Дата публикации: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_12
УДК 796.015.527

Publication date: 01.12.2023
DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_12
UDC 796.015.527

ОБ АКТИВНЫХ МЕТОДАХ ОГРАНИЧЕНИЯ КРОВОТОКА: ОБЗОР

Ф.А. Колосков, А.В. Мештель, А.Б. Мирошников
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», г. Москва, Россия

Аннотация. Тренировки с ограничением кровотока, несмотря на малоизученные механизмы, являются хорошим методом улучшения мышечной силы, аэробной и анаэробной работоспособности. Данный метод используется при силовых тренировках, однако также может иметь высокий потенциал при других модальностей физической нагрузки. Данный обзор обобщает данные исследований, изучающих влияние окклюзионного тренинга при различных методах физической нагрузки на мышечную массу, показатели работоспособности и соединительные ткани опорно-двигательного аппарата. Были включены исследования, рассматривающие только активные методы ограничения кровотока.
Ключевые слова: тренировка с ограничением кровотока, силовые тренировки, мышечная сила, работоспособность.

ABOUT ACTIVE METHODS OF BLOOD FLOW RESTRICTION: REVIEW

F.A. Koloskov, A.V. Meshtel, A.B. Miroshnikov
Russian University of Sport “GTSOLIFK”, Moscow, Russia

Annotation. Blood flow restriction training, although the mechanisms are poorly understood, is a good method for improving muscle strength, aerobic and anaerobic performance. This method is used in strength training, though it can also have high potential in other modalities of physical activity. This review summarizes data from studies examining the effects of occlusion training using various methods of physical activity on muscle mass, performance indices, and the musculoskeletal system’s connective tissues. We included studies examining only active methods of blood flow restriction.
Keywords: blood flow restriction training, strength training, muscle strength, performance.

Введение. С конца 1990-х годов в многочисленных исследованиях было показано, что значительное увеличение силы и размеров мышц возможно при использовании тренировок с низкой нагрузкой в сочетании с ношением жгутов или надувных манжет на конечностях во время тренировок [1]. Хотя точные механизмы не известны, эти адаптации вероятно обусловлены резким усилением метаболического стресса, рекрутированием мышечных волокон и внутримышечными сигнальными процессами, возникающими при ограничении притока крови к тренируемой мускулатуре [2]. За долгие годы исследований тренировок с ограничением кровотока (blood-flow restriction (BFR)) тренировочные методы были разделены на «активные» (т.е. BFR в сочетании с физическими упражнениями) или «пассивные» (т.е. применение BFR отдельно от упражнений) и далее классифицированы на методы, которые можно рассматривать как «устоявшиеся» (т.е. имеющие достаточное количество исследований в поддержку их использования) или «развивающиеся» (т.е. потенциально полезные, но требующие дополнительных доказательств) [3]. На основании анализа проблемной ситуации, данных современной научной литературы и запросов спортивных биологов и врачей спортивной медицины была сформулирована цель исследования.

Цель исследования: определить влияние активных методов ограничения кровотока на мышечную массу, показатели работоспособности и соединительные ткани опорно-двигательного аппарата.

Методы и организация исследования. Поиск исследований проводился в базах данных PubMed, Google Scholar, MedNar и Epistemonikos по ключевым словам: “Body-flow restriction AND (Resistance training OR Exercise OR Endurance training) AND (Body mass OR Performance OR Health OR Musculoskeletal system)”.

Были рассмотрены исследования на людях, опубликованные в период с 2016 по 2023 год. Ограничений по языку публикации установлено не было.

Результаты исследования и их обсуждение. *BFR с отягощениями и низкой нагрузкой.* Наиболее тщательно изученное и зарекомендовавшее себя применение активного BFR в сочетании с тренировками с отягощениями (Resistance Training (RT)) с низкой нагрузкой для улучшения развития мышц. Несмотря на неоднородность применяемых протоколов, исследователи в целом сходятся во мнении, что RT с низкими нагрузками (20%-40% от одного повторного максимума (1ПМ)), умеренными объемами (например, 4 подхода по 30/15/15/15 повторений или подходы до отказа) и короткими периодами отдыха (30-60 с) в сочетании с BFR на уровне от 40% до 80% давления, необходимого для перекрытия артериального кровотока в состоянии покоя, приводит к существенной мышечной адаптации [4-5]. Ранее сообщалось, что увеличение размера мышц [6] и силы [7] после BFR с низкой нагрузкой сравнимо с традиционными тренировками с отягощениями с высокой нагрузкой, хотя более поздние исследования показывают, что тренировки с высокой нагрузкой вызывают большую мышечную адаптацию [8-9]. Преимущества BFR с низкой нагрузкой для развития мышц были продемонстрированы в различных группах – от здоровых тренированных пауэрлифтеров [10] до пожилых людей [11]. Было показано, что помимо увеличения размера мышц и способности генерировать силу, BFR с низкой нагрузкой вызывает гипертрофию сухожилий, аналогичную RT с высокой нагрузкой [12].

BFR с отягощениями и высокой нагрузкой. Исследователи уже более 15 лет интересуются тем, может ли добавление BFR к тренировкам с отягощениями с высокой нагрузкой (≥70% от 1 ПМ) улучшить результаты тренировок, как это было показано при тренировках с отягощениями с низкой нагрузкой. Однако результаты применения этого подхода неоднозначны: в недавнем хорошо спланированном исследовании 49 здоровых мужчин не было обнаружено различий между группами BFR и контрольной группой в размерах мышц и силовых показателях после 8-недельной тренировочной программы, несмотря на увеличение метаболического стресса при использовании BFR [13]. Хотя доказательств того, что включение BFR в тренировки с высокой нагрузкой способствует увеличению размеров и силы мышц, мало, в недавнем систематическом обзоре [14] сообщается о некоторых потенциальных преимуществах такого подхода. Тем не менее, в этой области необходимы дальнейшие исследования.

BFR с низкоинтенсивной аэробной тренировкой. Сочетание BFR с аэробной тренировкой низкой интенсивности (<50% от аэробной мощности или резерва сердечного ритма [5]) стало инновационным методом тренировок в последнее время. Существуют убедительные доказательства того, что такой метод аэробных тренировок может принести пользу сердечно-сосудистой и мышечной системам в различных группах населения, от здоровых молодых спортсменов до пожилых людей [15-17]. Недавний мета-анализ Liu и соавторов установил, что у малоподвижных субъектов непрерывные тренировки средней интенсивности и интервальные тренировки с высокой интенсивностью приводят к увеличению капилляризации, тогда как тренировки низкой интенсивности оказывают меньший эффект [18]. Однако, мета-анализ Li и соавторов [19] показал, что упражнения с BFR низкой интенсивности вызывали больше экспрессии мРНК

факторов, связанных с ангиогенезом, чем упражнения без BFR. Учитывая, что капилляризация является ограничивающим фактором работоспособности [20], очевидно, данные мета-анализа Li и соавторов [19] проливают свет на механизмы повышения работоспособности спортсменов с помощью BFR. Несмотря на растущий объем доказательств, подтверждающих преимущества BFR в сочетании с низкоинтенсивной аэробной работой как общепринятого метода тренировки, необходимы дальнейшие исследования и оптимизация протоколов, используемых в этих исследованиях. Существующая литература по данному методу BFR характеризуется значительной неоднородностью с точки зрения модальностей упражнений, давления в манжетах и продолжительности тренировок, что затрудняет определение наиболее эффективного подхода для разных групп населения и целей.

BFR с высокоинтенсивной аэробной тренировкой. Недавно BFR был исследован во время интервальных тренировок средней или высокой интенсивности в качестве развивающего метода для усиления физиологического стимула к адаптации [21]. Также было показано, что бег или езда на велосипеде средней или высокой интенсивности улучшают размер и силу мышц ног [22], скорость развития силы [23], максимальную аэробную работоспособность или ее физиологические детерминанты [24] и анаэробную работоспособность по сравнению с физическими упражнениями без BFR. Специалистам следует учитывать, что тренировки с более высокой интенсивностью BFR могут усиливать утомление, что может негативно сказаться на качестве тренировки или переносимости нагрузки, если не внести соответствующие коррективы в протокол упражнений.

Заключение. Литература по ограничению кровотока при физической нагрузке расширила информацию о ранних исследованиях, включающих силовые тренировки BFR с низкой нагрузкой, включив в них другие методы (силовые тренировки BFR с высокой нагрузкой и BFR в сочетании с аэробными тренировками разной интенсивностью). Расширились и желаемые результаты вмешательств после применения BFR: исследования показали улучшение мышечного развития, кардиореспираторной выносливости, функциональных возможностей, адаптации сухожилий, костей и сосудов, физической и спортивной работоспособности, уменьшение болевых ощущений и ослабление атрофии после длительной гиподинамии. Будущие исследования должны интегрировать относительное давление в манжетах, чтобы уменьшить существующие неоднородности и уточнить оптимальные протоколы, чтобы вызвать желаемую адаптацию к методам BFR. Наконец, хотя о серьезных побочных эффектах на применение BFR редко сообщается, если его назначают в соответствии с опубликованными рекомендациями, необходимы дополнительные исследования для подтверждения безопасности этих методов для групп населения, начиная от здоровых спортсменов и заканчивая пожилыми и клиническими группами населения.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Участие авторов. Концепция, дизайн исследования и написание текста – Ф.А. Колосков; сбор материала – Ф.А. Колосков, А.В Мештель; редактирование – А.Б. Мирошников.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Authors' contribution. Concept, design of the study, writing – F.A. Koloskov; data gathering – F.A. Koloskov, A.V. Meshtel; editing – A.B. Miroshnikov.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Slysz, J. The efficacy of blood flow restricted exercise: a systematic review & meta-analysis / J. Slysz, J. Stultz, J. F. Burr // J Sci Med Sport. – 2016. – Vol. 19. – № 8. – P. 669-675. DOI: 10.1016/j.jsams.2015.09.005.
2. Application and progress of blood flow restriction training in improving muscle mass and strength in the elderly / Yuan J., Wu L., Xue Z. [et al] // Front Physiol. – 2023. – № 14. – P. 1155314. DOI: 10.3389/fphys.2023.1155314.
3. An Updated Panorama of Blood-Flow-Restriction Methods / Scott B. R., Girard O., Rolnick N. [et al]// Int J Sports Physiol Perform. – 2023. – Vol. 30. – P. 1-5. DOI: 10.1123/ijspp.2023-0135.
4. Dose-response relationship of blood flow restriction training on isometric muscle strength, maximum strength and lower limb extensor strength: A meta-analysis / Yang Q., He X. J., Li Y. D. [et al] // Front Physiol. – 2022. – Vol. 15. – P. 13-25. DOI: 10.3389/fphys.2022.1046625.
5. Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety / Patterson S. D., Hughes L., Warmington S. [et al] // Front Physiol. 2019. – Vol. 15. – P. 10-33. DOI: 10.3389-/fphys.2019.00533.
6. Blood-Flow-Restriction-Training-Induced Hormonal Response is not Associated with Gains in Muscle Size and Strength / Laurentino G.C., Loenneke J. P., Ugrinowitsch C. J. [et al] // Hum Kinet. – 2022. – Vol. 83. – P. 235-243. DOI: 10.2478/hukin-2022-0095.
7. Effect of blood-flow restricted vs heavy-load strength training on muscle strength: Systematic review and meta-analysis / Grønfeldt B. M., Lindberg Nielsen J., Mieritz R. [et al] // Scand J Med Sci Sports. – 2020. – Vol. 30. – № 5. – P. 837-848. DOI: 10.1111/sms.13632.
8. Effects of Blood Flow Restriction Therapy for Muscular Strength, Hypertrophy, and Endurance in Healthy and Special Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis / Perera E., Zhu X. M., N .S. Horner [et al] // Clin J Sport Med. – 2022. – Vol. 32. – № 5. – P. 531-545. DOI: 10.1097/JSM. 0000000000000991.
9. Pavlou, K. The effects of upper body blood flow restriction training on muscles located proximal to the applied occlusive pressure: A systematic review with meta-analysis / K. Pavlou, V. Korakakis, R. Whiteley // PLoS One. – 2023. – Vol. 18. – № 3. – P. 28-33. DOI: 10.1371/journal.pone.0283309.
10. Type 1 Muscle Fiber Hypertrophy after Blood Flow-restricted Training in Powerlifters / Bjørnsen T., Wernbom M., Kirketeig A. [et al] // Med Sci Sports Exerc. – 2019. – Vol. 51. – № 2. – P. 288-298. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001775.
11. Blood flow restriction resistance training as an alternative to resistance training alone to improve strength in elderly: a systematic review with meta-analysis / Mallmann A. L., dos Santos L. P., Dória L. D. [et al] // MedRxiv. – 2023. – Vol 1(19). – P. 23284773. DOI: 10.1101/2023.01.19.23284773.
12. Low-Load Blood Flow Restriction and High-Load Resistance Training Induce Comparable Changes in Patellar Tendon Properties / Centner C., Jerger S., Lauber B. [et al] // Med Sci Sports Exerc. – 2022. – Vol. 54. – № 4. – P. 582-589. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002824.
13. Blood Flow Restriction Does Not Promote Additional Effects on Muscle Adaptations When Combined With High-Load Resistance Training Regardless of Blood Flow Restriction Protocol / Teixeira E. L., Ugrinowitsch C., de Salles V. Painelli [et al] // J Strength Cond Res. – 2021. – Vol. 35. – № 5. – P. 1194-1200. DOI: 10.1519/JSC. 0000000000003965.
14. Can Blood Flow Restriction Training Benefit Post-Activation Potentiation? A Systematic Review of Controlled Trials / Tian H., Li H., Liu H. [et al] // Int J Environ Res Public Health. – 2022. – Vol. 19. – № 19. – P. 11954. DOI: 10.3390/ijerph-191911954.
15. Acute and Chronic Responses of Aerobic Exercise With Blood Flow Restriction: A Systematic Review / Silva J. C. G., Pereira E. A. Neto, Pfeiffer P. A. S. [et al] // Front Physiol. – 2019. – Vol. 10. DOI: 10.3389/fphys.2019.01239.
16. Castilla-López, C. Blood flow restriction during training for improving the aerobic capacity and sport performance of trained athletes: A systematic review and meta-analysis / C. Castilla-López, J. Molina-Mula, N. Romero-Franco // J Exerc Sci Fit. – 2022. – Vol. 20. – № 2. – P. 190-197. DOI: 10.1016/j.jesf.2022.03.004.
17. Flocco P. Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis / P. Flocco, L. Bernabei // Sport Sciences for Health. – 2023. – Vol. 19. – № 2. – P. 389-403. DOI: 10.1007/s11332-022-00944-x.
18. Effects of Exercise Training Intensity and Duration on Skeletal Muscle Capillarization in Healthy Subjects: A Meta-analysis / Liu Y.,

Christensen P. M., Hellsten Y. [et al] // Med Sci Sports Exerc. – 2022. – Vol. 54. – № 10. – P. 1714-1728. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002955.
19. The Effect of Blood Flow Restriction Exercise on Angiogenesis-Related Factors in Skeletal Muscle Among Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis / Li S., Li S., Wang L. [et al] // Front Physiol. – 2022. – Vol. 17. – P. 13. DOI: 10.3389/fphys.2022.814965.
20. Hellsten, Y. Peripheral limitations for performance: Muscle capillarization / Y. Hellsten, L. Gliemann // Scand J Med Sci Sports. – 2023. – Vol. 28. DOI: 10.1111/sms.14442.
21. Low-intensity swimming with blood flow restriction over 5 weeks increases VO_2peak: A randomized controlled trial using Bayesian informative prior distribution / Held S., Rappelt L., Deutsch J. P. [et al] // Eur J Sport Sci. – 2023. – Vol. 23. – № 8. – P. 1622-1628. DOI: 10.1080/17461391.2023.2180671.
22. Running Training Combined With Blood Flow Restriction Increases Cardiopulmonary Function and Muscle Strength in Endurance Athletes / Chen Y. T., Hsieh Y. Y., Ho J. Y. [et al] // J Strength Cond Res. – 2022. – Vol. 36. – № 5. – P. 1228-1237. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003938.
23. Low-Intensity Sprint Training With Blood Flow Restriction Improves 100-m Dash / Behringer M., Behlau D., Montag J. C. K. [et al] // J Strength Cond Res. – 2017. – Vol. 31. – № 9. – P. 2462-2472. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001746.
24. Training with blood flow restriction increases femoral artery diameter and thigh oxygen delivery during knee-extensor exercise in recreationally trained men / Christiansen D., Eibye K., Hostrup M. [et al] // J Physiol. – 2020. – Vol. 598. – № 12. – P. 2337-2353. DOI: 10.1113/JP279554.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Филипп Александрович Колосков – аспирант кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: 79057830665@ya.ru.
Александр Виталиевич Мештель – аспирант кафедры спортивной медицины, преподаватель кафедры Анатомии и биологической антропологии, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК» Москва, e-mail: meshtel.author@yandex.ru.
Александр Борисович Мирошников – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры спортивной медицины, Российский университет спорта «ГЦОЛИФК», Москва, e-mail: benedikt116@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Filipp Aleksandrovich Koloskov – Post-Graduate Student of the Sports Medicine Department, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: 79057830665@ya.ru.
Aleksandr Vitalievich Meshtel – Post-Graduate Student of the Sports Medicine Department, teacher of the Department of Anatomy and Biological Anthropology, Russian University of Sports "GTSOLIFK" Moscow, e-mail: meshtel.author@yandex.ru.
Aleksandr Borisovich Miroshnikov – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Sports Medicine Department, Russian University of Sport "GTSOLIFK", Moscow, e-mail: benedikt116@mail.ru.

Для цитирования: Колосков, Ф. А. Об активных методах ограничения кровотока: обзор / Ф. А. Колосков, А. В. Мештель, А. Б. Мирошников // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_12

For citation: Koloskov F.A., Meshtel A.V., Miroshnikov A.B. About active methods of blood flow restriction: review. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 4. DOI: 10.24412/2588-0500-2023_07_04_12