

<https://doi.org/10.57006/2782-3245-2024-14-2-16-21>

Оригинальные статьи / Original Articles



МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ТРЕНИРОВОК С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВотоКА

УДК 378

Быков Е.В.¹

Сверчков В.В.¹

¹ ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры»
454091, Россия, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1

Аннотация

Актуальность. Тренировки с ограничением кровотока, которые выполняются с частичной окклюзией сосудов при помощи надувных манжет, могут вызвать прирост массы и силы скелетных мышц, аналогичный тем, которые наблюдаются при классических высокоинтенсивных тренировках с отягощениями, хотя и с заметно меньшей механической нагрузкой. Выполнение нагрузки с ограничением кровотока приводит к накоплению метаболитов, рекрутированию мотонейронов с более высоким порогом возбуждения, отеку мышечных клеток, увеличению концентрации активных форм кислорода что, в свою очередь, способствует гипертрофии мышечных волокон, увеличению мышечной силы, митохондриальному биогенезу, ангиогенезу, повышению активности транспортировщиков глюкозы. Исходя из этого, тренировки с ограничением кровотока должны положительно сказываться на метаболическом здоровье.

Цель исследования - теоретический анализ метаболических эффектов тренировок с ограничением кровотока у здоровых лиц и у клинических групп населения.

Методы и организация исследования - в этом обзоре рассматриваются метаболические эффекты ТОК как у здоровых, так и у клинических групп населения.

Выводы. ТОК можно рассматривать как потенциальный метод для улучшения мышечной функции и метаболизма глюкозы, триглицеридов и жирных кислот.

Ключевые слова: тренировки с ограничением кровотока, метаболическое здоровье, метаболический синдром, сахарный диабет 2 типа, ожирение, мышечная сила, аппендикулярная масса мышц, резистентность к инсулину.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Быков Е.В., Сверчков В.В. Метаболические эффекты тренировок с ограничением кровотока // Научные и образовательные основы в физической культуре и спорте. 2024. Т14. №1. <https://doi.org/10.57006/2782-3245-2024-14-2-16-21>

Дата поступления статьи: 29.03.2024

Дата принятия статьи к публикации: 28.05.2024

Дата публикации: 03.06.2024

Информация для связи с автором: vadim.sverchkov@yandex.ru, bev58@yandex.ru.

METABOLIC EFFECTS OF TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION

Evgeniy V. Bykov¹

Vadim V. Sverchkov¹

¹ UralGUFK,

1 Orjonikidze st., Chelyabinsk, Russia, 454091

Annotation

Relevance. Training with limited blood flow, which is performed with partial vascular occlusion using inflatable cuffs, can cause an increase in skeletal muscle mass and strength, similar to those observed with classical high-intensity training with weights, although with a noticeably lower mechanical load. Performing a load with a restriction of blood flow leads to the accumulation of metabolites, recruitment of motor neurons with a higher excitation threshold, edema of muscle cells, an increase in the concentration of reactive oxygen species, which, in turn, contributes to hypertrophy of muscle fibers, increased muscle strength, mitochondrial biogenesis, angiogenesis, increased activity of glucose transporters. Based on this, training with limited blood flow should have a positive effect on metabolic health.

The aim of the study is a theoretical analysis of the metabolic effects of blood flow restriction training in healthy individuals and in clinical populations.

Methods and organization of the study - this review examines the metabolic effects of TOK in both healthy and clinical populations.

Conclusions. BFR can be considered as a potential method for improving muscle function and metabolism of glucose, triglycerides and fatty acids.

Keywords: blood flow restriction training, metabolic health, metabolic syndrome, type 2 diabetes, obesity, muscle strength, appendicular muscle mass, insulin resistance.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Bykov E.V., Sverchkov V.V. Metabolic effects of training with blood flow restriction // Scientific and educational foundations in physical culture and sports. 2024. T13. No. 1. <https://doi.org/10.57006/2782-3245--2024-14-2-16-21>.

Date of receipt of the article: 29.03.2024

Date of acceptance of the article for publication: 28.05.2024

Date of publication: 03.06.2024

Information for contacting the author: vadim.sverchkov@yandex.ru, bev58@yandex.ru.

Актуальность. Ожирение, метаболический синдром (МС) и сахарный диабет 2 типа (СД2) являются наиболее частыми метаболическими заболеваниями. Лица с метаболическими заболеваниями склонны к развитию макро- и микрососудистых осложнений, которые, в конечном итоге, приводят к высоким показателям смертности. Риск преждевременной смерти у пациентов с СД2 примерно в 2 раза выше, чем в общей популяции [1], но при этом, изменение образа жизни: повышение двигательной активности, изменение питания, снижение артериального давления, отказ от курения и алкоголя снижает этот риск.

Также известно, что повышение аппендикулярной массы мышц, снижение общего и абдоминального ожирения, увеличение мышечной силы и кардиореспираторной выносливости являются защитными факторами против метаболических заболеваний. Все эти адаптационные изменения могут происходить после регулярного выполнения силовых упражнений. Однако для достижения подобных адаптаций часто

рекомендуются нагрузки, равные 70% и более от индивидуального повторного максимума. Высокие механические нагрузки могут не подходить для различных категорий лиц. Таким образом, разработка альтернативных методов тренировок является актуальной проблемой как оздоровительной, так и адаптивной физической культуры.

Цель исследования: теоретический анализ метаболических эффектов тренировок, выполняемых в сочетании с ограничением кровотока у здоровых лиц и клинических групп населения.

Методы и организация исследования. Тренировки с ограничением кровотока (ТОК) – это метод, основанный на уменьшении притока крови к тренируемой конечности, за счет сдавливающих манжет. Этот тренировочный метод может иметь ряд преимуществ для улучшения метаболического здоровья. В этом обзоре рассматриваются метаболические эффекты ТОК как у здоровых, так и у клинических групп населения.

Кардиореспираторная выносливость (КРВ) оценивает способность человека к

физической нагрузке и напрямую связана с интегрированной функцией нескольких систем организма, а также является маркером метаболического здоровья. В недавнем систематическом обзоре и метаанализе было установлено, что аэробные ТОК от низкой до умеренной интенсивности повышали аэробные способности в большей степени, чем тренировки, выполняемые с такой же интенсивностью, но без ограничения кровотока [2]. Всего 15 минут низкоинтенсивных циклических тренировок при 40% от максимального потребления кислорода (МПК) в сочетании с ограничением кровотока трижды в неделю в течение 8 недель приводили к повышению МПК у молодых здоровых мужчин, тогда как контрольная группа, выполняющая нагрузку без ограничения кровотока, не показала никаких улучшений [3]. В другом исследовании аэробные ТОК приводили к усилению передаче сигналов АМФ-активируемой протеинкиназы (AMP activated protein kinase; AMPK) и коактиватора 1-альфа-рецептора, активируемого пролифераторами пероксисом, гамма (peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator 1-alpha; PGC-1 α) в латеральной широкой мышце бедра [4]. Известно, что AMPK и PGC-1 α играют ключевую роль в митохондриальном гомеостазе, модулируя аутофагию и митохондриальный биогенез, что приводит к замене дефектных митохондрий, тем самым способствует митохондриальному гомеостазу в скелетных мышцах, что является важным фактором в проявлении локальной мышечной выносливости. Кроме того, ТОК способствуют улучшению поток-опосредованной вазодилатации и повышению активности фактора роста эндотелия сосудов, что также оказывает положительное влияние на КРВ.

Результаты исследования и их обсуждение. Саркопения (снижение мышечной массы и силы) и метаболические заболевания имеют одни и те же патофизиологические механизмы. В недавних исследованиях с Менделевской рандомизацией был сделан вывод о том, что повышение мышечной массы и силы является важным фактором профилактики и снижения тяжести проявлений различных метаболических заболеваний. Уменьшение мышечной массы и мышечных функций связано со снижением

способности утилизировать глюкозу. Таким образом, увеличение массы мышц и мышечной силы имеет первостепенное значение для поддержания нормального метаболического здоровья. В нескольких недавних систематических обзорах и метаанализах изучалось гипертрофическое действие ТОК на верхние и нижние конечности у тренированных и нетренированных, молодых и пожилых, здоровых и клинических групп населения. Хотя исследования часто различаются по проценту окклюзии, интенсивности и частоте тренировок, они обычно выявляют положительное влияние ТОК на мышечную массу и сохранение или улучшение мышечной функции. Изменения размера мышц при использовании ТОК больше, чем в контрольной группе с одинаковым тренировочным объемом, но тренирующихся без ограничения кровотока, и часто сравнимы с функциональными изменениями, наблюдаемыми после традиционной высокоинтенсивной силовой тренировки. Силовые способности также увеличивается после ТОК, хотя изменения силы, как правило, меньше, чем те, которые наблюдаются после традиционных тренировок высокой интенсивности, хотя это подтверждается не во всех систематических обзорах и метаанализах.

В совокупности у здоровых людей ТОК может вызывать такие же изменения размера мышц, как и традиционные упражнения с высокой интенсивностью. Кроме того, хотя сила также увеличивается после ТОК, обычно это происходит в меньшей степени, чем после упражнений с отягощениями с высокой нагрузкой. Как механическое напряжение, так и метаболический стресс ответственны за мышечную гипертрофию, но их вклад может варьироваться в зависимости от режима и интенсивности нагрузки.

Одной из основных причин метаболических заболеваний является резистентность к инсулину в периферических тканях, таких как мышцы, подкожный и висцеральный жир, печень. Хотя точные причины мышечной резистентности к инсулину остаются не раскрыты, доступная научная литература указывает на нарушение регуляции PGC-1 α и транспортировщиков глюкозы (glucose transporter type 4; GLUT4). Выше было показано, что ТОК повышают активацию PGC-1 α , а также GLUT4 в мышечных клетках [4]. В другом исследовании 30-минутная езда

на велоэргометре в сочетании с ограничением кровотока на протяжении 2 недель повышала активность пути AMPK-PGC-1 α у здоровых молодых людей по сравнению с тренировками без ограничения кровотока [5]. Еще в одном исследовании аэробные интервальные ТОК повышали PGC-1 α (в 16 раз по сравнению с тренировкой без ограничения кровотока, выполняемых в нормоксии; в 11 раз по сравнению с тренировками без ограничения кровотока, но выполняемых в условиях системной гипоксии). Уровень GLUT4 при ТОК повышался в 2 раза. При этом в условиях нормоксии и системной гипоксии увеличение GLUT4 наблюдалось только в 1,2 раза [6]. Christiansen D. et al. сообщили, что тренировки на велотренажере с ограничением кровотока три раза в неделю в течение 6 недель приводили к увеличению экспрессии транспортеров глюкозы GLUT4 и оксида азота, что приводило к увеличению поглощения глюкозы в ноге, тренируемой с ограничением кровотока, по сравнению с ногой, тренируемой без ограничения, у здоровых людей. Еще в одном исследовании нейромышечная электрическая стимуляция в сочетании с ограничением кровотока увеличивала окисление углеводов по сравнению с нейромышечной электрической стимуляцией без ограничения кровотока [7]. В другом исследовании сообщалось, что применение ТОК в течение 8 недель имели тенденцию к снижению уровня инсулина и показателей инсулинорезистентности.

Системное воспаление также является одной из причин, вызывающих резистентность к инсулину. Три недели ТОК по сравнению с соответствующей низкоинтенсивной нагрузкой без ограничения кровотока (20% 1ПМ) или нагрузкой высокой интенсивности (70% 1ПМ) увеличили противовоспалительный фенотип макрофагов на 163% только в группе ТОК [8]. Более того, через 3 дня после прекращения тренировок уровни провоспалительных макрофагов были выше в группе низкоинтенсивной силовой тренировки без ограничения кровотока по сравнению с группой ТОК. Авторы также обнаружили снижение уровня интерлейкина 6 в плазме на 18% после сеанса ТОК, тогда как в контрольной группе высокой интенсивности изменений не наблюдалось [8]. Ограниченные данные указывают на то, что ТОК

могут оказывать противовоспалительное действие и повышать чувствительность к инсулину, как у здоровых лиц, так в клинических группах населения.

da Silva J. et al. установили, что аэробные ТОК приводят к большему расходу энергии по сравнению с тренировками с тем же объемом, но выполняемых без ограничения кровотока и к аналогичному кислородному долгу по сравнению с высокоинтенсивными аэробными упражнениями. Gonçalves M. et al. также установили, что аэробные ТОК повышали анаэробный и аэробный метаболизм, общий расход энергии и кардиореспираторные реакции по сравнению с тренировками без ограничения кровотока у здоровых мужчин. В нашем недавнем исследовании низкоинтенсивные тренировки с отягощениями в сочетании с ограничением кровотока приводили к большему расходу энергии, расходу энергии из жиров и углеводов, потреблению кислорода, кислородному долгу и метаболическому эквиваленту по сравнению с силовыми тренировками с тем же объемом и интенсивностью, но выполняемых без ограничения кровотока у мужчин с метаболическим синдромом [9]. Причем Pfeiffer P et al. установили, что для достижения повышенного расхода энергии во время аэробных ТОК достаточно использовать ограничение кровотока в 50% от полной артериальной окклюзии.

Некоторые исследования также установили, что ТОК способны снижать уровень жировых отложений. Так, в исследовании Li S. et al. высокоинтенсивные аэробные ТОК приводили к большему снижению висцерального и подкожного жира, а также снижению уровня глюкозы в плазме по сравнению с тренировками без ограничения кровотока у лиц с ожирением. В другом исследовании силовые тренировки с ограничением кровотока приводили к большей потере общего и висцерального жира, по сравнению с аналогичной тренировкой, выполняемой без ограничения кровотока у мужчин с метаболическим синдромом [10].

Выводы. ТОК является эффективной стратегией тренировок как для здоровых лиц, так и для лиц с физическими ограничениями. Низкое напряжение кислорода во время ТОК может дополнительно индуцировать новообразование капилляров и увеличивать внутриклеточную выработку

активных форм кислорода, что может способствовать биогенезу митохондрий и экспрессии GLUT4. Ограниченные данные указывают на то, что ТОК могут снижать уровни инсулина и гликированного гемоглобина и увеличивать транслокацию GLUT4, что, в свою очередь, может улучшить метаболическое здоровье. Эти адаптации могут

квалифицировать ТОК как потенциальный метод тренировки для улучшения мышечной функции и метаболизма глюкозы, триглицеридов и незатерифицированных жирных кислот, как у здоровых лиц, так и лиц с различными метаболическими заболеваниями.

© Вадим Владимирович Сверчков, 2024

© Евгений Витальевич Быков, 2024

© ЕИФК, 2024

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rao Kondapally Seshasai S, Kaptoge S, Thompson A, Di Angelantonio E, Gao P, Sarwar N, Whincup PH, Mukamal KJ, Gillum RF, Holme I, Njølstad I, Fletcher A, Nilsson P, Lewington S, Collins R, Gudnason V, Thompson SG, Sattar N, Selvin E, Hu FB, Danesh J; Emerging Risk Factors Collaboration. Diabetes mellitus, fasting glucose, and risk of cause-specific death. *N Engl J Med*. 2011 Mar 3;364(9):829-841. doi: 10.1056/NEJMoa1008862.
2. Formiga MF, Fay R, Hutchinson S, Locandro N, Ceballos A, Lesh A, Buscheck J, Meanor J, Owens JG, Cahalin LP. EFFECT OF AEROBIC EXERCISE TRAINING WITH AND WITHOUT BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC CAPACITY IN HEALTHY YOUNG ADULTS: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS. *Int J Sports Phys Ther*. 2020 Apr;15(2):175-187.
3. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, Sugaya M, Kudo M, Kurano M, Yasuda T, Sato Y, Ohshima H, Mukai C, Ishii N. Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO2MAX in Young Men. *J Sports Sci Med*. 2010 Sep 1;9(3):452-8.
4. Christiansen D, Murphy RM, Bangsbo J, Stathis CG, Bishop DJ. Increased FXRD1 and PGC-1 α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. *Acta Physiol (Oxf)*. 2018 Jun;223(2):e13045. doi: 10.1111/apha.13045.
5. Preobrazenski N, Islam H, Drouin PJ, Bonafiglia JT, Tschakovsky ME, Gurd BJ. A novel gravity-induced blood flow restriction model augments ACC phosphorylation and PGC-1 α mRNA in human skeletal muscle following aerobic exercise: a randomized crossover study. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2020 Jun;45(6):641-649. doi: 10.1139/apnm-2019-0641.
6. Christiansen D, Bishop DJ. Aerobic-interval exercise with blood flow restriction potentiates early markers of metabolic health in man. *Acta Physiol (Oxf)*. 2022 Feb;234(2):e13769. doi: 10.1111/apha.13769.
7. Cohen JN, Kuikman MA, Politis-Barber V, Stairs BE, Coates AM, Millar PJ, Burr JF. Blood flow restriction and stimulated muscle contractions do not improve metabolic or vascular outcomes following glucose ingestion in young, active individuals. *J Appl Physiol (1985)*. 2022 Jul 1;133(1):75-86. doi: 10.1152/jappphysiol.00178.2022.
8. Nielsen JL, Aagaard P, Prokhorova TA, Nygaard T, Bech RD, 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.
9. Сверчков В.В. Силовые тренировки с ограничением кровотока: расход энергии, потребление кислорода, кислородный долг и метаболический эквивалент у мужчин с метаболическим синдромом / В.В. Сверчков, Е.В. Быков // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. – 2022. - №4(36). – С. 20-26.
10. Сверчков В.В., Быков Е.В. Влияние силовых тренировок с ограничением кровотока на состав тела у лиц с метаболическим синдромом: рандомизированное контролируемое исследование. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(3): 59-65. doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-59-65.

References:

1. Rao Kondapally Seshasai S, Kaptoge S, Thompson A, Di Angelantonio E, Gao P, Sarwar N, Whincup PH, Mukamal KJ, Gillum RF, Holme I, Njølstad I, Fletcher A, Nilsson P, Lewington S, Collins R, Gudnason V, Thompson SG, Sattar N, Selvin E, Hu FB, Danesh J; Emerging Risk Factors Collaboration.

Diabetes mellitus, fasting glucose, and risk of cause-specific death. N Engl J Med. 2011 Mar 3;364(9):829-841. doi: 10.1056/NEJMoa1008862.

2. Formiga MF, Fay R, Hutchinson S, Locandro N, Ceballos A, Lesh A, Buscheck J, Meanor J, Owens JG, Cahalin LP. EFFECT OF AEROBIC EXERCISE TRAINING WITH AND WITHOUT BLOOD FLOW RESTRICTION ON AEROBIC CAPACITY IN HEALTHY YOUNG ADULTS: A SYSTEMATIC REVIEW WITH META-ANALYSIS. Int J Sports Phys Ther. 2020 Apr;15(2):175-187.

3. Abe T, Fujita S, Nakajima T, Sakamaki M, Ozaki H, Ogasawara R, Sugaya M, Kudo M, Kurano M, Yasuda T, Sato Y, Ohshima H, Mukai C, Ishii N. Effects of Low-Intensity Cycle Training with Restricted Leg Blood Flow on Thigh Muscle Volume and VO2MAX in Young Men. J Sports Sci Med. 2010 Sep 1;9(3):452-8.

4. Christiansen D, Murphy RM, Bangsbo J, Stathis CG, Bishop DJ. Increased FXR1 and PGC-1α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. Acta Physiol (Oxf). 2018 Jun;223(2):e13045. doi: 10.1111/apha.13045.

5. Preobrazenski N, Islam H, Drouin PJ, Bonafiglia JT, Tschakovsky ME, Gurd BJ. A novel gravity-induced blood flow restriction model augments ACC phosphorylation and PGC-1α mRNA in human skeletal muscle following aerobic exercise: a randomized crossover study. Appl Physiol Nutr Metab. 2020 Jun;45(6):641-649. doi: 10.1139/apnm-2019-0641.

6. Christiansen D, Bishop DJ. Aerobic-interval exercise with blood flow restriction potentiates early markers of metabolic health in man. Acta Physiol (Oxf). 2022 Feb;234(2):e13769. doi: 10.1111/apha.13769.

7. Cohen JN, Kuikman MA, Politis-Barber V, Stairs BE, Coates AM, Millar PJ, Burr JF. Blood flow restriction and stimulated muscle contractions do not improve metabolic or vascular outcomes following glucose ingestion in young, active individuals. J Appl Physiol (1985). 2022 Jul 1;133(1):75-86. doi: 10.1152/jappphysiol.00178.2022.

8. Nielsen JL, Aagaard P, Prokhorova TA, Nygaard T, Bech RD, 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.

9. Sverchkov V.V. Strength training with blood flow restriction: energy consumption, oxygen consumption, oxygen debt and metabolic equivalent in men with metabolic syndrome / V.V. Sverchkov, E.V. Bykov // Scientific and sports Bulletin of the Urals and Siberia. – 2022. - №4(36). – Pp. 20-26.

10. Sverchkov V.V., Bykov E.V. The effect of strength training with blood flow restriction on body composition in individuals with metabolic syndrome: a randomized controlled trial. Bulletin of Restorative Medicine. 2023; 22(3): 59-65. doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-59-65.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Быков Евгений Витальевич Доктор медицинских наук, профессор, проректор по НИР ФГБОУ ВО УралГУФК Г. Челябинск, Россия <i>Вклад в работу 50%</i>	Evgeniy V. Bykov D-r.sci., Prof, vice-rector UralGUFC Chelyabinsk, Russia <i>Contribution to the work 50%</i>
Сверчков Вадим Владимирович мл.научный сотрудник НИИ Олимпийского спорта ФГБОУ ВО УралГУФК Челябинск, Россия <i>Вклад в работу 50%</i> <i>Автор ответственный за переписку</i>	Vadim V. Sverchkov junior researcher Research Institute of Olympic Sports UralGUFC Chelyabinsk, Russia <i>Contribution to the work 50%</i> <i>The author responsible for the correspondence</i>