НАУЧНО-СПОРТИВНЫЙ ЖУРНАЛ
NSJ.URALGUFK.RU

Рубрика «Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия, медико-социальная реабилитация»

Применение тренировок с ограничением кровотока в реабилитационной практике и адаптивной физической культуре (обзор литературы)

Аннотация:

Тренировка с ограничением кровотока — это метод, интерес к которому растет в последнее десятилетие. Данный подход был признан дополнительным инструментом в реабилитационной медицине, спортивных и клинических группах населения. Низкоинтенсивные аэробные или силовые тренировки в сочетании ограничением кровотока способствуют сопоставимому увеличению мышечной массы, силы и кардиореспираторной выносливости, наблюдаемому во время высокоинтенсивных упражнений без ограничения кровотока. Этот метод имеет потенциальные терапевтические преимущества для лечения и реабилитации людей с функциональными нарушениями, таких как пожилые люди, пациенты с ортопедическими, сердечно-сосудистыми, неврологическими, метаболическими заболеваниями. В этом обзоре мы приводим немногочисленные исследования применения тренировок с ограничением кровотока на различных клинических группах населения.

Ключевые слова: Метаболический синдром, Мышечная гипертрофия, Опорно-двигательный аппарат, Саркопения, Сердечно-сосудистые заболевания, Тренировка с ограничением кровотока, Физическая реабилитация

Информация об авторах:

Быков Евгений Витальевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, проректор по научно-исследовательской работе, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия.
454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1.
Телефон: 8(351)2170358.
Эл. почта: bykovev@uralgufk.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7506-8793

Сверчков Вадим Владимирович – младший научный сотрудник НИИ олимпийского спорта, аспирант кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, Уральский государственный университет физической культуры. Челябинск, Россия.
454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1.
Эл. почта: Vadim.sverchkov@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3650-0624

Известно, что атрофия мышц связана с более высоким риском смертности от всех причин, сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний и рака среди населения в целом [1], а также с более высокой смертность у пациентов в критическом состоянии [2]. Таким образом, раннее выявление и лечение саркопении/атрофии мышц может иметь решающее значение для снижения риска смертности и обеспечения здорового долголетия.

Долгое время считалось, что для достижения прироста мышечной массы и силы необходимы высокоинтенсивные силовые тренировки. Однако тренировки с ограничением кровотока (ТОК) в корне опровергли это предположение. Исследования последних десятилетий показали, что положительные эффекты силовых нагрузок могут быть достигнуты даже при небольшом внешнем отягощении, когда ограничивается приток крови к работающим мышцам и прерывается венозный возврат от работающей конечности к сердцу. Несколько систематических обзоров и метаанализов показали, что ТОК увеличивают мышечную силу, мышечную массу, выносливость и физическую работоспособность у здоровых молодых и пожилых лиц [3, 4]. Эти исследовательские данные предлагают многочисленные возможности применения ТОК и для клинических групп населения. Врачи и терапевты в реабилитационной практике часто сталкиваются с дилеммой сохранения или увеличения мышечной массы и силы посредством классических высокоинтенсивных силовых тренировок,

которым противостоит сниженная способность опорно-двигательного аппарата пациентов, саркопенические состояния и плохая переносимость подобных нагрузок. Таким образом, применение ТОК в клинических условиях является перспективным направлением в исследованиях.

Таким образом, целью данного обзора предоставить исследовательские данные применения ТОК в клинических группах населения.

Применение тренировок с ограничением кровотока в реабилитации опорно-двигательного аппарата.

Протоколы реабилитации после реконструкции передней крестообразной связки (ПКС) сосредоточены на восстановлении функции пациента с использованием индекса симметрии конечностей. Атрофия мышц бедра [5], а также снижение силы четырехглавой мышцы бедра и подколенного сухожилия [6] обычно наблюдаются после реконструкции ПКС. Эти отрицательные эффекты могут сохраняться более 2 лет после реконструкции [7] и отрицательно влиять на риск повторного повреждения ПКС, кинезиофобию и возвращению к физической активности [8].

Текущие клинические рекомендации указывают на то, что для устранения асимметрии мышечной силы назначаются тренировки с отягощениями от умеренной до высокой интенсивности (~60%-80% от 1 повторного максимума) [9]. Однако нагрузки такой интенсивности изначально противопоказаны после операции и могут оказаться слишком напряженными в конце реабилитационного протокола из-за боли в суставах или кинезиофобии. И хотя недавний систематический обзор и метаанализ пришел к неубедительным доказательствам использования ТОК после реконструкции ПКС, есть свидетельства о положительном влиянии данного метода на улучшение размера мышц и силы разгибателей и сгибателей колена [10]. При этом Baris B. Koc в другом систематическом обзоре и метаанализе показали, что ТОК после реконструкции ПКС могут быть полезны для увеличения силы и массы четырехглавой мышцы бедра по сравнению с тренировками без ограничения кровотока [11]. Кроме того, ТОК может уменьшить боль в коленном суставе по сравнению с тренировкой без ограничения с аналогичным эффектом на ослабление трансплантата ПКС [11].

Остеоартроз коленного сустава также является одним из наиболее частых заболеваний опорно-двигательного аппарата у пожилых людей. Пациенты испытывают снижение мышечной силы, боль, тугоподвижность суставов и,

как следствие, снижение качества жизни. Систематический обзор рандомизированных контролируемых исследований влияния ТОК на пациентов с остеоартрозом коленного сустава установил, что данный метод эффективен для укрепления мышц и уменьшения дискомфорта и боли в коленном суставе [12].

Саркопения определяется как прогрессирующее заболевание скелетных мышц, которое связано с повышенной вероятностью неблагоприятных исходов, включая падения, переломы, физическую инвалидность и смертность [13]. Лечение саркопении включает в себя различные методы, такие как: повышение физической активности, пищевые добавки и физические упражнения, из которых наиболее эффективными являются именно силовые тренировки [14]. Однако тренировки с отягощениями, выполняемые с высокой интенсивностью, необходимой для достижения оптимальной физиологической адаптации, могут быть трудными для пожилых людей с саркопенией или предрасположенных к ней, а также связаны с более высоким риском травм [15]. Таким образом, ТОК были предложены в качестве потенциального метода улучшения силы и массы скелетных мышц, а также снижения риска травм у пожилых людей с саркопенией [16].

Систематический обзор и метаанализ влияния ТОК на людей со скелетно-мышечными заболеваниями показал, что ТОК по сравнению с тренировкой с той же нагрузкой, но без ограничения кровотока более эффективно улучшала силу и массу скелетных мышц [17]. Другой систематический обзор и метаанализ установил, что ТОК значительно улучшают функциональные показатели в тестах Timed Up & Go, 30CST и на силу разгибателей коленного сустава у пожилых людей [18]. Не смотря на обнадеживающие результаты систематических обзоров и метаанализов, необходимо дальнейшее изучение влияния ТОК на субъектах, находящихся ниже пороговых значений для саркопении.

Применение тренировок с ограничением кровотока при сердечно-сосудистых заболеваниях.

Несколько предыдущих исследований сообщили о влиянии ТОК на пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. В первом исследовании оценивались гемостатические и воспалительные реакции после ТОК у 9 пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца [19]. В исследовании не наблюдалось увеличение D-димера и С-реактивного белка

после ТОК, подтверждая профиль безопасности применения этого метода в этой небольшой выборке пациентов. В другом исследовании оценивались эффекты 12-ти недельной программы ТОК у 21 пациента, перенесшего сердечно-сосудистую операцию [20]. Во время тренировок контролировались электрокардиограмма, скорость воспринимаемой нагрузки и цвет нижних конечностей. Во время проведения исследования побочных эффектов не наблюдалось, что подтверждает безопасность применения ТОК.

Креатинфосфокиназа и D-димер были в норме через 3 месяца после начала исследования. Толщина четырехглавой мышцы бедра, индекс массы скелетных мышц, скорость ходьбы, сила разгибателей колена увеличились через 3 месяца использования ТОК [20].

Еще в одном исследовании оценивалось влияние 8-недельной программы ТОК на силу разгибания ног, гемодинамику, сосудистую функцию и маркеры крови у пациентов с ишемической болезнью сердца [21]. Низкоинтенсивные силовые ТОК значительно увеличили мышечную силу (1 повторный максимум, +8,96 кг, $p<0,001$) и снижали систолическое артериальное давление (САД) (-6,77 мм рт. ст.; $p = 0,030$), а также наблюдалась положительная динамика в улучшении эндотелиальной функции (опосредованная потоком вазодилатация, +1,55%; $p = 0,079$), тогда как диаметр латеральной широкой мышцы бедра (+0,09 см, $p = 0,096$) и чувствительность к инсулину (HOMA IR 1,15, $p = 0,079$) существенно не изменились после исследования [21].

Tim Kambič и др. [22] также установили, что ТОК значительно улучшали САД (-10 мм рт. ст.; $P = 0,020$) и имели тенденцию к снижению диастолического артериального давления (ДАД) (-2 мм рт. ст.; $P = 0,066$), при этом не наблюдалось изменений в значениях N-концевого прогормона натрийуретического гормона B-типа, фибриногена и D-димера [22]. Также ТОК улучшили тест 6-минутной ходьбы на 39,0 м (ДИ 7,0–71,1, $P =0,019$), увеличили максимальную изометрическую силу на 29,7 Нм (ДИ 10,8–48,6, $P =0,003$), улучшили качество жизни на 5,4 балла (ДИ от -0,04 до 10,9; $P =0,052$), повышал функцию митохондрий на 19,1 пмоль/с на миллиграмм (ДИ 7,3–30,8; $P = 0,002$) по сравнению с контролем у пациентов с застойной сердечной недостаточность [23]. Причем недавно было установлено, что упражнения с очень низкой интенсивностью (10% от максимальной произвольной силы) в сочетании с ТОК активируют мышцы также, как и при использовании 20 % МПС у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, что позволяет минимизировать нагрузку и максимизировать

пользу от ТОК [24].

Тренировки с ограничением кровотока при сахарном диабете, метаболическом синдроме, ожирении.

В недавних обзорах были указаны возможные теоретические положительные преимущества применения ТОК у пациентов как с сахарным диабетом 1 типа [25], так и с сахарным диабетом 2 типа (СД2) [26]. 8-недельный протокол ТОК у лиц с СД2 снижал уровни фибриногена и глюкозы в плазме [27]. Хотя в другом исследовании было установлено, что ТОК у лиц с СД2 индуцировала тромбоцитоз, но при этом реакция маркеров CD тромбоцитов была аналогичной, что и при силовой тренировке высокой интенсивности (80% МПС) без ограничения кровотока [28]. Исследование на крысах с СД2 показало, что ТОК в сочетании с электрической стимуляцией предотвращает атрофию мышц, связанную с диабетом, путем усиления ингибирования конечных продуктов гликирования, что приводит к активации синтеза белка [29].

I. Satoh [30] продемонстрировал благоприятное влияние ТОК на лиц с метаболическим синдромом (МС), о чем свидетельствуют снижение САД и ДАД на 10%, уровня гликированного гемоглобина на 10%, уровня холестерина липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) на 8% и потерю веса на 10% без каких-либо побочных эффектов. К сожалению, исследование не включало контрольную группу. В другом исследовании как ТОК, так и высокоинтенсивные силовые тренировки приводили к снижению уровней глюкозы и триглицеридов в плазме, САД, обхвату талии, z-показателю тяжести МС, а также увеличению уровня липопротеидов высокой плотности (ЛПВП) в плазме у лиц с МС [31]. Также ТОК эффективно повышали силовые способности [32], увеличивали массу мышц и снижали массу жира у лиц с МС [33].

Систематический обзор и метаанализ, изучающий влияние ТОК на антропометрические показатели и липиды крови у взрослых с избыточной массой тела/ожирением, установил, что ТОК значительно снижали индекс массы тела, процент жира в организме, окружность талии, уровень общего холестерина и ЛПНП, уровень триглицеридов и увеличивает уровень ЛПВП [34]. В другом исследовании с участием 72 взрослых, страдающих ожирением, 24 сеанса высокоинтенсивных аэробных тренировок с ограничением кровотока в течение 12 -недельного периода с использованием велоэргометра было продемонстрировано, что ТОК в большей степени снижали общий и абдоминальный жир, а также улучшали

уровень глюкозы по сравнению с высокоинтенсивными аэробными тренировками без ограничения кровотока [35]. Также тренировки на велосипеде с 40% МПК в сочетании с ограничением кровотока, эффективно изменяли толщину кожной складки на бедре и животе, окружность талии, жировую массу, процентное содержание жира в организме, индекс массы тела, уровни глюкозы, общего холестерина, триглицеридов, ЛПНП и ЛПВП у студентов колледжей мужского пола с ожирением [36].

Тренировки с ограничением кровотока при неврологических заболеваниях.

Неврологические заболевания представляют собой серьезные расстройства, которые вызывают различную степень инвалидности и снижение качества жизни [37]. Существует несколько терапевтических возможностей, включая консервативное лечение, с целью улучшить качество жизни, сохранить подвижность суставов, облегчить боль и снизить мышечный тонус [38].

На данный момент имеются результаты некоторых исследований о влиянии ТОК на пациентов с неврологическими проблемами, такими как болезнь Паркинсона [39], рассеянный склероз [40, 41, 42], травма спинного мозга [43], инсульт [44] и детский церебральный паралич [45].

Недавний систематический обзор, изучающий научные данные об использовании ТОК при лечении неврологических расстройств, установил, что данный метод тренировок эффективно увеличивал толщину мышц у детей со спастичностью [46], церебральным параличем [45], а также повышал размер скелетных мышц и мышечную силу запястья и функции рук у людей с травмами спинного мозга [43, 47]. ТОК хорошо переносится людьми с рассеянным склерозом, требуя меньших мышечных усилий и не вызывая боли по сравнению с тренировками высокой интенсивности [40]. Ни в одной из статей данного систематического обзора не было зафиксировано побочных эффектов [48].

Таким образом, ТОК оказывается полезным инструментом реабилитации при неврологических расстройствах с отсутствием побочных эффектов. В исследованиях обнаружены улучшения в сенсомоторной функции, симметрии частоты и длины шага, воспринимаемой нагрузке, частоте сердечных сокращений, скорости походки, выносливости при ходьбе, качестве жизни, толщине мышц, плотности ягодичных мышц и снижении утомления [48].

Тренировки с ограничением кровотока при хронической болезни почек.

Хроническая болезнь почек (ХБП) состоит из повреждения почек и прогрессирующей и необратимой потери функции почек (клубочковой, канальцевой и эндокринной). Пациенты с ХБП демонстрируют значительную потерю силы и мышечной массы, что приводит к высокой распространенности слабости, ограничения подвижности и повышенному риску смертности, особенно на более поздних стадиях заболевания [49]. Таким образом, положительные преимущества ТОК для увеличения силы и массы скелетных мышц при минимальных механических нагрузках являются хорошей альтернативой для лиц с ХБП. Так в 6-месячном рандомизированном контролируемом исследовании с участием 90 пациентов мужского и женского пола со второй стадией ХБП использование ТОК снижало САД и ДАД, жировую массу, маркеры окислительного стресса, вазопрессин, при этом повышались маркеры антиоксидантной защиты, мышечной силы, ослаблялось снижение клубочковой фильтрации, что подразумевает положительный эффект после тренировок [50].

В другом исследовании показано, что ТОК способствовали снижению профиля воспаления (IL-6, IL-10, IL-15, IL-17a, IL-18, С-реактивный белок и фактор некроза опухоли-альфа), а также улучшали гомеостаз глюкозы и ослабляли прогрессирование клубочковой фильтрации у лиц со второй стадией ХБП [51]. Еще в одном исследовании наблюдалось улучшение вегетативной функции сердца после 6-месячной программы ТОК у лиц с ХБП [52]. Интрадиализные упражнения в сочетании с ограничением кровотока также оказались более эффективными, чем стандартные упражнения, в повышении адекватности гемодиализа, оценённому по восстановлению мочевины и фосфора, коэффициенту снижения мочевины и удалению мочевины и фосфора в диализате [53], а также в повышении выносливости при ходьбе [54] При этом в некоторых исследованиях не наблюдалось различий в изометрической мышечной силе, окружности предплечья, силе хвата и функциональных способностях после ТОК по сравнению с тренировками без ограничения кровотока [55, 56].

Несмотря многообещающие результаты исследований для данной популяции людей, необходимы дополнительные исследования для определения оптимальной программы ТОК для лиц с ХБП.

Тренировки с ограничением кровотока для пациентов с COVID-19.

У пациентов с COVID-19, перенесших искусственную вентиляцию легких, наблюдается слабость, приобретенная в отделении интенсивной терапии, а также деградация/атрофия мышц [57]. Миопатия, приобретенная в отделении интенсивной терапии, включает тяжелую мышечную атрофию, которая затрагивает волокна как типа I, так и типа II, наряду со значительной потерей белка толстых нитей миозина, дезорганизацией саркомеров и электрической гиповозбудимостью [57]. На данный момент существуют предпосылки для использования ТОК для противодействия тяжелой мышечной атрофии и низкой мышечной силы в отделениях интенсивной терапии, что, возможно, обеспечит терапевтический альтернативный подход к традиционной реабилитации лиц с COVID-19 [58].

Систематический обзор, изучающий влияние ограничения кровотока без упражнений на снижение силы и атрофию мышц бедра у субъектов, находящихся в состоянии иммобилизации нижних конечностей, установил, что данный подход может быть эффективной контрмерой для снижения силы и атрофии [59]. 11-дневный протокол применения ограничения кровотока без упражнений у 20 пожилых пациентов, поступивших в отделение интенсивной терапии, позволил снизить скорость атрофии мышц, не вызывая побочных эффектов [60].

Несколько метаанализов сообщили о повышенном уровне факторов, вызывающих повреждение скелетных мышц (т. е. креатинкиназы, лактатдегидрогеназы, миоглобина), связанных с COVID-19 [61,62]. Учитывая сочетание длительной иммобилизации и ранее существовавшего воспалительного и оксидантно-антиоксидантного дисбаланса, острые физиологические нарушения, связанные с высокоинтенсивными упражнениями, могут быть вредными для тех, кто выздоравливает от тяжелой формы COVID-19.

Напротив, недавний систематический обзор и метаанализ [63] показал, что ТОК приводят к меньшему резкому повышению биомаркеров окислительного стресса по сравнению с упражнениями высокой интенсивности без ограничения кровотока. К тому же ТОК приводят к меньшему повреждению мышц на основании прямых (целостность мышечных волокон) и косвенных (изменения мышечной силы, диапазона движений, маркеров крови) оценок [64]. Соответственно, ТОК представляют собой новый метод увеличения размера мышц, мышечной силы и аэробной

способности, которые вызывают относительно меньшее резкое повышение окислительного стресса и повреждения мышц по сравнению с высокоинтенсивными упражнениями. Таким образом, этот метод обеспечивает альтернативный способ восстановления физической функции, который с меньшей вероятностью может усугубить патофизиологические механизмы COVID-19.

Выводы. Таким образом, ТОК можно рассматривать как новый клинический инструмент достижения физиологической адаптации для людей, которые не могут безопасно переносить упражнения с высоким мышечным напряжением или тех, кто не может производить волевую мышечную активность. Однако необходимы дальнейшие исследования для установления параметров безопасного применения ТОК для широкого клинического внедрения.

Список литературы:

1. Zhou H.H., Liao Y., Peng Z., Liu F., Wang Q., Yang W. Association of muscle wasting with mortality risk among adults: A systematic review and meta-analysis of prospective studies. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2023 May 20. doi: 10.1002/jcsm.13263.
2. Yang H., Wan X.X., Ma H., Li Z., Weng L., Xia Y., Zhang X.M. Prevalence and mortality risk of low skeletal muscle mass in critically ill patients: an updated systematic review and meta-analysis. Front Nutr. 2023 May 12;10:1117558. doi: 10.3389/fnut.2023.1117558.
3. Perera E., Zhu X.M., Horner N.S., Bedi A., Ayeni O.R., Khan M. Effects of Blood Flow Restriction Therapy for Muscular Strength, Hypertrophy, and Endurance in Healthy and Special Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis. Clin J Sport Med. 2022 Sep 1;32(5):531-545. doi: 10.1097/JSM.0000000000000991.
4. Labata-Lezaun N., Llurda-Almuzara L., González-Rueda V., López-de-Celis C., Cedeño-Bermúdez S., Bañuelos-Pago J., Perez-Bellmunt A. Effectiveness of Blood Flow Restriction Training on Muscle Strength and Physical Performance in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil. 2022 Sep;103(9):1848-1857. doi: 10.1016/j.apmr.2021.12.015.
5. Norte G.E., Knaus K.R., Kuenze C., Handsfield G.G., Meyer C.H., Blemker S.S., Hart J.M. MRI-Based Assessment of Lower-Extremity Muscle Volumes in Patients Before and After ACL Reconstruction. J Sport Rehabil. 2018 May 1;27(3):201-212. doi: 10.1123/jsr.2016-0141.
6. Kuenze C.M., Foot N., Saliba S.A., Hart J.M. Drop-Landing Performance and Knee-Extension Strength After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J

Athl Train. 2015 Jun;50(6):596-602. doi: 10.4085/1062-6050-50.2.11.
7. Bourne M.N., Bruder A.M., Mentiplay B.F., Carey D.L., Patterson B.E., Crossley K.M. Eccentric knee flexor weakness in elite female footballers 1-10 years following anterior cruciate ligament reconstruction. Phys Ther Sport. 2019 May;37:144-149. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.03.010.
8. Norte G.E., Solaas H., Saliba S.A., Goetschius J., Slater L.V., Hart J.M. The relationships between kinesiophobia and clinical outcomes after ACL reconstruction differ by self-reported physical activity engagement. Phys Ther Sport. 2019 Nov;40:1-9. doi: 10.1016/j.ptsp.2019.08.002.
9. Bieler T., Aue Sobol N., Andersen L.L. et al. The effects of high-intensity versus low-intensity resistance training on leg extensor power and recovery of knee function after ACL-reconstruction. BioMed Research International 2014;2014:1–11. doi:10.1155/2014/278512.
10. Colapietro M., Portnoff B., Miller S.J., Sebastianelli W., Vairo G.L.. Effects of Blood Flow Restriction Training on Clinical Outcomes for Patients With ACL Reconstruction: A Systematic Review. Sports Health. 2023 Mar-Apr;15(2):260-273. doi: 10.1177/19417381211070834.
11. Koc B.B., Truyens A., Heymans M.J.L.F., Jansen E.J.P., Schotanus M.G.M. Effect of Low-Load Blood Flow Restriction Training After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. Int J Sports Phys Ther. 2022 Apr 1;17(3):334-346. doi: 10.26603/001c.33151.
12. Pitsillides A., Stasinopoulos D., Mamais I. Blood flow restriction training in patients with knee osteoarthritis: Systematic review of randomized controlled trials. J Bodyw Mov Ther. 2021 Jul;27:477-486. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.04.015.
13. Cruz-Jentoft A.J., Bahat G., Bauer J., Boirie Y., Bruyère O., Cederholm T., Cooper C., Landi F., Rolland Y., Sayer A.A., Schneider S.M., Sieber C.C., Topinkova E., Vandewoude M., Visser M., Zamboni M.; Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing. 2019 Jan 1;48(1):16-31. doi: 10.1093/ageing/afy169.
14. Negm A.M., Lee J, Hamidian R., Jones C.A., Khadaroo R.G. Management of Sarcopenia: A Network Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. J Am Med Dir Assoc. 2022 May;23(5):707-714. doi: 10.1016/j.jamda.2022.01.057.
15. Skelton D.A., Mavroeidi A. Which strength and balance activities are safe and efficacious for individuals with specific challenges (osteoporosis, vertebral fractures, frailty, dementia)?: A Narrative review. J Frailty Sarcopenia Falls. 2018 Jun 1;3(2):85-104. doi: 10.22540/JFSF-03-085.

16. Conceição M.S., Ugrinowitsch C. Exercise with blood flow restriction: an effective alternative for the non-pharmaceutical treatment for muscle wasting. J Cachexia Sarcopenia Muscle. 2019 Apr;10(2):257-262. doi: 10.1002/jcsm.12397.
17. Hughes L., Paton B., Rosenblatt B., Gissane C., Patterson S.D. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2017 Jul;51(13):1003-1011. doi: 10.1136/bjsports-2016-097071.
18. Cahalin L.P., Formiga M.F., Anderson B., Cipriano G. Jr., Hernandez E.D., Owens J., Hughes L. A call to action for blood flow restriction training in older adults with or susceptible to sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. Front Physiol. 2022 Aug 15;13:924614. doi: 10.3389/fphys.2022.924614.
19. Madarame H., Kurano M., Fukumura K., Fukuda T., Nakajima T. Haemostatic and inflammatory responses to blood flow-restricted exercise in patients with ischaemic heart disease: a pilot study. Clin Physiol Funct Imaging. 2013 Jan;33(1):11-7. doi: 10.1111/j.1475-097X.2012.01158.x.
20. Ogawa H., Nakajima T., Shibasaki I., Nasuno T., Kaneda H., Katayanagi S., Ishizaka H., Mizushima Y., Uematsu A., Yasuda T., Yagi H., Toyoda S., Hortobágyi T., Mizushima T., Inoue T, Fukuda H. Low-Intensity Resistance Training with Moderate Blood Flow Restriction Appears Safe and Increases Skeletal Muscle Strength and Size in Cardiovascular Surgery Patients: A Pilot Study. J Clin Med. 2021 Feb 2;10(3):547. doi: 10.3390/jcm10030547.
21. Kambič T., Novaković M., Tomažin K., Strojnik V., Jug B. Blood Flow Restriction Resistance Exercise Improves Muscle Strength and Hemodynamics, but Not Vascular Function in Coronary Artery Disease Patients: A Pilot Randomized Controlled Trial. Front Physiol. 2019 Jun 12;10:656. doi: 10.3389/fphys.2019.00656.
22. Kambič T., Novaković M., Tomažin K., Strojnik V., Božič-Mijovski M., Jug B. Hemodynamic and Hemostatic Response to Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Coronary Artery Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. J Cardiovasc Nurs. 2021 Sep-Oct 01;36(5):507-516. doi: 10.1097/JCN.0000000000000699.
23. Groennebaek T., Sieljacks P., Nielsen R., Pryds K., Jespersen N.R., Wang J., Carlsen C.R., Schmidt M.R., de Paoli F.V., Miller B.F., Vissing K., Bøtker H.E. Effect of Blood Flow Restricted Resistance Exercise and Remote Ischemic Conditioning on Functional Capacity and Myocellular Adaptations in Patients With Heart Failure. Circ Heart Fail. 2019 Dec;12(12):e006427. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.

24. Ishizaka H., Uematsu A., Mizushima Y., Nozawa N., Katayanagi S., Matsumoto K., Nishikawa K., Takahashi R., Arakawa T., Sawaguchi T., Yasuda T., Yamaguchi S., Ogawa H., Shibasaki I., Toyoda S., Hortobágyi T., Fukuda H., Inoue T., Mizushima T., Nakajima T. Blood Flow Restriction Increases the Neural Activation of the Knee Extensors During Very Low-Intensity Leg Extension Exercise in Cardiovascular Patients: A Pilot Study. J Clin Med. 2019 Aug 19;8(8):1252. doi: 10.3390/jcm8081252.
25. Jones M. T., Aguiar E. J., Winchester L. J. (2021). Proposed mechanisms of blood flow restriction exercise for the improvement of Type 1 diabetes pathologies. Diabetology 2 176–189.
26. Saatmann N., Zaharia O.P., Loenneke J.P., Roden M., Pesta D.H. Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes. Trends Endocrinol Metab. 2021 Feb;32(2):106-117. doi: 10.1016/j.tem.2020.11.010.
27. Malekyian Fini E., Ahmadizad S., Salimian M., Motefakker M., Mokhtari Andani F., Fath Tabar F. (2021). The effect of two methods of resistance training with and without blood flow restriction on coagulation indices and blood glucose levels in type 2 diabetic patients. Med. J. Mashhad Univ. Med. Sci. 64 (3), 3060–3071. 10.22038/MJMS.2021.18772.
28. Fini E.M., Salimian M., Ahmadizad S. Responses of platelet CD markers and indices to resistance exercise with and without blood flow restriction in patients with type 2 diabetes. Clin Hemorheol Microcirc. 2022;80(3):281-289. doi: 10.3233/CH-211229.
29. Tanaka M., Morifuji T., Yoshikawa M., Nakanishi R., Fujino H. Effects of combined treatment with blood flow restriction and low-intensity electrical stimulation on diabetes mellitus-associated muscle atrophy in rats. J Diabetes. 2019 Apr;11(4):326-334. doi: 10.1111/1753-0407.12857.
30. Satoh I. (2011). Kaatsu training: application to metabolic syndrome. Int. J. Kaatsu Training Res. 7 7–12.
31. 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 // Журнал медико-биологических исследований. – 2023. – Т.11, № 3. DOI: 10.37482/2687-1491-Z149
32. Сверчков, В. В. Влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на динамику силовых способностей у лиц с метаболическим синдромом / В.В. Сверчков, Е.В. Быков // Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сборник научных трудов молодых ученых, посвященный 50-летию УралГУФК / УралГУФК. – Челябинск, 2022. – С. 177-184.

33. Сверчков, В. В. Силовые тренировки с ограничением кровотока эффективно изменяют состав тела у лиц с метаболическим синдромом / В.В. Сверчков, Е.В. Быков // Вестник восстановительной медицины. – 2023. – Т. 22. – № 2.
34. Sun L. Effects of blood flow restriction training on anthropometric and blood lipids in overweight/obese adults: Meta-analysis. Front Physiol. 2022 Nov 29;13:1039591. doi: 10.3389/fphys.2022.1039591.
35. Li S., Guo R., Yu T., Li S., Han T., Yu W. Effect of High-Intensity Interval Training Combined with Blood Flow Restriction at Different Phases on Abdominal Visceral Fat among Obese Adults: A Randomized Controlled Trial. Int J Environ Res Public Health. 2022 Sep 21;19(19):11936. doi: 10.3390/ijerph191911936.
36. Chen Y., Ma C., Wang J., Gu Y., Gao Y. Effects of 40% of Maximum Oxygen Uptake Intensity Cycling Combined with Blood Flow Restriction Training on Body Composition and Serum Biomarkers of Chinese College Students with Obesity. Int J Environ Res Public Health. 2021 Dec 24;19(1):168. doi: 10.3390/ijerph19010168.
37. Gourie-Devi M. Relevance of Neuroepidemiology: Burden of Neurological Disorders and Public Health Issues. Ann Indian Acad Neurol. 2018 Oct-Dec;21(4):237-238. doi: 10.4103/aian.AIAN_428_18.
38. Abalde-Blanco Y., Alonso-Calvete Y., Da Cuña-Carrera I., González-González Y. Tratamiento Conservador de La Espasticidad En Pacientes Con Desórdenes Neurológicos. Revisión Sistemática. Arch. Neurocienc. 2019;24:6–21. doi: 10.31157/archneurosciencesmex.v24i2.174.
39. Douris P.C., D'Agostino N., Werner W.G., Petrizzo J., DiFrancisco-Donoghue J. Blood flow restriction resistance training in a recreationally active person with Parkinson's disease. Physiother Theory Pract. 2022 Mar;38(3):422-430. doi: 10.1080/09593985.2020.1762812.
40. Freitas E.D.S., Miller R.M., Heishman A.D., Aniceto R.R., Larson R., Pereira H.M., Bemben D., Bemben M.G. The perceptual responses of individuals with multiple sclerosis to blood flow restriction versus traditional resistance exercise. Physiol Behav. 2021 Feb 1;229:113219. doi: 10.1016/j.physbeh.2020.113219.
41. Cohen E.T., Cleffi N., Ingersoll M., Karpatkin H.I. Blood-Flow Restriction Training for a Person With Primary Progressive Multiple Sclerosis: A Case Report. Phys Ther. 2021 Mar 3;101(3):pzaa224. doi: 10.1093/ptj/pzaa224.
42. Brown A.J., Rachal Sant L. Blood flow restriction training for an individual with relapsing-remitting multiple sclerosis: a case report. Physiother Theory Pract. 2022 Jul 19:1-9. doi: 10.1080/09593985.2022.2100848.

43. Gorgey A.S., Timmons M.K., Dolbow D.R., Bengel J., Fugate-Laus K.C., Michener L.A., Gater D.R. Electrical stimulation and blood flow restriction increase wrist extensor cross-sectional area and flow meditated dilatation following spinal cord injury. Eur J Appl Physiol. 2016 Jun;116(6):1231-44. doi: 10.1007/s00421-016-3385-z.
44. Kjeldsen S.S., Næss-Schmidt E.T., Lee M., de Oliveira C.Q., Nielsen J.F., Stubbs P.W. Blood flow restriction exercise of the tibialis anterior in people with stroke: a preliminary study. J Integr Neurosci. 2022 Mar 21;21(2):53. doi: 10.31083/j.jin2102053.
45. Park J.C., Lee D. Effects of Blood Flow Restriction on Gluteus Muscles Thickness, Density and WAI for Children with Cerebral Palsy. J. Korean Phys. Ther. Sci. 2022;29:48–56. doi: 10.26862/jkpts.2022.06.29.2.48.
46. Park J.-C., Lee D.-K. Effects of General Exercise after Blood Flow Restriction on Trunk Muscles Thickness for Children with Spasticity Cerebral Palsy. PNF Mov. 2022;20:31–39.
47. Skiba G.H., Andrade S.F., Rodacki A.F. Effects of functional electro-stimulation combined with blood flow restriction in affected muscles by spinal cord injury. Neurol Sci. 2022 Jan;43(1):603-613. doi: 10.1007/s10072-021-05307-x.
48. Vinolo-Gil M.J., Rodríguez-Huguet M., Martin-Vega F.J., Garcia-Munoz C., Lagares-Franco C., Garcia-Campanario I. Effectiveness of Blood Flow Restriction in Neurological Disorders: A Systematic Review. Healthcare (Basel). 2022 Nov 30;10(12):2407. doi: 10.3390/healthcare10122407.
49. Li B.H., Sang N., Zhang M.Y., Liu Z.R., Fang R.X., Liu W.J., Wang D.G., Wu G.C. The prevalence and influencing factors of frailty in patients with chronic kidney disease: a systematic review and meta-analysis. Int Urol Nephrol. 2023 Aug 14. doi: 10.1007/s11255-023-03739-2.
50. Corrêa H.L., Neves R.V.P., Deus L.A, Maia B.C.H., Maya A.T., Tzanno-Martins C., Souza M.K., Silva J.A.B., Haro A.S., Costa F., Moraes M.R., Simões H.G., Prestes J., Stone W., Rosa T.S. Low-load resistance training with blood flow restriction prevent renal function decline: The role of the redox balance, angiotensin 1-7 and vasopressin☆,☆☆. Physiol Behav. 2021 Mar 1;230:113295. doi: 10.1016/j.physbeh.2020.113295.
51. Deus L.A., Corrêa H.L., Neves R.V.P., Reis A.L., Honorato F.S., Araújo T.B., Souza M.K., Haro A.S., Silva V.L., Barbosa J.M.D.S., Padula I.A., Andrade R.V., Simões H.G., Prestes J., Stone W.J., Melo G.F., Rosa T.S. Metabolic and hormonal responses to chronic blood-flow restricted resistance training in chronic kidney disease: a randomized trial. Appl Physiol Nutr Metab. 2022 Feb;47(2):183-194. doi: 10.1139/apnm-2021-0409.

52. de Deus L.A., Neves R.V.P., Corrêa H.L., Reis A.L., Honorato F.S., Silva V.L., de Araújo T.B., Souza M.K., Sousa C.V., Simões H.G., Prestes J., Silva Neto L.S., Rodrigues Santos C.A., Melo G.F., Stone W.J., Rosa T.S. Improving the prognosis of renal patients: The effects of blood flow-restricted resistance training on redox balance and cardiac autonomic function. Exp Physiol. 2021 Apr;106(4):1099-1109. doi: 10.1113/EP089341.
53. Dias E.C., Orcy R., Antunes M.F., Kohn R., Rombaldi A.J., Ribeiro L., Oses J.P., Ferreira G.D., Araújo A.M., Boff I.F., Böhlke M. Intradialytic exercise with blood flow restriction: Something to add to hemodialysis adequacy? Findings from a crossover study. Hemodial Int. 2020 Jan;24(1):71-78. doi: 10.1111/hdi.12793.
54. Cardoso R.K., Araujo A.M., Del Vechio F.B., Bohlke M., Barcellos F.C., Oses J.P., de Freitas M.P., Rombaldi A.J. Intradialytic exercise with blood flow restriction is more effective than conventional exercise in improving walking endurance in hemodialysis patients: a randomized controlled trial. Clin Rehabil. 2020 Jan;34(1):91-98. doi: 10.1177/0269215519880235.
55. Silva I.B., Barbosa J.B.N., Araújo A.X.P., Marinho P.E.M. Effect of an exercise program with blood flow restriction on the muscular strength of patients with chronic kidney disease: A randomized clinical trial. J Bodyw Mov Ther. 2021 Oct;28:187-192. doi: 10.1016/j.jbmt.2021.06.022.
56. Barbosa J.B., Maia T.O., Alves P.S., Bezerra S.D., Moura E.C., Medeiros A.I.C., Fuzari H.K., Rocha L.G., Marinho P.E. Does blood flow restriction training increase the diameter of forearm vessels in chronic kidney disease patients? A randomized clinical trial. J Vasc Access. 2018 Nov;19(6):626-633. doi: 10.1177/1129729818768179.
57. Lad H., Saumur T.M., Herridge M.S., Dos Santos C.C., Mathur S., Batt J., Gilbert P.M. Intensive Care Unit-Acquired Weakness: Not just Another Muscle Atrophying Condition. Int J Mol Sci. 2020 Oct 22;21(21):7840. doi: 10.3390/ijms21217840.
58. Roman-Belmonte J.M., De la Corte-Rodriguez H., Rodriguez-Merchan E.C., Muñoz-De la Torre E., Vazquez-Sasot A. Strengthening with Blood Flow Restriction: Can it be a Useful Option in the Rehabilitation of Patients with Coronavirus? Arch Bone Jt Surg. 2020 Jul;8(4):553-556. doi: 10.22038/abjs.2020.48575.2409.
59. Cerqueira M.S., Do Nascimento J.D.S., Maciel D.G., Barboza J.A.M., De Brito Vieira W.H. Effects of blood flow restriction without additional exercise on strength reductions and muscular atrophy following immobilization: A systematic review. J Sport Health Sci. 2020 Mar;9(2):152-159. doi: 10.1016/j.jshs.2019.07.001.

60. Barbalho M., Rocha A.C., Seus T.L., Raiol R., Del Vecchio F.B., Coswig V.S. Addition of blood flow restriction to passive mobilization reduces the rate of muscle wasting in elderly patients in the intensive care unit: a within-patient randomized trial. Clin Rehabil. 2019 Feb;33(2):233-240. doi: 10.1177/0269215518801440.
61. Husain R., Corcuera-Solano I., Dayan E., Jacobi A.H., Huang M. Rhabdomyolysis as a manifestation of a severe case of COVID-19: A case report. Radiol Case Rep. 2020 Jul 7;15(9):1633-1637. doi: 10.1016/j.radcr.2020.07.003.
62. Jin M., Tong Q. Rhabdomyolysis as Potential Late Complication Associated with COVID-19. Emerg Infect Dis. 2020 Jul;26(7):1618-1620. doi: 10.3201/eid2607.200445.
63. Ferlito J.V., Rolnick N., Ferlito M.V., De Marchi T., Deminice R., Salvador M. Acute effect of low-load resistance exercise with blood flow restriction on oxidative stress biomarkers: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2023 Apr 21;18(4):e0283237. doi: 10.1371/journal.pone.0283237.
64. Nielsen J.L., Aagaard P., Prokhorova T.A., Nygaard T., Bech R.D., Suetta C., Frandsen U. Blood flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage. J Physiol. 2017 Jul 15;595(14):4857-4873. doi: 10.1113/JP273907.

Опубликовано: 12 октября 2023
Ссылка на статью: https://nsjuralgufk.ru/articles/47