Дата публикации: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_24
УДК [612.173+616.127]:796.015

Publication date: 01.12.2024
DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_24
UDC [612.173+616.127]:796.015

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

В.В. Сверчков, Е.В. Быков, С.Г. Сериков
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный университет физической культуры», г. Челябинск, Россия

Аннотация. В последнее время тренировки с ограничением кровотока были предложены как эффективный способ увеличения мышечной силы и гипертрофии мышц у широкого круга населения. С увеличением числа исследований данного тренировочного вмешательства, возросло число специалистов, практикующих этот подход. Целью данного обзора является предоставление краткого руководства о методических подходах к организации тренировочного процесса, сочетающего в себе низкоинтенсивные силовые тренировки с ограничением кровотока. В данном обзоре предоставлена информация о типах ограничительных устройств, определении давления в манжете, подборе интенсивности сокращения мышц, объеме выполняемой работы, определении пауз отдыха между подходами, частоте тренировок в неделю и продолжительности тренировочных вмешательств. Данные рекомендации помогут специалистам внедрять протоколы силовых тренировок с ограничением кровотока как в спортивную, так и в реабилитационную практики.

Ключевые слова: тренировки с ограничением кровотока, тренировка Kaatsu, окклюзионный тренинг, силовая тренировка, тренировка BFR.

METHODICAL APPROACHES TO ORGANIZING RESISTANCE EXERCISE WITH BLOOD FLOW RESTRICTION (LITERATURE REVIEW)

V.V. Sverchkov, E.V. Bykov, S.G. Serikov
Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Recently, blood flow restriction training has been proposed as an effective way to increase muscle strength and muscle hypertrophy in the general population. With the increasing number of studies on this training intervention, the number of experts practicing this training approach has increased. The purpose of this review is to provide a brief guide to the methodical approaches to organizing the training process that combines low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. This review provides information on the types of restrictive devices, determination of cuff pressure, selection of muscle contraction intensity, volume of work performed, determination of rest pauses between sets, frequency of training sessions per week and duration of training interventions. These recommendations will help the experts implement resistance exercise protocols with blood flow restriction in both sports and rehabilitation practices.

Keywords: blood flow restriction training, Kaatsu training, occlusion training, resistance training, BFR training.

Введение. Тренировки с ограничением кровотока (ТОК) все чаще используются в качестве альтернативного метода тренировки для тех, кто не может выполнять традиционные протоколы аэробных или силовых упражнений, например для пожилых лиц, лиц с саркопенией, некоторых клинических групп населения, а также лиц, восстанавливающихся после различных травм или проходящих реабилитацию. ТОК также могут служить дополнительной методикой тренировки в сочетании с традиционными протоколами упражнений для улучшения различных видов адаптаций [1]. К основным адаптациям, наблюдаемым после ТОК, относятся:

увеличение размера и силы мышц, улучшение физических функций, повышение кардиореспираторной выносливости, улучшение параметров состава тела, улучшение некоторых метаболических показателей, модуляция боли, снижение артериального давления, активация ангиогенеза, повышение минеральной плотности костной ткани [2-5].

Хотя долгосрочные преимущества ТОК, включая увеличение размера и силы мышц, мышечной выносливости, изменение некоторых физиологических показателей широко освещались в научной литературе, основные механизмы, ответственные за эти адаптации, остаются неизвестными. Одним из наиболее часто упоминаемых явлений, которое, как считается, связано с положительной адаптацией ТОК, является метаболический стресс [6]. Хотя ТОК обычно выполняются с низкими нагрузками (20-50% от повторного максимума), большинство исследований сообщают о выраженной метаболической реакции, что подтверждается накоплением продуктов метаболизма, таких как лактат, дипротонированный фосфат, дезоксигенированный гемоглобин, неорганический фосфат и ионы водорода, а также повышением уровней гормона роста и инсулиноподобного фактора роста-1, которые, в свою очередь, могут активировать анаболические каскады в скелетной мышце [6, 7]. К тому же, накопление продуктов метаболизма в ишемизированной мышце, как полагают, связано с активацией афферентных нервных волокон групп III и IV, которые ингибируют α-мотонейроны, иннервирующие медленные мышечные волокна, тем самым требуя раннего рекрутирования быстро сокращающихся мышечных волокон [8]. Еще одним потенциальным механизмом положительных адаптаций, связанных с ТОК, является мышечный отек, возникающий после данного метода тренировок, что также может активировать анаболические реакции в мышечной ткани [9]. Изменение молекулярной внутриклеточной сигнализации после ТОК путем изменения анаболических каскадов, включая мишень рапамицина у млекопитающих и ингибирование белков, таких как MuRF1, Atrogin-1 и myostatin, также способствует положительным эффектам ТОК [10].

В то время как растет количество исследований по применению ТОК, также увеличивается и число практикующих специалистов, использующих данный подход в тренировках. При этом многие практикующие специалисты не понимают, как использовать ТОК в соответствии с текущими рекомендациями.

Цель исследования – проанализировать методические параметры применения ТОК у разных групп населения для повышения эффективности тренировочного вмешательства и уменьшения побочных явлений. Предполагается, что это поможет практикующим специалистам быть более информированными по применению ТОК в спортивной тренировке или в клинической практике, а также понимать вопросы безопасности, связанные с этим видом вмешательств.

Методы и организация исследования. Был проведен комплексный поиск литературы, соответствующий цели исследования, с использованием баз данных PubMed/ MEDLINE, Cochrane Library, Web of Science, Scopus и Google Scholar. Поиск производился по следующим ключевым словам: «blood flow restriction training» (тренировка с ограничением кровотока), «methodology blood flow restriction training» (методология тренировок с ограничением кровотока), «blood flow restriction training meta-analysis» (тренировка с ограничением кровотока мета-анализ), «blood flow restriction training randomized controlled trial» (тренировка с ограничением кровотока рандомизированное контролируемое исследование), «blood flow restriction training systematic review» (тренировка с ограничением кровотока систематический обзор). Критерии включения для этого обзора были сосредоточены на исследованиях, в которых упоминается о таких параметрах, как тип ограничительных устройств, ширина манжеты или эластичного бинта, давление, оказываемое на конечность, продолжительность окклюзии,

количество повторов, количество подходов, паузы отдыха, непрерывный или прерывистый вариант давления, количество тренировок в неделю. Критериями невключения являлись обзорные статьи, несистематические обзоры, исследования на животных моделях. Даты запросов – сентябрь-октябрь 2024 года, глубина запроса – 2007-2024 гг. В общей сложности было проанализировано 147 публикаций, в окончательный анализ вошло 39 статей.

Для обеспечения качества обзора литературы использовалась шкала оценки повествовательных обзорных статей (SANRA; Scale for the Assessment of Narrative Review Articles) [11]. Шесть пунктов, которые образуют шкалу, оцениваются целыми числами следующим образом: 0 (низкое качество), 1 (среднее качество), 2 (высокое качество). Сумма баллов шкалы предназначена для измерения качества повествовательной обзорной статьи и охватывает следующие пункты: объяснение значимости обзора (пункт 1), изложение целей обзора (пункт 2), описание поиска литературы (пункт 3), методы цитирования (пункт 4), качество доказательств (пункт 5), представление данных о конечных точках (пункт 6). Общая оценка для текущего обзора была рассчитана как 12 баллов.

Результаты исследования и их обсуждение. *Типы ограничительных манжет.* Обычно устройства для ограничения кровотока делятся на две основные группы: традиционные (используемые в лабораторных условиях) и практические (используемые в полевых условиях). Лабораторные устройства для ТОК включают оригинальные «KAATSU-Master» (Япония), персонализированную систему «Delfi» (Канада) и систему быстрого надувания манжет «Hokanson» (США). Для оценки индивидуального значения давления, как правило, используется ручной доплеровский датчик для определения полной артериальной окклюзии (arterial occlusion pressure; AOP). По мере того, как ТОК становятся все более популярны, появляются новые модели для ограничения кровотока («AirBands», «Smart Cuffs», «Edge Restriction System»). Многие современные системы представляют собой устройства с электронным управлением, которые способны находить индивидуальное значение AOP на основе различных запатентованных систем, а затем подбирать необходимый процент давления во время выполнения упражнений. Хотя эти устройства точны и относительно просты в использовании, они довольно дороги и в некоторой степени ограничены лабораторными или клиническими условиями, что затрудняет выполнение ТОК в полевых условиях, таких как спортзалы, фитнес-центры, реабилитационные центры. Таким образом, в 2009 году J. Loenneke и T. Pujol [12] предложили использовать эластичную ленту на бедро шириной 7,6 см («Harbinger Red-Line», Калифорния, США) в качестве альтернативы традиционным ТОК, назвав этот способ ограничения кровотока практическим ТОК.

Определение давления в манжете. Величина давления, необходимая для артериальной окклюзии, связана с рядом индивидуальных характеристик конечности: формой, шириной и длиной манжеты, размером конечности (количество жира и мышц) и артериальным давлением человека. Более крупная конечность потребует большего давления манжеты для полного ограничения артериального кровотока, то же самое справедливо для манжет различной ширины. В ранних исследованиях применялось абсолютное давление к каждому человеку независимо от ширины манжеты и размера конечности. Это давление варьировалось от абсолютных значений: от 50 мм рт. ст. [13] до 300 мм рт. ст. [14]. Хотя большинство исследований выявили полезные мышечные адаптации при абсолютных значениях давления, применяемых к каждому человеку, известно, что слишком высокое давление во время тренировок может приводить к высоким гемодинамическим характеристикам и вызывать дискомфорт [15]. После этого некоторые исследователи предположили, что давление можно установить относительно размера конечности,

ширины и материала манжеты, а также артериального давления, определив индивидуальное окклюзионное давление (AOP), которое будет использоваться во время упражнений. A. Das и соавт. [16] в своем систематическом обзоре обнаружили, что значимые результаты наблюдаются при давлении в диапазоне 50-80% AOP, при этом эффект снижается по обе стороны этого диапазона из-за недостаточного метаболического стресса или более раннего утомления. H. Chang с соавт. [17] обнаружили, что силовые ТОК, применяемые с возрастающим и индивидуализированным давлением, достигали прироста мышечной силы, аналогичного высокоинтенсивным нагрузкам (p=0,8, SMD (standardized mean deviation – стандартизированная средняя разница) = -0,05, 95% ДИ (доверительный интервал): от -0,44 до 0,34; p=0,68, SMD= -0,04, 95% ДИ: от -0,23 до 0,15). При этом прирост мышечной силы, полученный с помощью ТОК, применяемого с абсолютным давлением, был ниже, чем после высокоинтенсивных нагрузок (p<0,05, SMD=-0,45, 95% ДИ: от -0,71 до -0,19). Более того, прирост мышечной силы, полученный при ТОК, применяемом с прерывистым давлением (во время паузы отдыха манжета снимается), был аналогичен приросту, полученному при высокоинтенсивных нагрузках (p=0,88, SMD=-0,02, 95% ДИ: от -0,27 до 0,23), но прирост мышечной силы с непрерывным давлением показал менее выраженный прирост по сравнению с высокой интенсивностью (p<0,05, SMD=-0,3, 95% ДИ: от -0,48 до -0,11). Еще один систематический обзор и мета-анализ продемонстрировал, что увеличение давления в манжете может приводить к более высокому приросту массы мышц, но данные эффекты не были статистически значимыми (оценка коэффициента=0,006, 95% ДИ=0-0,012, скорректированный R^2=0,30, p=0,057) [4].

Позже начали появляться исследования оценки давления при использовании практических ТОК. Так, J. Wilson с соавт. [18] обнаружили, что эластичная лента приводила к полной венозной, но не артериальной окклюзии, когда ее затягивали на бедре на основе перцептивной реакции 7 (умеренное давление без боли) по шкале восприятия давления от 0 до 10. Этот способ наложения эластичных бинтов в соответствии с реакцией 7 из 10 по шкале воспринимаемого давления впоследствии использовался в нескольких исследованиях [19, 20]. Более поздние результаты продемонстрировали, что шкала воспринимаемого давления не является надежным инструментом для оценки артериальной окклюзии [21]. После этого несколько авторов предложили использовать давление для практических ТОК на основании окружности конечности. Так, в 2018 году T. Abe и соавт. [22] продемонстрировали, что эластичная лента шириной 5 см, затянутая на верхней конечности на 10% от окружности плеча в покое, соответствует 40% AOP, а давление в 20% от окружности плеча соответствует 80% AOP.

J. Oliveira с соавт. [23] сравнивали гормональные и метаболические реакции между силовыми тренировками при использовании пневматических и непневматических (эластичных) манжет. Не было обнаружено разницы в концентрации лактата крови, концентрации гормона роста и инсулиноподобного фактора роста до, через 10 и 15 минут после упражнения. В рандомизированном исследовании J. Duarte de Oliveira и соавт. [24] применение пневматической и непневматической манжет во время силовых тренировок приводило к одинаковым гемодинамическим реакциям, рейтингу воспринимаемого напряжения и рейтингу восприятия боли у здоровых тренированных мужчин. Также T. Abe и соавт. [22] наблюдали схожее снижение кровотока между пневматическими (давлением 40 и 80% от AOP) и эластичными (с давлением 10 и 20 % от длины покоя на основании окружности руки) манжетами. Более того, недавний систематический обзор и мета-анализ продемонстрировал, что как регулируемые, так и нерегулируемые системы давления для ограничения кровотока приводили к схожим

адаптациям, таким как изменение мышечной силы, размера мышц и физических функций [25]. Таким образом, исследования, сравнивающие гормональные, метаболические, гемодинамические и перцептивные реакции после различных видов ограничительных манжет (пневматические против эластичных), продемонстрировали схожие реакции.

Вес отягощения при тренировках с ограничением кровотока. Давление, применяемое во время ТОК, может влиять на вес отягощения во время выполнения подхода. При использовании более высокого веса отягощения могут потребоваться более низкие значения давления, и наоборот. Для большинства людей упражнения с нагрузками, соответствующими 20-40% от повторного максимума (1 ПМ), достаточны для увеличения мышечной силы и массы [26]. Когда используемые нагрузки находятся в пределах 20% ПМ, может потребоваться более высокое давление (~80% АОР), необходимое для того, чтобы вызвать рост мышц и силы [4, 17]. Таким образом, использование 20-40% ПМ при силовых ТОК будет достаточно для повышения уровня мышечных адаптаций.

Объем нагрузки (количество повторов и подходов) при тренировках с ограничением кровотока. В научной литературе, изучающей силовые ТОК, часто используется схема, состоящая из 4 подходов с общим числом повторений 75 (30-15-15-15), либо выполнение 3-5 подходов до концентрического волевого отказа [4, 27, 28]. Кроме того, выполнение подхода до концентрического отказа может не потребоваться для изменения площади поперечного сечения. Так, P. Sieljacks и соавт. [29] установили, что силовая ТОК, выполненная не до концентрического отказа, вызывала схожее увеличение размера скелетных мышц по сравнению с силовой ТОК, выполненной до отказа в следующих регионах (диапазон): четырехглавой мышце бедра (2,5-3,8%), латеральной широкой мышце бедра (8,1-8,5%) и прямой мышце бедра (7,9-25,0%). Мышечная сила (6,8-11,5%) и сила-выносливость (13,9-18,6%) также увеличились в одинаковой степени в обеих группах. При этом ниже воспринимаемые напряжение и дискомфорт, а также более низкие значения отсроченных мышечных болей были зарегистрированы в группе без отказа по сравнению с отказной группой. При этом удвоение объема тренировочной нагрузки при силовых ТОК не приводит к дальнейшему увеличению силы и размера скелетных мышц [30], хотя данная тема требует дальнейшего изучения. Соответственно, 75 повторений в четырех подходах (30-15-15-15) или же выполнение 3-5 подходов до концентрического волевого отказа (который не всегда требуется) являются оптимальными вариантами для изменения мышечной функции при силовых ТОК.

Паузы отдыха между подходами во время тренировок с ограничением кровотока. Периоды отдыха между сетами, используемые во время силовых ТОК, как правило, короткие. В большинстве систематических обзоров и мета-анализов упоминаются 30-60-секундные паузы отдыха между подходами [4, 17, 26, 27, 31]. Мета-анализ, проведенный J. Loenneke с соавт. [32] продемонстрировал одинаковую мышечную адаптацию, как при 30-секундных, так и при 60-секундных паузах отдыха. Таким образом, использование 30-60-секундных пауз отдыха между сетами силовых ТОК является оптимальным для изменения мышечной функции как у здоровых лиц, так и у различных клинических групп населения. В некоторых случаях не всегда требуется поддержание ограничения кровотока в период пауз отдыха. Так, в исследовании C. Schwiete и соавт. [33] силовые ТОК с прерывистым ограничением кровотока (снятие манжеты во время пауз отдыха) приводили к такому же приросту мышечной силы, гипертрофии мышц, устойчивости к утомлению, но более низким значениям воспринимаемого напряжения по сравнению с непрерывными ТОК (манжета в паузе отдыха остается накаченной). E. Freitas и соавт. [34] в своем рандомизированном контролируемом исследовании обнаружили сходные перцептивные реакции во время 1-го и 2-го подходов, но во

время 3-го и 4-го уровень воспринимаемого напряжения и дискомфорта был ниже во время прерывистого по сравнению с непрерывным вариантом ограничения кровотока. При этом оба варианта вызывали схожие реакции мышечной активности, концентрации лактата и мышечного отека после упражнений. При этом K. Okita и соавт. [35] обнаружили меньший метаболический стресс, определяемый снижением фосфокреатина и внутримышечного pH, в группе прерывистого ограничения кровотока по сравнению с непрерывным вариантом, но ограничение кровотока в паузе отдыха, снятие манжеты во время подхода вызывали такой же метаболический стресс, как и непрерывный вариант ограничения. Авторы предполагают, что надевание манжеты во время пауз отдыха может вызывать метаболическое замораживание, соответственно поддерживать метаболический стресс из-за снижения утилизации метаболитов, накопленных после подхода. Также T. Torma с соавт. [36] установили, что ограничение кровотока только во время пауз отдыха во время высокоинтенсивных силовых тренировок приводило к увеличению мРНК белков, которые регулируют ангиогенез, митохондриальный биогенез, гипертрофию и восстановление мышц. Таким образом, прерывистый вариант ограничения кровотока является жизнеспособной стратегией для изменения силы и массы скелетных мышц, который требует дальнейшего изучения для определения оптимальной дозы и времени воздействия на мышечные структуры.

Частота тренировок с ограничением кровотока. Американский колледж спортивной медицины рекомендует выполнять 2-3 силовые тренировки в неделю для новичков, 3-4 для умеренно подготовленных лиц и 4-5 тренировки в неделю для продвинутых взрослых лиц с целью увеличения мышечной силы и гипертрофии мышц [37]. В большинстве систематических обзоров и мета-анализов, изучающих силовые ТОК, проводились 2-4 разовые тренировки в неделю [4, 5, 17, 26, 27]. Обзор B. Scott и соавт. [38] продемонстрировал, что что 2-3 сеанса силовых ТОК в неделю с прогрессирующей перегрузкой достаточно для улучшения мышечной силы и гипертрофии. В некоторых исследованиях силовые ТОК проводились 2 раза в день. Так, низкоинтенсивные силовые ТОК, выполняемые 1-2 раза в день в течение 19 дней, приводили к увеличению максимальной изометрической силы разгибателей колена на 7,1% (через 5 дней после исследования) и 10,6% (через 12 дней после исследования) ($p<0,001$), площадь миофибрилл мышечных волокон как I, так и II типов увеличилась на 38% (на 8-ой день тренировочного вмешательства), 35-37% (через 3 дня после исследования) и 31-32% (через 10 дней после исследования) ($p<0,001$) у молодых здоровых мужчин [39]. Количество миогенных стволовых клеток на миофибриллу увеличилось с ТОК с 0,10±0,01 (до исследования) до 0,38±0,02 (на 8-ой день тренировочного вмешательства), 0,36±0,04 (через 3 дня после исследования) и 0,25±0,02 (через 10 дней после исследования) ($p<0,001$). Аналогично, количество миоядер на миофибриллу увеличилось с 2,49±0,07 (до исследования) до 3,30±0,22 (на 8-ой день тренировочного вмешательства), 3,20±0,16 (через 3 дня исследования) и 3,11±0,11 (через 10 дней после вмешательства) ($p<0,01$). В другом исследовании P. Ladlow и соавт. [40] низкоинтенсивные силовые ТОК, выполняемые 2 раза в день, привели к увеличению площади поперечного сечения четырехглавой мышцы бедра, 5 ПМ в упражнении «жим ногами» и 5 ПМ в упражнении «разгибание колена» ($p<0,01$), а также продемонстрировали значительные улучшения в тесте на баланс и многоступенчатом тесте локомоций ($p<0,01$) у лиц с травмами нижних конечностей. Таким образом, высокочастотные силовые ТОК (1-2 раза в день) могут быть использованы в условиях клинической реабилитации в течение коротких периодов времени (1-3 недели), однако в обычных условиях идеальными являются 2-3 сеанса в неделю.

Продолжительность тренировок с ограничением кровотока. Что касается продолжительности программ с ограничением кровотока, то, как упоминалось

выше, гипертрофия мышц и силовая адаптация наблюдались в короткие сроки, например в течение 1-3 недель [39, 40], что делает данный подход привлекательным для увеличения силы и массы скелетных мышц в течение короткого периода вмешательств, допустим, после травм или операций наопорно-двигательном аппарате. В большинстве же систематических обзоров и мета-анализов изучалось влияние силовых ТОК в течение периода времени более 3 недель [4, 5, 17, 26, 27].

Заключение. В данной обзорной статье приведены различные методические подходы для составления силовых тренировок в сочетании с ограничением кровотока, которые включают в себя выбор типа ограничительных устройств, определение давления в манжете, подбор интенсивности сокращения мышц, объема выполняемой работы, определение пауз отдыха между подходами, частоту тренировок в неделю и продолжительность тренировочных вмешательств. Данные рекомендации помогут специалистам внедрять протоколы силовых тренировок с ограничением кровотока как в спортивную, так и в реабилитационную практику.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effects of blood flow restriction training on physical fitness among athletes: a systematic review and meta-analysis / K. Yang, C. Chee, J. Abdul Kahar [et al] // Sci Rep. − 2024. − № 14(1). – P. 166–179.
2. Сверчков, В. В. Позитивное влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели обмена веществ у мужчин с метаболическим синдромом / В. В. Сверчков, Е. В. Быков // Журн. мед.-биол. исследований. − 2023. − Т. 11(3). − С. 310–320. [In English] Sverchkov V.V., Bykov E.V. Low-Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction Improves Metabolic Parameters in Men with Metabolic Syndrome. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 310–320. (in Russ.)
3. Сверчков, В. В. Влияние силовых тренировок с ограничением кровотока на состав тела у лиц с метаболическим синдромом: рандомизированное контролируемое исследование / В. В. Сверчков, Е. В. Быков // Вестник восстановительной медицины. − 2023. − № 22(3). − С. 59–65. [In English] Sverchkov V.V., Bykov E.V. Effect of Blood Flow-Restricted Strength Training on Body Composition: a Randomized Controlled Study of Patients with Metabolic Syndrome. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*, 2023, no. 22(3), pp. 59–65. (in Russ.)
4. Ma, F. Blood flow restriction combined with resistance training on muscle strength and thickness improvement in young adults: a systematic review, meta-analysis, and meta-regression / F. Ma, J. He, Y. Wang // Front Physiol. − 2024. – № 15. – P. 137–152.
5. Effects of blood flow restriction training on bone metabolism: a systematic review and meta-analysis / X. Wang, Y. Wang, X. Yang [et al] // Front Physiol. − 2023. – № 14. – P. 121–137.
6. Hormonal, immune, and oxidative stress responses to blood flow-restricted exercise / M. H. Hjortshoej, P. Aagaard, C. D. Storgaard [et al] // Acta Physiol (Oxf). – 2023. – № 239(2). – P. 140–153.
7. Aram, S. The effect of low-intensity suspension training with blood flow restriction on GH, IGF-1, and their association with physical fitness in young women / S. Aram, K. Khodaei, M. Zolfaghar Didani // Physiol Rep. – 2024. – № 12(15). – P. 161–176.
8. Brandner, C. R. Corticomotor Excitability is Increased Following an Acute Bout of Blood Flow Restriction Resistance Exercise / C. R. Brandner, S. A. Warmington, D. J. Kidgell // Front Hum Neurosci. – 2015. – № 9. – P. 652–667.
9. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling / J. P. Loenneke, C. A. Fahs, L. M. Rossow [et al] // Med Hypotheses. – 2012. – № 78(1). – P. 151–154.
10. Effects of Low-Load Blood Flow Restriction Training on Muscle Anabolism Biomarkers and Thrombotic Biomarkers Compared with Traditional Training in Healthy Adults Older Than 60 Years: Systematic Review and Meta-Analysis / R. Fabero-Garrido, M. Gragera-Vela, T. Del Corral [et al] // Life (Basel). – 2024. – № 14(3). – P. 411–425.

11. Baethge, C. SANRA-a scale for the quality assessment of narrative review articles / C. Baethge, S. Goldbeck-Wood, S. Mertens // Res Integr Peer Rev. – 2019. – № 4. – P. 5–17.
12. Lönnecke, J. P. Using occlusion training to create muscle hypertrophy / J. P. Lönnecke, T. Pujol // Strength and Conditioning Journal. – 2009. – № 31(3). – P. 77–84.
13. Blood flow restriction by low compressive force prevents disuse muscular weakness / A. Kubota, K. Sakuraba, S. Koh [et al] // J Sci Med Sport. – 2011. – № 14(2). – P. 95–99.
14. Cook, S. B. Effects of exercise load and blood-flow restriction on skeletal muscle function / S. B. Cook, B. C. Clark, L. L. Ploutz-Snyder // Med Sci Sports Exerc. – 2007. – № 39(10). – P. 1708–1713.
15. The effects of upper body exercise across different levels of blood flow restriction on arterial occlusion pressure and perceptual responses / K. T. Mattocks, M. B. Jessee, B. R. Counts [et al] // Physiol Behav. – 2017. – № 171. – P. 181–186.
16. Das, A. Is There a Minimum Effective Dose for Vascular Occlusion During Blood Flow Restriction Training? / A. Das, B. Paton // Front Physiol. – 2022. – № 13. – P. 838–851.
17. Muscle strength adaptation between high-load resistance training versus low-load blood flow restriction training with different cuff pressure characteristics: a systematic review and meta-analysis / H. Chang, J. Yan, G. Lu [et al] // Front Physiol. – 2023. – № 14. – P. 124–137.
18. Practical blood flow restriction training increases acute determinants of hypertrophy without increasing indices of muscle damage / J. M. Wilson, R. R. Lowery, J. M. Joy [et al] // J Strength Cond Res. – 2013. – № 27(11). – P. 3068–3075.
19. Perceptual responses: Clinical versus practical blood flow restriction resistance exercise / R. M. Miller, B. A. R. Galletti, K. K. Koziol [et al] // Physiol Behav. – 2020. – № 227. – P. 113–126.
20. Autonomic modulation following an acute bout of bench press with and without blood flow restriction / Y. L. Tai, E. M. Marshall, A. Glasgow [et al] // Eur J Appl Physiol. – 2019. – № 119(10). – P. 2177–2183.
21. The Perceived Tightness Scale Does Not Provide Reliable Estimates of Blood Flow Restriction Pressure / Z. W. Bell, S. J. Dankel, R. W. Spitz [et al] // J Sport Rehabil. – 2019. – № 29(4). – P. 516–518.
22. A method to standardize the blood flow restriction pressure by an elastic cuff / T. Abe, J. G. Mouser, S. J. Dankel [et al] // Scand J Med Sci Sports. – 2019. – № 29(3). – P. 329–335.
23. Does Acute Blood Flow Restriction with Pneumatic and Non-Pneumatic Non-Elastic Cuffs Promote Similar Responses in Blood Lactate, Growth Hormone, and Peptide Hormone? / J. Oliveira, Y. Campos, L. Leitão [et al] // J Hum Kinet. – 2020. – № 74. – P. 85–97.
24. Cardiovascular and Perceptual Responses to Resistance Training with Practical Blood Flow Restriction Induced by a Non-Elastic Band vs. Pneumatic Cuff: A Crossover Randomized Study / J. L. D. de Oliveira, J. G. Vieira, V. S. de Queiros [et al] // Percept Mot Skills. – 2023. – № 130(3). – P. 1152–1167.
25. Clarkson, M. J. Comparing adaptations from blood flow restriction exercise training using regulated or unregulated pressure systems: A systematic review and meta-analysis / M. J. Clarkson, B. McMahon, S. A. Warmington // Clin Rehabil. – 2024. – № 26. – P. 39–53.
26. Effects of Blood Flow Restriction Combined with Low-Intensity Resistance Training on Lower-Limb Muscle Strength and Mass in Post-Middle-Aged Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis / H. Chang, M. Yao, B. Chen [et al] // Int J Environ Res Public Health. – 2022. – № 19(23). – P. 156–172.
27. Effect of blood flow restriction training on health promotion in middle-aged and elderly women: a systematic review and meta-analysis / M. Feng, J. Li, J. Zhao [et al] // Front Physiol. – 2024. – № 15. – P. 139–153.
28. Effects of Blood Flow Restriction Training in Patients before and after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review and Meta-Analysis / E. Fraca-Fernández, L. Ceballos-Laita, H. Hernández-Lázaro [et al] // Healthcare (Basel). – 2024. – № 12(12). – P. 12–31.
29. Non-failure blood flow restricted exercise induces similar muscle adaptations and less discomfort than failure protocols / P. Sieljacks, R. Degn, K. Hollaender [et al] // Scand J Med Sci Sports. – 2019. – № 29(3). – P. 336–347.
30. Muscular adaptations after two different volumes of blood flow-restricted training / J. Martín-Hernández, P. Marín, H. Menéndez [et al] // Scand J Med Sci Sports. – 2013. – № 23(2). – P. 114–120.
31. Chronic hemodynamic adaptations induced by resistance training with and without blood flow restriction in adults: A systematic review and meta-analysis / A. Russo, G. Boppre, C. Schmidt, L. Bohn // Schmidt C Sports Med Health Sci. – 2023. – № 5(4). – P. 259–268.
32. Low intensity blood flow restriction training: a meta-analysis / J. P. Loenneke, J. M. Wilson, P. J.

Marín [et al] // Eur J Appl Physiol. – 2012. – № 112(5). – P. 1849–1859.
33. Effects of Resting vs. Continuous Blood-Flow Restriction-Training on Strength, Fatigue Resistance, Muscle Thickness, and Perceived Discomfort / C. Schwiete, A. Franz, C. Roth, M. Behringer // Front Physiol. – 2021. – № 12. – P. 663–678.
34. Perceptual responses to continuous versus intermittent blood flow restriction exercise: A randomized controlled trial / E. D. S. Freitas, R. M. Miller, A. D. Heishman [et al] // Physiol Behav. – 2019. – № 212. – P. 112–125.
35. Resistance training with interval blood flow restriction effectively enhances intramuscular metabolic stress with less ischemic duration and discomfort / K. Okita, S. Takada, N. Morita [et al] // Appl Physiol Nutr Metab. – 2019. – № 44(7). – P. 759–764.
36. Blood flow restriction in human skeletal muscle during rest periods after high-load resistance training down-regulates miR-206 and induces Pax7 / F. Torma, Z. Gombos, M. Fridvalszki [et al] // J Sport Health Sci. – 2021. – № 10(4). – P. 470–477.
37. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults / American College of Sports Medicine // Med Sci Sports Exerc. – 2009. – № 41(3). – P. 687–708.
38. Exercise with blood flow restriction: an updated evidence-based approach for enhanced muscular development / B. R. Scott, J. P. Loenneke, K. M. Slattery, B. J. Dascombe // Sports Med. – 2015. – № 45(3). – P. 313–325.
39. Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction / J. L. Nielsen, P. Aagaard, R. D. Bech [et al] // J Physiol. – 2012. – № 590(17). – P. 4351–4361.
40. Low-Load Resistance Training With Blood Flow Restriction Improves Clinical Outcomes in Musculoskeletal Rehabilitation: A Single-Blind Randomized Controlled Trial / P. Ladlow, R. J. Coppack, S. Dharm-Datta [et al] // Front Physiol. – 2018. – № 9. – P. 126–139.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Вадим Владимирович Сверчков – младший научный сотрудник НИИ олимпийского спорта, преподаватель кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3650-0624.
Евгений Витальевич Быков – доктор медицинских наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитацией, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, e-mail: bev58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7506-8793.
Сергей Геннадьевич Сериков – доктор педагогических наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, e-mail: serikov06@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3668-2459.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Vadim V. Sverchkov – Junior Researcher of the Research Institute of Olympic Sports, Lecturer of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: Vadim.Sverchkov@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3650-0624.
Evgenij V. Bykov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: bev58@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-7506-8793.
Sergej G. Serikov – Doctor of Pedagogical Sciences, Professor, Rector of the Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, e-mail: serikov06@mail.ru, ORCID: 0000-0002-3668-2459.

Для цитирования: Сверчков, В. В. Методические подходы к организации силовых тренировок с ограничением кровотока (обзор литературы) / В. В. Сверчков, Е. В. Быков, С. Г. Сериков // Современные вопросы биомедицины. – 2024. – Т. 8. – № 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_24

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V., Serikov S.G. Methodical approaches to organizing resistance exercise with blood flow restriction (literature review). *Modern Issues of Biomedicine*, 2024, vol. 8, no. 4(30). DOI: 10.24412/2588-0500-2024_08_04_24