

Bird S.P., Tarpenning K.M., Marino F.E. Designing Resistance Training Programmes to Enhance Muscular Fitness. A Review of the Acute Programme Variables // Sports Medicine, 2005. – V.35.– N 10.– Н. 841-851.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ МЫШЕЧНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ. ОБЗОР ТЕКУЩИХ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММЫ

ВВЕДЕНИЕ

Популярность силовых тренировок значительно выросла за последнее 25лет. Обширные исследования демонстрируют, что силовые тренировки эффективны не только для улучшения нервно-мышечной функции, но также могут быть столь же эффективными в поддержании или улучшении индивидуального состояния здоровья. Тем не менее, разработка программы силовой тренировки представляет собой сложный процесс, который включает несколько переменных и основные принципы тренировки. Эффективность программы силовой тренировки для достижения конкретного результата (например, мышечная выносливость, гипертрофия, максимальная сила, или сила) зависит от особенностей использования переменных, к которым относятся: (I) активность мышцы; (II) нагрузка и объем; (III) выбор упражнений и порядок их применения; (IV) периоды отдыха; (V) скорость выполнения и (VI) частота. В конечном счете, переменные влияют на степень тренировочных стимулов, которые определяют величину адаптации нервно-мышечной и нейроэндокринной систем, а также опорно-двигательного аппарата к силовым упражнениям. В этой статье рассматриваются результаты исследований, которые изучают применение переменных программы силовой тренировки и их влияние на физическую работоспособность, и адаптацию к тренировке. Концепции, представленные в этой статье, представляют собой важный подход к эффективной разработке тренировочных программ. Таким образом, это

крайне важно для тех, кто связан с силовыми тренировками (т.е. тренерам, специалистам по реабилитации, физиологам), чтобы приобрести фундаментальное понимание переменных и важность их практического применения при разработке программ тренировки.

Тренировки на сопротивление, также известные как силовые тренировки, являются эффективным методом развития мышечной работоспособности (т.е. способность генерировать мышечную силу) [1]. Fleck and Kraemer [2] описали основные задачи тренировки с отягощениями, как повышение мышечной силы и выносливости. В то время существуют другие преимущества применения силовых тренировок для улучшения состояния здоровья, связанные с увеличением костной массы, снижением кровяного давления, увеличением площади поперечного сечения мышц и соединительной ткани (CSA), с понижением содержанием жира в организме, которое может облегчить боль в пояснице [3]. Хотя современные технологии сократили потребность в высоком уровне применения силы во время повседневной деятельности, как в научных, так и медицинских кругах признается, признается, что мышечная сила является фундаментальной физической способностью необходимой для здоровья, функционального состояния и повышения качества жизни [4]. Таким образом, упражнения направленные на рост скелетных мышц (мышечная гипертрофия) и сопутствующее преимущество в увеличении силы (нервно-мышечная адаптация) являются областями, представляющими интерес не только для спортсмена, желающего повысить свою производительность, но и для обычных людей, которые хотят, изменить свой состав тела или расширить возможности для выполнения задач, требующих мышечных усилий. В исследованиях, проведенных за последние 50 лет, использовались различные формы силовой тренировки (то есть однократные и многократные, концентрические и эксцентрические действия, изолированные и сложные движения) с целью получения максимального эффекта [1,5-10]. Это имеется в научной литературе, предполагая их практическое применение, то есть более глубокое понимание разработки программ для многих практикующих в настоящее

время специалистов. Правильное проектирование программы тренировок необходимо, чтобы увеличить преимущества, связанные с силовой тренировкой [3]. Таким образом, цель этого обзора литературы является предоставление рекомендаций по практическому применению переменных программы силовых тренировок и разъяснению, как они влияют на планирование программы тренировки. Кроме того, мы выделяем несколько аспектов адаптации, связанных с силовой тренировкой.

1. ПЛАНИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ СИЛОВОЙ ТРЕНИРОВКИ

Планирование программы силовой тренировки представляет собой сложный процесс, включающий несколько текущих переменных [4,11] и ключевые принципы подготовки [2], (табл. 1). Исторически сложилось так, разработка программ была скорее искусством, чем наукой, но наука остается жизненно важной частью процесса, как назначение любого упражнения требует понимания базовых научных принципов. Ряд ключевых принципов подготовки регулируют безопасное и эффективное планирование программ силовых тренировок, которое зависит от перегрузки, специфичности адаптации, принципа прогрессирования и индивидуализации [2]. При назначении упражнений, надо решить, что представляет собой оптимальный баланс этих факторов при рассмотрении текущего состояния спортсмена, тренируемых силовых способностей и личных целей [10].

2. ПАРАМЕТРЫ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Эффективность силовых тренировок для достижения конкретного тренировочного эффекта зависит от нескольких переменных программы [4,11], некоторые из которых влияют на степень раздражителей (таблица 2). Пионерские исследования DeLorme [5], DeLorme и Watkins [12], а также концепция постепенной перегрузки стали основой разработки тренировочной програм-

мы. Их работа описывает классические программные переменные нагрузки, частоту, продолжительность и интенсивность, которые были краеугольным камнем для достижения такой перегрузки. Kramer [11] пересмотрел переменные программы, чтобы лучше описать, как такие переменные влияют во время тренировки для того, чтобы добиться желаемого результата. Более конкретно, переопределены текущие переменные программы и включены: 1) максимум повторений (RM) нагрузка; 2) количество подходов; 3) выбор упражнений; 4) Порядок упражнений, и 5) периоды отдыха. В недавно опубликованном издании Американского колледжа спортивной медицины [4] последовал пересмотр вышеуказанных переменных программы, как: 1) активность мышцы, 2) нагрузка и объем; 3) выбор упражнений и их порядок; 4) скорость выполнения упражнений и 5) частота тренировок.

Табл.1

Надлежащий проект программы резистивных упражнений для особых результатов тренировки включает параметры физической нагрузки программы и ключевые принципы тренировки.

Программа силовых тренировок			
параметры физической нагрузки		ключевые принципы тренировки	
работа мышцы	период отдыха	перегрузка	специфичность
Нагрузка и объем	скорость повторений	прогрессия	индивидуализация
Выбор и порядок упражнений	Частота тренировок	адаптация	поддержание
Специфический тренировочный результат			
Мышечная выносливость	гипертрофия	максимальная сила	мощность
ECC:CON 1-3 подхода с массой отягощения, с которой можно выполнить 15-20 повторений Упражнение на один или несколько суста-	ECC:ISO:CON 4-6 подходов с массой отягощения, с которой можно выполнить 8-15 повторений Упражнение на один или несколько суста-	ECC:ISO:CON 3-5 подходов с массой отягощения, с которой можно выполнить 3-8 повторений Упражнение на один или несколько суста-	ECC:CON 3-5 подходов х с массой отягощения, с которой можно выполнить 1-3 повторения Мультисуставное упражнение

<p>вов</p> <p>Различный порядок упражнений</p> <p>Отдых 30-60 с между подходами и упражнениями</p> <p>Темп 1: 0: 1</p> <p>2-3 дня в неделю</p>	<p>вов</p> <p>От крупных к мелким мышцам</p> <p>Отдых 1-2 мин между подходами и упражнениями</p> <p>Темп 2: 1: 2</p> <p>3-5 дней в неделю</p>	<p>вов</p> <p>От крупных к мелким мышцам</p> <p>Отдых 3-5 мин между подходами и упражнениями</p> <p>Темп 1: 1: 1</p> <p>3-5 дней в неделю</p>	<p>От крупных к мелким мышцам</p> <p>Отдых 5-8 мин между подходами и упражнениями</p> <p>Быстрый темп</p> <p>4-6 дней в неделю</p>
--	---	---	--

Примечание: CON = концентрический, ECC = эксцентрический, ISO = изометрический, RM = повторный максимум

2.1. Активность мышцы

Большинство программ силовых тренировок включают динамические повторы в концентрическом (CON) – преодолевающем и эксцентрическом (ECC) – уступающем режиме работы мышц, при этом изометрическая работа мышц играет второстепенную стабилизирующую роль [4]. Несколько исследований тренировок продемонстрировали, что динамическая мышечная сила и морфологические изменения в мышце были максимальными, когда в силовой программе тренировок использовались концентрические и эксцентрические сокращения [13-15]. Более того, данные, представленные Kramer et al. [21] и Durand et al. [22], что текущий гормональный ответ связан с особой работой мышц, используемых в силовом упражнении. Секреция гормона роста (GH) – особая во время работы мышцы во время силового упражнения с сильной нагрузкой, когда работа мышцы в концентрическом режиме вызывает более сильный ответ гормона роста [21,22]. В целом, эти данные предполагают, что тренировка должна включать как концентрические, так и эксцентрические мышечные сокращения.

2.2. Нагрузка и объем

Изменения нагрузки и объема тренировок влияют на гормональные [23-25], нервные [26-28] и гипертрофические [7,16,29] ответы и последующую адаптацию к резистивной тренировке. Тап [30] предполагает, что взаимосвязь между нагрузкой и объемом – критический фактор в определении оптимального ряда стимулов, чтобы усилить нейромышечные адаптации, связанные с силовой тренировкой.

Нагрузка связана с массой груза при выполнении упражнений в подходе [31] и является, возможно, самой важной переменной в плане программы силовой тренировки [32]. Нагрузка может определяться либо максимальным количеством повторений – RM (т.е. максимальное количество поднимаемого веса в правильной технике за обозначенное количество повторов), либо какого-то процента от одного максимального повторения (1RM) [5]. Нагрузка, предписываемая посредством RM считается эффективнее, чем при использовании процента от одного максимального повторения (1RM) [1, 30, 33]. С практической точки зрения, это позволяет избежать необходимости повторного тестирования значение повторного максимума, чтобы поддерживать эффективность стимула упражнения. Рекомендуется увеличивать нагрузку тренировки на 2-10 %, когда индивидуум может выполнить текущую нагрузку на один или два повторения больше желаемого числа [4]. Понимание RM нагрузки тренировки относится к широкому спектру производных эффектов тренировки [2]. Концепция непрерывности иллюстрирует, что определенное количество повторений до отказа позволяет достичь определенного результата: мышечную выносливость, гипертрофию, максимальную силу или мощность [3]. Однако, польза тренировки различна при любом заданном RM [31]. Высокие нагрузки используют, если цель – мощность (1-3 RM) или максимальная сила (3-8 RM), умеренные нагрузки для гипертрофии (8-15 RM) и низкие нагрузки для мышечной выносливости (>20 RM) [2]. Объем описывает общее количество выполненной работы в рамках тренировочной сессии [30], и обычно рассчитывается так: 1) общее число повторений

(повторения упражнений x подходы); или 2) объем нагрузки (подходы упражнений x повторы x нагрузку) [4]. Объем тренировки определяется относительно числа повторений в подходе, числа подходов в тренировку и числа тренировок в неделю [30]. Важность объема тренировки для максимальной силы и размера мышц, приобретаемого на ранних стадиях резистивной тренировки, была продемонстрирована ранее [14,16,35].

Благодаря мета-анализу Rhea et al. [36] выяснилось, что нетренированные индивидуумы ощущают прирост максимальной силы при тренировочной интенсивности в 12 RM, а тренированные индивидуумы испытывают наибольшее увеличение силы при 8 RM.

Табл. 2

Рекомендации по программе силовых тренировок [2,4,13-20]

Специфический результат	Мышечная работа	Нагрузка (RM) и объем	Выбор и порядок упражнений	Периоды отдыха	Скорость повторений	Частота тренировок в неделю (дня/нед)
Мышечная выносливость	ECC:CON	Более 20 высокая	SJ/MJ смешанная	30-60 с	1:0:1	1-2
Гипертрофия	ECC:CON:ISO	8-15 умеренно-высокая	SJ/MJ lge-sml	2-3 мин	2: 1: 2	2-3
Максимальная сила	ECC:CON:ISO	3-8 умеренная	MJ lge-sml	3-5 мин	1:1:1	3-4
Мощность	ECC:CON	1-3 низкая	MJ lge-sml	5-8 мин	Очень высокая	4-6

Обозначения: **CON** – концентрический; **ECC** – эксцентрический, **high** – высокая = 4-6 подходов за упражнение, **ISO** – изометрический, **lge** – большая мышечная масса, **low** = низкая – 2-4 подхода за упражнение, **MJ** – мультисуставный, **mod** – умеренная = 3-5 подходов за упражнение, **RM** – повторный максимум, **SJ** – на 1 сустав, **sml** – низкая мышечная масса.

Кроме того, величина эффекта ясно показывает, что дополнительное увеличение силы происходит за пределами тренировки с одним подходом.

Для тренированных и нетренированных людей наибольший эффект достигается со средним объемом из четырех подходов на группу мышц. Таким образом, в тренировочных программах, ориентированных на мышечную силу и гипертрофию, лучше подходят умеренные и тяжелые веса (6-15 повторений в подходе) и умеренный объем (3-4 подхода на упражнение) [16,35].

2.3. Выбор и порядок упражнений для конкретного результата

Выбор упражнений подразумевает выбор упражнения для программы тренировок с отягощением [31]. Для классификации упражнений предлагается несколько терминов, в том числе, базовые или вспомогательные, структурные или направленные на определенную часть тела, и многосуставные или односуставные [3, 11]. Все они основаны на размере площади участвующих мышц. Односуставные упражнения (например, разгибания ног, упражнения на бицепс и тренажер для груди) часто используются, чтобы изолировать определенные группы мышц [1] и уменьшить риск получения травмы из-за неопытности и недостатка необходимой техники [4]. Тем не менее, многосуставные упражнения (например, взятие штанги на грудь, приседания, становая тяга) требуют большего участия ЦНС и в целом рассматриваются как наиболее эффективные [3] для повышения общей мышечной силы, поскольку они позволяют поднимать больший вес [4]. В литературе показано, что как одно -, так и многосуставные упражнения эффективны для увеличения мышечной силы и гипертрофии [13, 16, 17]. Поэтому оба вида должны быть включены в программу силовых тренировок.

Под порядком упражнений подразумевается последовательность упражнений с отягощениями, выполняемых в течение одной тренировки [31]. Традиционно упражнения с участием большого объема мышечной массы (многосуставные) выполняются первыми, за ними идут упражнения с участием небольшого объема мышечной массы (односуставные) [1]. Смысл этого порядка упражнений состоит в том, что упражнения на большие объемы мышечной

массы, выполняемые в начале тренировки, - более интенсивные и требуют большего расхода энергии, чем упражнения на малый объем мышечной массы [37]. Кроме того, работа на крупные группы мышц, теоретически, обеспечивают больший тренировочный стимул для всех мышц, участвующих в упражнениях [33,38], что может дать больший потенциал для ремоделирования тканей.

Sforzo и Touey [38] исследовали влияние порядка силовых упражнений на мышечную производительность у подготовленных мужчин. Упражнения выполнялись в последовательности от упражнений на большую мышечную массу (базовые) до упражнений на малую мышечную массу (отдельные части тела) (т.е. приседания, разгибания ног, сгибание ног, жим лежа, армейский жим, разгибания рук на верхнем блоке). И наоборот (разгибания рук на верхнем блоке, армейский жим, жим лежа, сгибание ног, разгибание ног, приседания). Значимые результаты показали, что приседания и разгибания рук на верхнем блоке значительно эффективнее, когда выполняются вначале тренировки. Выполнение приседаний или разгибаний рук на верхнем блоке в начале давало на 25% большую суммарную силу при четырех подходах по сравнению с их выполнением в середине или в конце тренировки. Кроме того, когда тренировка происходила от упражнений на отдельные части тела к базовым упражнениям, в жиме лежа к четвертому подходу, было отмечено снижение общей силы на 61% по сравнению с тренировкой, начинающейся с базовых упражнений. Эти данные показывают, что выполнение упражнений на большую мышечную массу перед упражнениями на малую мышечную массу доводит до максимума общее отягощение во время тренировки.

Из этих выводов следует утверждение, что участие большего числа мышечных волокон в связи с увеличением общего отягощения может усилить взаимодействие гормонов и тканей в большем проценте от общей мышечной массы. Было показано, что выполнение многосуставных упражнений на большую мышечную массу вначале тренировки значительно повышает уровень анаболических гормонов [39, 40]. Kramer и Ratamess [41] предполагают, что

такая реакция может потенциально стимулировать больший отклик меньших мышц, чем при выполнении только упражнений на небольшую мышечную массу.

2.4. Период отдыха

Время, необходимое для восстановления между подходами и упражнениями называется периодом отдыха [31]. Длительность периода отдыха зависит от цели тренировки, массы отягощения и уровня подготовленности занимающегося. Время, отведенное для восстановления между подходами упражнения, называется периодом отдыха. [31]. Тем не менее, Fleck и Kramer [2] отмечают, что эта переменная часто упускается из виду при описании программы тренировок. Период отдыха зависит от общей интенсивности тренировки [11], при этом длительность отдыха строго зависит от величины поднимаемых отягощений [31]. Кроме того, он влияет на метаболические и гормональные запросы [42,43]. Длительность отдыха не только определяет, сколько аденозинтрифосфатных (АТФ) и креатинфосфатных (КрФ) источников энергии восстанавливается [3], но и насколько высокими будут концентрации лактата в крови. [44,45]. Ресинтез АТФ и КрФ должен быть завершен в течение 3-5 минут [3,46].

Kramer et al. [42] исследовали влияние периода отдыха на выработку молочной кислоты в крови, концентрацию гормонов и метаболические реакции в ответ на силовые упражнения у молодых мужчин и женщин. Они использовали два совершенно разных режима упражнений: первый протокол (П1) состоял из 5RM нагрузок (масса груза соответствует максимально 5 повторениям в подходе) с 3-минутными периодами отдыха, в то время как второй протокол (П2) состоял из 10RM нагрузок с 1-минутным периодом отдыха. В то время как оба протокола развили силу, П2 является типичным, который используется бодибилдерами для увеличения мышечной гипертрофии (10RM; 1-минутные периоды отдыха) [44]. П2 оказался более энергозатрат-

ным (J) и приводил к значительно большей концентрации молочной кислоты в крови. Кроме того, более анаэробная программа тренировок П2 привела четкому и неуклонному увеличению анаболических гормонов (тестостерона и гормона роста). Авторы сделали вывод, что совокупное действие более высокого объема тренировочной нагрузки, более коротких периодов отдыха и умеренной интенсивности обеспечивают более благоприятную гормональную среду для гипертрофии скелетных мышц [42].

Таким образом, при назначении периода отдыха, если программа силовых тренировок предназначена для увеличения мощности, то необходимо 5-8 минут отдыха, в то время как 3-5 минут отдыха требуется, если направленность тренировки на развитие максимальной силы. Если программа предназначена для мышечной гипертрофии, предписаны более короткие периоды отдыха: всего 1-2 минуты. Наконец, если целью является мышечная выносливость, то используются периоды отдыха в 30-60 секунд.

2.5. Скорость повторений

Интересно, что несколько исследований выявили влияние различных скоростей выполнения движений. С этой целью использовались изотоническое оборудование и большой объем литературы со ссылкой на изокинетические протоколы. Тем не менее, в контексте данной статьи, практическое применение изотонической тренировки наиболее актуальны, так как это является наиболее широко доступной формой при выполнении силовых упражнений [48]. MacDougall [18] утверждает, что величина степени гипертрофии зависит не только от интенсивности физических упражнений, но и от длительности напряжения мышц. Таким образом, рекомендуется «золотой стандарт» для скорости повторения, как указано Weskott et al. [49] – это 2: 1: 4 (2 CON; 1 с пауза; 4 сек ЕСС). Теоретически, такой ритм должен давать максимальное мышечное напряжение, и может привести к большей силе и гипертрофической адаптации. Это утверждение поддерживается, в частности, данными

Keeler et al., которые сообщают, что выполнение одного подхода в 8-12 повторений с медленной скоростью (2с CON; 4с ECC) по сравнению с супер медленной скоростью (10с CON; 5 с ECC) дает лучший результат в значительно большем приросте силы (39% против 15% соответственно). Кроме того, умеренная (2с CON; 2с ECC) и быстрая (1 с CON; 1с ECC) скорость повторений, максимизируют гормональную реакцию и в результате значительно увеличивают метаболическую эффективность (155 ± 28 ккал против 107 ± 20 ккал), по сравнению с супер медленными (10с CON, 4с ECC) протоколами [50]. Как правило, для новичков и занимающихся среднего уровня рекомендуется медленное повторение (2с – CON; 4с ECC) [4]. Для продвинутых спортсменов изменение скорости повторений от высокой к низкой и наоборот может увеличить прирост силы и мощности при определенной скорости, однако, использование более высокой скорости движений может увеличить вероятность травмирования опорно-двигательного аппарата [49].

2.6. Частота тренировок

Частота тренировок относится к числу тренировочных занятий, проведенных в данный период времени (то есть за одну неделю) [31] и зависит от типа тренировки, уровня подготовленности тренирующегося и его способности к восстановлению [33]. Период отдыха между тренировками должен быть достаточным, чтобы обеспечить мышечное восстановление для последующей тренировки [1]. В многочисленных исследованиях выносливости у нетренированных лиц использовали частоту тренировок 2-3 раза в неделю [14,17,29,35,51,52]. Эта частота тренировок, по-видимому, является эффективной для начинающих, хотя, тренировки и один-два раза в неделю являются эффективными для начинающих [30]. Эмпирически было доказано, что бодибилдеры, которые готовятся к соревнованиям, используют частоту тренировок 5-7 раз в неделю, чтобы максимизировать размер мышц и набрать силу [44]. По мнению Feigenbaum и Pollok [10], что частота тренировок два

раза в неделю дает больше времени для восстановления мышц, менее трудоемка и, следовательно, может улучшить состояние мышц. Кроме того, программа тренировок два раза в неделю с неподготовленными занимающимися позволяет достичь 80-90% прироста силы по сравнению с более частыми программами тренировок. Кроме того, Carroll et al. [52] сообщили, что когда тренировка проводится два раза в неделю, это приводит к значительному увеличению тяжелых цепей миозина в волокнах IIa типа, по сравнению с тренировками три раза в неделю.

Совсем недавно Rhea et al. [36] после определения оптимальной нагрузки для развития силы, сообщили, что у неподготовленных людей замечено следующее оптимальное соответствие нагрузки от тренировок - увеличение частоты тренировок до 3 дней в неделю является оптимальным для максимального развития силы. Для подготовленных лиц тренировка дважды в неделю (на мышечную группу) вызвала наибольший прирост силы. Сила увеличивается, пропорционально частоте тренировок у людей с низким уровнем начальной подготовки, для подготовленных же людей оптимальный результат, может быть, достигнут при увеличении тренировочных объемов. Поэтому, рекомендуется, неподготовленным индивидуумам, полностью выполнять всю программу тренировок для тела по системе двух или трех дней в неделю. С увеличением уровня подготовленности спортсмена предлагается изменение в частоте занятий до 3-4 занятий в неделю, которое должно сопровождаться изменениями в структуре программы занятий (т.е. разбиение тренировки на занятия отдельно для верхней или нижней частей тела). Тренировка 4-6 дней в неделю нужна для опытных спортсменов [4].

3. АДАПТАЦИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ К СИЛОВОЙ ТРЕНИРОВКЕ

Скелетные мышцы состоят из очень пластичной ткани, которая легко адаптируется к изменению нагрузки. Увеличивая нагрузку на скелетные мышцы, можно вызвать адаптационные изменения, которые приводят к уве-

личению мышечной массы и изменениям их сократительных свойств [53]. Факты, что силовая тренировка и другие формы механической нагрузки вызывают увеличение размера мышцы, хорошо известны [17,54-56]. В теории, увеличить объем мышц возможно в результате увеличения размера волокна [17], увеличения количества волокон [55], и/или увеличения количества соединительной ткани мышц [18], все эти способы являются адаптациями, которые способствуют увеличению силы и наблюдаются в процессе тренировочной нагрузки.

В конечном счете, оказывается, что при гипертрофии скелетных мышц вызванной физическими упражнениями, происходят три процесса. Первый – это анаболические процессы, необходимые для увеличения количества белка и для увеличения объема волокна [57,58]. Вторым процессом связан с делением клеток-сателлитов, которые увеличивают количество дополнительных миоядер (ядер мышечного волокна) для увеличения размеров волокна. Третий процесс, который называют «антикатаболический эффект» может быть достигнут за счет сокращения кортизол-индуцированного разрушения белка [17]. Фармакологические дозы глюкокортикоидов в результате приводят к возрастанию экскреции 3-метилгистидинов (3-MHIS), предполагая, что протеолиз в скелетных мышцах увеличивается [59], так как 3-MHIS является показателем протеолиза (разрушения) сократительных белков мышц [60]. И наоборот, ослабление действия кортизола способствует сохранению миофибриллярных белков, что приводит к улучшению роста скелетных мышц [17]. Гормональные взаимодействия являются промежуточными, а последующие изменения в структурных и функциональных свойствах скелетных мышечных волокон обеспечиваются в основном анаболическими и антикатаболическими процессами.

3.1. Размер мышечных волокон

Одним из наиболее часто исследуемых проявлений адаптации при развитии силы является увеличение площади поперечного сечения волокна (CSA), или гипертрофия. Хорошо известно, что силовая тренировка способствует гипертрофии каждого из трех основных типов волокна в организме человека (тип I, IIa и IIb), по классификации Brook & Kaiser [61]. Многочисленные исследования силовых тренировок показывают, что промежуточные волокна IIa типа проявляют наибольшую способность к гипертрофии. Мышечные волокна IIb типа и I типа, как правило, проявляют наименьшую гипертрофию в ответ на силовую тренировку [17,29,56,58,62-64]. В общем, гипертрофия мышечных волокон I типа зависит от уменьшения разрушения белков, в то время как гипертрофия мышечных волокон II типа зависит от увеличения синтеза белка, таким образом, в результате получается абсолютный прирост волокон CSA (гипертрофия) [64].

Кроме того, процентное увеличение мышц в ответ на силовые тренировки одинаково у мужчин и у женщин [15, 65, 66], хотя абсолютный прирост площади поперечного сечения волокон (гипертрофии мышечных волокон), как правило, выше у мужчин [65]. У нетренированных лиц, площадь поперечного сечения мышечных волокон I типа увеличивается на 10-31% [29, 62], а в волокнах II типа на 20-45% [29, 67]. Предполагается, что гипертрофия мышечных волокон II типа может отражать относительно большее участие их в максимальных или близких к максимальным сокращениях (как и в случае при тяжелых силовых тренировках), так как у них более высокий порог активации по сравнению с тем, что имеет место при обычной силовой тренировке.

При постоянной (12-26 недель) силовой тренировке, увеличение площади поперечного сечения мышечного волокна является результатом увеличения площади, занимаемой миофибриллами, практически без изменений в плотности упаковки миофибрилл. Миозиновые и актиновые филаменты добавляются на периферии каждой миофибриллы, таким образом, увеличивая размеры миофибрилл, оставляя без изменения плотность их упаковки и рас-

стояние между поперечными мостиками [18]. Тем не менее, значение этой гипертрофированной реакции значительно варьируется и зависит от ряда факторов, включая индивидуальную восприимчивость к тренировке, интенсивность и продолжительность тренировки и уровня подготовки до начала тренировки [69].

3.2. Преобразование типов мышечного волокна

Силовые тренировки влияют на структуру миозин АТФ-азы (mАТФ), а также на тяжелые цепи миозина [29,52,68,70]. Очевидно, что силовые тренировки приводят к изменениям композиции внутри мышечных волокон II типа: к увеличению процентного соотношения волокон типа IIa и уменьшению - волокон типа IIb [17,63,67]. Так или иначе, не было обнаружено достаточных доказательств явного изменения процентного соотношения мышечных волокон I и II типов.

В серии исследований Staron et al. [63, 67, 71] была исследована адаптация скелетных мышц к силовым тренировкам у мужчин и женщин. После 20 недель тяжелых силовых тренировок у нетренирующихся женщин Staron et al. [67] отметили значительное уменьшение количества волокон типа IIb (16,2% до тренировок и 2,7% после тренировок) и параллельное увеличение количества волокон IIa типа (от 32,5% к 39,3%). Staron et al. [71] заметили точно такой же эффект и после более короткого периода тренировок (6 недель). Здесь тоже было отмечено значительное уменьшение количества волокон типа IIb (24,9% до тренировок и 6,7% после тренировок).

Чтобы определить время адаптации мышц при начале силовых тренировок, Staron et al. [63] делали биопсию в начале тренировочного процесса и повторяли ее каждые две недели на протяжении восьми недель у нетренированных мужчин и женщин. Значительное уменьшение количества волокон II b типа было выявлено у женщин уже после второй недели тренировок (4 полные тренировки), а у мужчин после четвертой (восемь тренировок). После

восьми недель тренировок процентное соотношение волокон IIb типа уменьшилось с 21,4% до 7,9%, а общее количество волокон уменьшилось с 20,7% до 9,5%. Авторы сделали вывод, что период действия изменений фенотипической экспрессии определенных сократительных белков может появиться всего после нескольких тренировок.

Примечательно, что Andersen and Aagaard [70] выяснили, что прекращение тренировок на 90 дней после 90 дней интенсивных силовых тренировок у нетренированных мужчин вызывает чрезмерный рост количества волокон IIb (IIx) типа, которые превышают цифры, показанные до и после тренировок (18,8% против 10,2% против 4,1% соответственно). Это соотносится со значительным уменьшением количества процента волокон IIa типа. Авторы считают, что этот чрезмерный рост произошел из-за внезапного прекращения стимуляции мышц.

Обобщив эту информацию, можно подтвердить утверждение, что изменение композиции мышечных волокон (IIa – IIb) требует энергии, а это может показать существование силовой адаптации. Согласно Bottinelli et al. [72] волокна IIb типа показывают наивысшее напряжение, волокна IId(x) и IIa – среднее, а волокна I типа самое маленькое напряжение. Следовательно, дисбаланс между требуемой энергией и энергопитанием может служить серьезным сигналом к правильному проявлению типа волокна [73] и может представить возможный механизм, лежащий в основе перехода между подтипами волокон.

3.3. Мышечная сила

Развитие силовых качеств – это результат скоординированной работы нескольких процессов [9]. Возможностью произвести максимальное усилие зависит как от нервного, так и от мышечного компонента. Несколько исследований доказали, что силовые тренировки от 6-21 неделю приводят к значительному увеличению максимальной динамической силы [15,17,26,29,52,66].

Все эти исследования подчеркивают, что раннее увеличение силы в основном зависит от адаптации нервной системы, а гипертрофический эффект появляется только на более поздних стадиях тренировочного процесса.

Кроме того, установлено, что мышечная сила пропорциональна площади поперечного сечения мышечного волокна (CSA) [75-77]. Тем не менее, не все исследования силовых тренировок показали увеличение мышечной силы и значительные изменения в площади поперечного сечения волокна [8,63]. Это подтверждает теорию, что адаптация нервной системы – основной механизм увеличения мышечной силы на ранних стадиях (первые 6-8 недель) силовых тренировок [9,74]. На более поздних стадиях (12-26 недели) постепенное увеличение размера миофибрилл (гипертрофия) и возможно, переход более быстрых волокон (Ia в IIb и наоборот) увеличивают силу за счет продолжительности тренировок [52,63].

Хотя мужчины обычно сильнее женщин [78], оба пола одинаково реагируют на силовые тренировки [65,66,79]. Abe et al. [66] изучали адаптацию скелетных мышц в ходе прогрессирующей 12-недельной серии силовых тренировок (для всего тела, 6 упражнений, 4 сета по 8-12 повторов на 60-70%, от максимума, три раза в неделю) у 50 нетренированных мужчин и женщин среднего возраста. Результаты в упражнениях на разгибание голени и жим лежа проверялись на первой тренировке, а затем на 2, 4, 6, 8 и 12 неделях тренировки. У женщин сила значительно увеличилась на 4 неделе. У мужчин вырос показатель в разгибании голени на 2 неделе, а в жиме лежа на 6 неделе. Соотношение увеличение силы в разгибании голени и жиме лежа были 19% и 19% у мужчин, и 19% и 27% у женщин. Авторы сделали вывод, что увеличение силы ко времени тренировок у мужчин и женщин было одинаковое.

4. ВЫВОДЫ

Популярность силовых тренировок значительно выросла за последние 25 лет [80] в связи с проведением многих исследований, которые доказали, что силовые тренировки – это не только эффективный метод улучшить нервно-мышечную функцию, но и хороший способ улучшить здоровье [1,3,10,80-82]. Кроме того, силовая тренировка рекомендуется при предотвращении или лечении некоторых патологических состояний [83]. В связи с этим, многие профессиональные и государственные оздоровительные учреждения включают силовые тренировки в свои программы [4,80]. Deschenes and Kramer [80] подчеркивают, что первоначальное состояние здоровья и физической подготовки вместе со специальной программой положительно влияют на уровень нервно-мышечной адаптации. В конечном счете, именно от вариации переменных программы тренировок зависит, насколько нервно-мышечная и нейроэндокринная системы, а также и опорно-двигательный аппарат адаптируются к сильной физической нагрузке и постоянным силовым тренировкам. Следовательно, те люди, которые вовлечены в разработку силовой тренировки (тренеры, врачи реабилитации, физиологи и т.д.) должны обладать фундаментальными знаниями построения программ тренировок и важности ее практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hass CJ, Feigenbaum MS, Franklin BA. Prescription of resistance training for healthy populations. *Sports Med* 2001; 31: 953-64
2. Fleck SJ, Kraemer WJ. Resistance training: basic principles part 1. *Phys Sportsmed* 1988; 16: 160-71
3. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. *Curr Sports Med Rep* 2002; 1: 165-71
4. American College of Sports Medicine. Position Stand: progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 364-80
5. DeLorme TL. Restoration of muscle power by heavy resistance exercises. *J Bone Joint Surg Am* 1945; 27: 645-67

6. Capen EK. Study of four programs of heavy resistance exercises for the development of muscular strength. *Res Q* 1956; 27: 132-42
7. O'Shea P. Effects of selected weight training programs on the development of strength and muscle hypertrophy. *Res Q* 1966; 37: 95-102
8. Thorstensson A, Karlsson J, Viitasalo JH, et al. Effect of strength training on EMG of human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1976; 98: 232-6
9. Sale DG. Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 1988; 20 (5 Suppl.): 135-45
10. Feigenbaum MS, Pollock ML. Prescription of resistance training for health and disease. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 38-45
11. Kraemer WJ. Exercise prescription in weight training: manipulating program variables. *Natl Strength Cond Assoc J* 1983; 5: 58-61
12. DeLorme TL, Watkins AL. Techniques of progressive resistance exercise. *Arch Phys Med* 1948; 29: 263-73
13. Colliander E, Tesch PA. Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiol Scand* 1990; 140: 31-9
14. Dudley GA, Tesch PA, Miller BJ, et al. Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training. *Aviat Space Environ Med* 1991; 62: 543-50
15. O'Hagan FT, Sale DG, MacDougall JD, et al. Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 1210-9
16. Ostrowski KJ, Wilson GJ, Weatherby R, et al. The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *J Strength Cond Res* 1997; 11: 148-54
17. Tarpinning KM, Wiswell RA, Hawkins SA, et al. Influence of weight training exercise and modification of hormonal response on skeletal muscle growth. *J Sci Med Sports* 2001; 4: 431-46
18. MacDougall JD. Adaptability of muscle to strength training: a cellular approach. In: Saltin B, editor. *Biochemistry of exercise. VI. Champaign (IL): Human Kinetics: 1986: 501-13*
19. Keeler LK, Finkelstein LH, Miller W, et al. Early-phase adaptations of traditional-speed vs superslow resistance training on strength and aerobic capacity in sedentary individuals. *J Strength Cond Res* 2001; 15: 309-14
20. Kraemer RR, Kilgore JL, Kraemer GR, et al. Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 1346-52

21. Kraemer WJ, Dudley GA, Tesch PA, et al. The influence of muscle action on the acute growth hormone response to resistance exercise and short-term detraining. *Growth Horm IGF Res* 2001; 11: 75-83
22. Durand RJ, Castracane VD, Hollander DB, et al. Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 937-43
23. Gotshalk LA, Loebel CC, Nindl BC, et al. Hormonal responses to multiset versus single-set heavy-resistance exercise. *Can J Appl Physiol* 1997; 22: 244-55
24. Raastad T, Bjoro T, Hallen J. Hormonal responses to high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82: 121-8
25. Smilios I, Pilianidis T, Karamouzis M, et al. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 644-54
26. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Kraemer WJ, et al. Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med* 2003; 24: 410-8
27. Judge LW, Moreau C, Burke JR. Neural adaptations with sport-specific resistance training in highly skilled athletes. *J Sports Sci* 2003; 21: 419-27
28. McBride JM, Blak JB, Triplett-McBride T. Effect of resistance exercise volume and complexity on EMG, strength, and regional body composition. *Eur J Appl Physiol* 2003; 90: 626-32
29. Campos GER, Luecke TJ, Wendeln HK, et al. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 2002; 88: 50-60
30. Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res* 1999; 13: 289-304
31. Baechle TR, Earle RW, Wathen D. Resistance training. In: Baechle TR, Earle RW, editors. *Essentials of strength training and conditioning*. 2nd ed. Champaign (IL): Human Kinetics, 2000: 395-425
32. McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1984; 52: 139-55
33. Kraemer WJ, Fleck SJ, Deschenes M. A review: factors in exercise prescription of resistance training. *Natl Strength Cond Assoc J* 1988; 10: 36-41
34. Baker D, Wilson G, Carlyon R. Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res* 1994; 8: 235-42
35. Paulsen G, Myklestad D, Raadtad T. The influence of volume of exercise on early adaptations to strength training. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 115-20

36. Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, et al. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 456-64
37. Hickson JF, Buono MJ, Wilmore JH, et al. Energy cost of weight training exercise. *Natl Strength Cond Assoc J* 1984; 6: 22-3
38. Sforzo GA, Touey PR. Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *J Strength Cond Res* 1996; 10: 20-4
39. Fahey TD, Rolph R, Moungmee P, et al. Serum testosterone, body composition, and strength of young adults. *Med Sci Sports* 1976; 8: 31-4
40. Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA, et al. Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol* 1997; 82: 49-54
41. Kraemer WJ, Ratamess NA. Endocrine responses and adaptations to strength and power training. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003: 361-86
42. Kraemer WJ, Gordon SE, Fleck SJ, et al. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 1991; 12: 228-35
43. Kraemer WJ. A series of studies: the physiological basis for strength training in American football: fact over philosophy. *Strength Cond Res* 1997; 11: 131-42
44. Kraemer WJ, Noble BJ, Clark MJ, et al. Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int Sports Med* 1987; 8: 247-52
45. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol* 1990; 69: 1442-50
46. Harris RC, Edwards RH, Hultman E, et al. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch* 1976; 367: 137-42
47. Larson GD, Potteiger JA. A comparison of three different intervals between multiple squat bouts. *J Strength Cond Res* 1997; 11: 115-8
48. Pereira MIR, Gomes PSC. Movement velocity in resistance training. *Sports Med* 2003; 33: 427-38
49. Westcott WL, Winett RA, Anderson ES, et al. Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness* 2001; 41: 154-8

50. Hunter GR, Seelhorst D, Snyder S. Comparison of metabolic and heart rate responses to super slow vs traditional resistance training. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 76-81
51. Braith RW, Graves JE, Pollock ML, et al. Comparison of 2 vs days/week of variable resistance training during 10- and 18-week programs. *Int J Sports Med* 1989; 10: 450-4
52. Carroll TJ, Abernethy PJ, Logan PA, et al. Resistance training frequency: strength and myosin heavy chain responses to two and three bouts per week. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1998; 78: 270-5
53. Haddad F, Adams GR. Acute cellular and molecular responses to resistance exercise. *J Appl Physiol* 2002; 93 (1): 394-403
54. Goldberg AL, Etlinger JD, Goldspink DF, et al. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports* 1975; 7 (3): 185-98
55. Kadi F, Eriksson A, Holmner S, et al. Cellular adaptation of the trapezius muscle in strength-trained athletes. *Histochem Cell Biol* 1999; 111 (3): 189-95
56. Shoepe TC, Stelzer JE, Garner DP, et al. Functional adaptability of muscle fibers to long-term resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35 (6): 944-51
57. Bhasin S, Storer TW, Berman N, et al. The effects of supraphysiologic doses of testosterone on muscle size and strength in normal men. *N Engl J Med* 1996; 335 (1): 1-7
58. McCall GE, Byrnes WC, Fleck SJ, et al. Acute and chronic hormonal responses to resistance training designed to promote muscle hypertrophy. *Can J Appl Physiol* 1999; 24 (1): 96-107
59. Tomas FM, Munro HN, Young VR. Effect of glucocorticoid administration on the rate of muscle protein breakdown in vivo in rats, as measured by urinary excretion of N tau-methylhistidine. *Biochem J* 1979; 178: 139-46
60. Young VR, Munro HN. Ntau-methylhistidine (3-methylhistidine) and muscle protein turnover: an overview. *Fed Proc* 1978; 37: 2291-300
61. Brooke MH, Kaiser KK. Muscle fiber types: how many and what kind? *Arch Neurol* 1970; 23 (4): 369-79
62. MacDougall JD, Elder GC, Sale DG, et al. Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur Appl Physiol Occup Physiol* 1980; 43 (1): 25-34
63. Staron RS, Karapondo DL, Kraemer WJ, et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. *J Appl Physiol* 1994; 76: 1247-55

64. Kraemer WJ, Staron RS, Hagerman FC, et al. The effects of short-term resistance training on endocrine function in men and women. *Eur J Appl Physiol* 1998; 78: 69-76
65. Cureton KJ, Collins MA, Hill DW, et al. Muscle hypertrophy in men and women. *Med Sci Sports Exerc* 1988; 20 (4): 338-44
66. Abe T, DeHoyos DV, Pollock ML, et al. Time course for strength and muscle thickness changes following upper and lower body resistance training in men and women. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81 (3): 174-80
67. Staron RS, Malicky ES, Leonardi MJ, et al. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol* 1990; 60: 71-9
68. Adams GR, Hather BM, Baldwin KM, et al. Skeletal muscle myosin heavy chain composition and resistance training. *J Appl Physiol* 1993; 74 (2): 911-5
69. MacDougall JD. Hypertrophy and hyperplasia. In: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 2003: 252-64
70. Andersen JL, Aagaard P. Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle Nerve* 2000; 23: 1095-104
71. Staron RS, Leonardi MJ, Karapondo DL, et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol* 1991; 70 (2): 631-40
72. Bottinelli R, Canepari M, Reggiani C, et al. Myofibrillar ATPase activity during isometric contraction and isomyosin composition in rat single skinned muscle fibres. *J Physiol* 1994; 481: 663-75
73. Pette D. Training effects on the contractile apparatus. *Acta Physiol Scand* 1998; 162 (3): 367-76
74. Moritani T, deVries HA. Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med* 1979; 58 (3): 115-30
75. Maughan RJ, Watson JS, Weir J. Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J Physiol* 1983; 338: 37-49
76. Maughan RJ. Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area: implications for training. *Sports Med* 1984; 1 (4): 263-9
77. Sale DG, MacDougall JD, Alway SE, et al. Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *J Appl Physiol* 1987; 62 (5): 1786-93
78. Garhammer J. A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *Int J Sports Biomech* 1991; 7 (1): 3-11

79. Hickson RC, Hidaka K, Foster C, et al. Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J Appl Physiol* 1994; 76 (2): 663-70
80. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and physiologic adaptations to resistance training. *Am J Phys Med Rehabil* 2002; 81 (11 Suppl.): S3-16
81. Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, et al. Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol* 1988; 64 (3): 1038-44
82. Pyka G, Lindenberger E, Charette S, et al. Muscle strength and fiber adaptations to a year-long resistance training program in elderly men and women. *J Gerontol* 1994; 49 (1): M22-7
83. Pollock ML, Franklin BA, Balady GJ, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benecomposition fits, rationale, safety, and prescription. *Circulation* 2000; 101 (7): 828-33

Correspondence and offprints: Dr *Stephen P. Bird*, School of Human Movement Studies, Charles Sturt University, Allen House 2.13, Panorama Ave, Bathurst, NSW 2795, Australia. mail: sbird@csu.edu.au

Перевод осуществляли магистранты 2 года заочного обучения: М.И. Голубев, В.Ю. Миронов, А.В. Терсков, К.В. Торжаков, С.С. Перелыгин, М.А. Белый, Е.Г. Железняк, К.В. Шубина.

Редакция текста перевода – А.В. Самсонова
30.12.2013