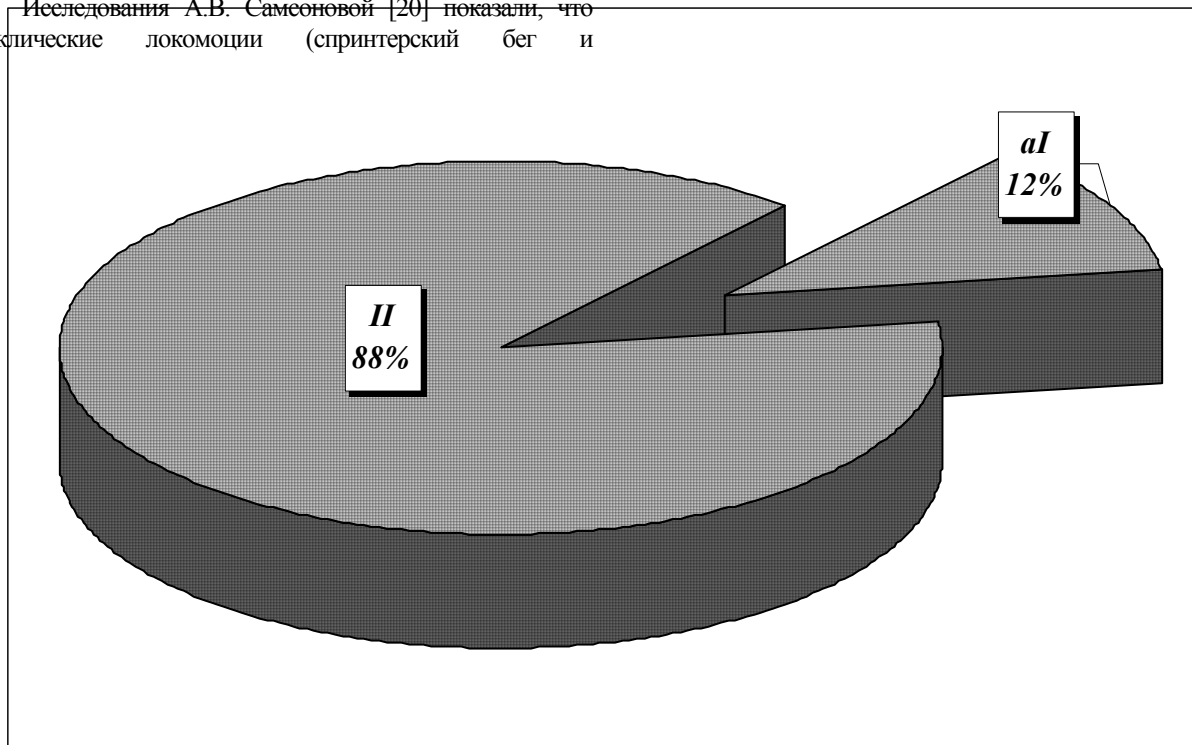


Рис. 8. Вклад различных афферентов в суммарный афферентный поток при выполнении прыжка вверх без отягощения

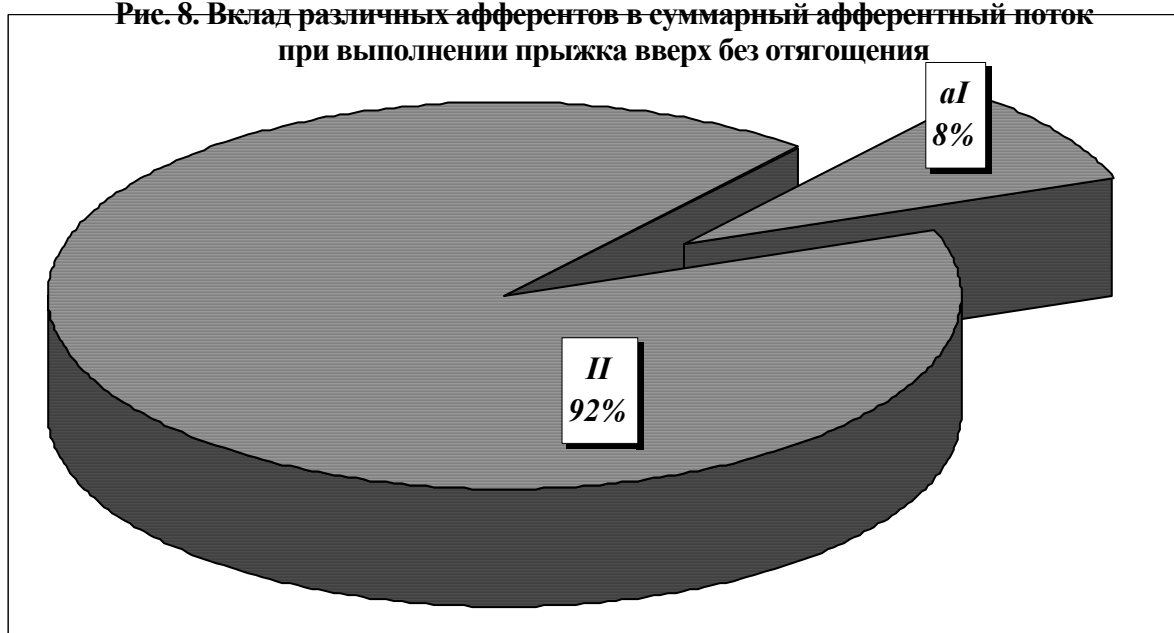


Рис. 9. Вклад различных афферентов в суммарный афферентный поток

при выполнении прыжка вверх на ТРО с 50%-ным возрастающим отягощением

Заключение. В статье проанализированы морфометрические (относительная длина мышцы) и скоростно-силовые (скорость сокращения мышцы) характеристики мышц нижних конечностей, а также показатели их афферентной активности при выполнении прыжков в различных режимах работы. Установлен механизм обеспечения единства всей биодинамической цепи, выражающийся в том, что мышцы, обладающие небольшим силовым потенциалом (например, камбаловидная мышца) реагируют на внешнюю нагрузку большей степенью растяжения.

Установлено, что морфометрическим показателем эффективности использования специальных упражнений может служить импульс силы, развиваемый мышцей, о котором можно косвенно судить по величине изменения относительной длины мышцы и времени продолжительности фазы, за которое это изменение произошло. Сравнительный анализ различных видов прыжков по этому показателю свидетельствует, что прыжки на ТРО с 50 %-ным возрастающим отягощением создают наиболее благоприятные предпосылки для выполнения отталкивания, что выражается в превышении биомеханических показателей (фазы полета) по сравнению с другими видами прыжков.

Использование методики, аналогичной методике И.М. Козлова и А.В. Самсоновой, позволяет получить сопоставимые результаты и классифицировать исследуемые упражнения как силовые, так как скорость сокращения исследуемых мышц очень низка по сравнению со скоростью сокращения мышц в основном движении – спринтерском беге.

По характеру афферентной активности мышечных веретен, прыжок на тренажере с возрастающим отягощением при подседе и убывающим при отталкивании превышает другие виды прыжков.

Применение тренажера регулируемого отягощения позволяет значительно демпфировать пиковые значения реакции опоры по сравнению с прыжком выполняемым с постоянным 50 %-ным отягощением (штангой). Это значительно снижает ударную нагрузку и риск травм в ходе учебно-тренировочных занятий.

Примечания:

1. Бальсевич В.К. Исследование локомоторной функции в постнатальном онтогенезе человека (5-65 лет): Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – М., 1971. – 38 с.
2. Бальсевич В.К. Исследование основных параметров движений в беге на скорость и некоторые пути совершенствования в технике бегунов на короткие дистанции: Автореф. дис. ... канд. пед. наук. – М., 1965. – 24 с.
3. Бернштейн Н.А. О построении движений. – М.: Медгиз, 1947. – 254 с.
4. Гагин Ю.А., Гаврилов В.И., Джаркешев З.А. Теория и практика двигательного мастерства. – Алма-Ата: Раздан, 1990. – 83 с.
5. Даугс Р. Наука о моторике перед лицом кризиса // Теория и практика физической культуры. – 1997. – №5. – С. 57-63.

6. Доронин А.М. Совершенствование биомеханической структуры двигательных действий спортсменов на основе регуляции режимов мышечного сокращения. – Майкоп: Изд-во АГУ, 1999. – 168 с.
7. Дьячков В.М. Экспериментальное обоснование и разработка системы тренировки в скоростно-силовых видах спорта (по материалам исследования легкоатлетов-прыгунов): Автореф. дис. ... докт. пед. наук. – М., 1963. – 50 с.
8. Зацiorский В.М. Спортивная метрология. – М.: Физкультура и спорт. – 1982. – С. 184-190.
9. Зацiorский В.М., Аруин А.С., Селуянов В.Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 143 с.
10. Зинковский А.В. О методике оценки мышечных усилий при биомеханическом анализе спортивной техники // Теория и практика физической культуры. – 1973. – № 9.
11. Козлов И.М. Биомеханические факторы организации движений у человека: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. – Л., 1984. – 31 с.
12. Козлов И.М. Электромиографическое исследование бега // Проблемы физиологии спорта. – М., 1966. – С. 66-74.
13. Креер В.А., Попов В.Б. Легкоатлетические прыжки. – М.: Физкультура и спорт, 1986. – 174 с.
14. Муравьев В.П. Техническая подготовка в беге на короткие дистанции с учетом формирования двигательных программ: Дис. ... канд. пед. наук. – Л., 1991. – 166 с.
15. Назаров В.Г. Движения спортсмена. – Минск: Полымя, 1985. – 176 с.
16. Наков Л.К. Эффективность на спортивные движения в зависимости от времени за аккумуляцию энергии на эластичная деформация в мускули и сухожилия // Вопросы на физическата культура. – 1986. – Бр. 7. – С.7-13.
17. Прилуцкий Б.И. Уступающий режим активности мышц при локомоциях человека: Дис. ... канд. пед. наук. – М., 1990. – 156 с.
18. Ратов И.П. Полимиофоническая установка // Теория и практика физической культуры. – 1972. – № 1. – С. 73-74.
19. Самсонова А.В. Методика начального обучения барьерному бегу девочек на основе анализа координации мышечной активности: Дис. ... канд. пед. наук. – Л., 1983. – 166 с.
20. Самсонова А.В. Моторная и сенсорная организация мышечной активности в спортивных движениях: Монография. – СПб: ГАФК им. П.Ф. Лесгафта, 1998. – 54 с.
21. Самсонова А.В. Моторный и сенсорный компоненты биомеханической структуры физических упражнений: Дис. ... докт. пед. наук. – СПб, 1997. – 359 с.
22. Самсонова А.В., Козлов И.М., Кичайкина Н.В. Фазовые портреты мышц // Теория и практика физической культуры, 1993. – № 1. – С. 1-3.
23. Cavagna G.A., Dusman B. Margaria R. Positive work done by a previously stretched muscle // J. of Applied Physiology, 1972. – V. 24. – N 1. – P. 21-32.
24. Cavagna G.A., Franzetti P., Heglund N.C., Willems P. The determinants of the Step frequency in running, trotting and hopping in man and other vertebrates // J. of Physiology (London), 1988. – P. 81-92.
25. Kuhn T.S. The Structure of Scientific Revolutions. – Chicago: University Press of Chicago Press 2nd Edition, 1970. – 256 p.
26. Schumacher G., Wolif E. Trockengewicht and phisiologisoehen Quer-sohnitt des menschliohen Skelett-muskulatur // Anatomische. Anz., 1966. – Vol. 119. – S. 259-269.