

Самсонова, А.В. Обзор исследований тренировок с ограничением кровотока / А.В.Самсонова, Е.П. Токмакова, Г.П. Виноградов // Культура физическая и здоровье, 2017.- № 3 (63).- С. 89-93.

УДК 796.015.527.2

Самсонова А.В., Токмакова Е.П., Виноградов Г.П.

**ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ТРЕНИРОВОК С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА
(KAATSU TRAINING)**

Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлен обзор исследований тренировок с ограничением кровотока с небольшими или средними отягощениями, которые позволяют за короткий отрезок времени повысить уровень силы скелетных мышц или не допустить их атрофию. На основе отечественной и зарубежной научной литературы авторами рассмотрены следующие аспекты данного вида тренировок: цели и задачи гипоксической силовой тренировки, особенности методики гипоксической силовой тренировки, результаты применения гипоксической силовой тренировки, механизмы, лежащие в основе воздействия гипоксической силовой тренировки на скелетные мышцы человека.

Ключевые слова: тренировка с ограничением кровотока, гипоксическая силовая тренировка, kaatsu training, blood flow restricted resistance training (BFRRT), blood flow restricted exercise (BFRE), blood flow restriction training (BFRT).

Samsonova A.V., Tokmakova E.P., Vinogradov G.P.,

REVIEW OF RESEARCHES ON TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION (KAATSU TRAINING)

Abstract. The article presents an overview of studies of training with blood flow restriction with small or medium weights, which allows to increase the level of skeletal muscle strength or prevent their atrophy in a short period of time. On the basis of domestic and foreign scientific literature, the authors explained the following aspects of this type of training: goals and tasks of hypoxic strength training, features of the hypoxic strength training technique, results of hypoxic strength training, mechanisms underlying the effects of hypoxic strength training on human skeletal muscles.

Key words: blood flow restriction training, hypoxic strength training, kaatsu training, blood flow restricted training (BFRRT), blood flow restricted exercise (BFRE), blood flow restriction training (BFRT).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в зарубежных исследованиях активно изучается новый метод силового тренинга - гипоксическая¹ силовая тренировка, позволяющая увеличить силу и добиться значительной гипертрофии скелетных мышц. Эта методика разработана японским ученым Йошиаки Сато в 70-х годах XX века и получила название KAATSU TRAINING, что в дословном переводе означает дополнительное давление. В дальнейшем Йошиаки Сато и его ученики продолжили изучение этого метода силового тренинга [11; 3; 16]. В настоящее время помимо японских ученых эффективность этой методики изучается рядом европейских и американских исследователей [13; 14; 15; 2; 7; 10; 5].

Суть гипоксической силовой тренировки заключается в том, что при выполнении силовых упражнений, а также иногда и во время отдыха между сетами, посредством бароманжеты, которая накладывается на верхнюю или нижнюю конечность, частично ограничивается кровоток в артериях (рис.1). Последующие исследования

¹ Гипоксия (кислородное голодание) – пониженное содержание кислорода в организме или отдельных органах и тканях

показали, что такого рода гипоксическая силовая тренировка очень эффективна для увеличения силы скелетных мышц человека и их гипертрофии.

В англоязычной научной литературе тренировки с ограничением кровотока обычно обозначают следующими терминами: BFRRT – blood flow restricted resistance training [13; 14]; BFRE – blood flow restricted exercise [2; 10; 4; 9], BFRT – blood flow restriction training [6; 5; 7].

Цели и задачи гипоксической силовой тренировки

В основном гипоксическая силовая тренировка применяется в двух направлениях. Во-первых, эта разновидность силовой тренировки используется индивидуумами различного возраста, пола и уровня подготовленности (в том числе и спортсменами) для увеличения силы и гипертрофии скелетных мышц [3; 16; 13]. Во-вторых, гипоксическая силовая тренировка используется для уменьшения последствий атрофии мышц после травм и хирургических операций [11, 8].

Особенности методики гипоксической силовой тренировки

Для гипоксической силовой тренировки используются манжеты шириной от 30 мм до 135 мм, в которых при выполнении силовых упражнений сохраняется давление



Рисунок 1. Момент проведения эксперимента [14]

от 100 до 240 мм рт. ст. Если давление в манжете составляло 100 мм рт. ст., то кровоток в бедренной артерии снижался на 50-60% [13].

В некоторых программах тренировки давление в манжетах сохраняется только в течение выполнения силовых упражнений, в других – еще и в паузах отдыха между сетами (табл.1). Стоимость методики составляет от 200 до 4000 долларов США.

Таблица 1

Виды программ гипоксической силовой тренировки

Автор, год	Количество тренировок в день	Кол-во сетов	Кол-во повторений в сете	Длительность отдыха между сетами, с	Нагрузка от максимума, %	Давление в манжете
В. Abe et al., 2005	2-3	3	15	30	20	Кратковременное 150 мм. рт. ст.
М. Wernborn et al., 2007	1	4	до отказа	30	40-60	Постоянное 150 мм. рт. ст.

Результаты применения гипоксической силовой тренировки

Приведем несколько научных исследований, характеризующих результаты, полученные в этих двух направлениях.

Направление первое – увеличение силы и гипертрофия скелетных мышц человека

Одной из положительных особенностей гипоксической силовой тренировки является увеличение силы и гипертрофия скелетных мышц при *достаточно коротком периоде тренировок (1-2 недели)*. Так, например, в исследованиях [3] было установлено, что площадь поперечного сечения четырехглавой мышцы бедра увеличилась на 7,7% после двух недель тренировок. При этом прирост площади поперечного сечения мышечных волокон I типа составил 6%, а второго – 28% [16].

Второй положительной особенностью гипоксической силовой тренировки является *использование небольших или средних отягощений (20-50% от максимума)*.

При этом достигается эффект такого же уровня, как и при обычной силовой тренировке с отягощениями 70% от максимума и более [14; 2].

Направление второе – уменьшение последствий атрофии мышц после травм и хирургических операций

Y. Takarada, H. Takazawa, N. Ishii [11] в течение двух недель изучали влияние ишемии² четырехглавой мышцы бедра на уменьшение ее атрофии в группе пациентов (мужчин и женщин в возрасте $22,4 \pm 2,1$ года), содержащихся на постельном режиме после хирургической операции на коленном суставе. Ишемия мышцы возникала из-за использования бароманжеты шириной 9 см, в которой в течение пяти минут поддерживалось давление 238 мм рт. ст. В контрольной группе (без ишемии), площадь поперечного сечения мышц-разгибателей и сгибателей бедра снизилась на $20,7 \pm 2,2\%$ и $11,3 \pm 2,6\%$ соответственно в то время как в экспериментальной группе, использующей ишемию четырехглавой мышцы бедра, она снизилась на $9,4 \pm 1,6\%$ и $9,2 \pm 2,6\%$, соответственно. Из этого авторы сделали вывод, что ишемия мышц эффективно уменьшает атрофию разгибателей голени, вызванную послеоперационным бездействием.

По данным В. Rosenblatt [8] использование гипоксической силовой тренировки спортсменами-олимпийцами Великобритании, имеющих травмы коленного сустава, позволило повысить уровень силы четырехглавой мышцы бедра на 28% в течение 9 дней тренировки.

МЕХАНИЗМЫ, ЛЕЖАЩИЕ В ОСНОВЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГИПОКСИЧЕСКОЙ СИЛОВОЙ ТРЕНИРОВКИ НА СКЕЛЕТНЫЕ МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА

Можно выделить несколько механизмов, лежащих в основе влияния гипоксии на силу и гипертрофию скелетных мышц человека.

Во-первых, доказано, что через девятнадцать дней после гипоксической силовой тренировки количество клеток сателлитов увеличилось в два раза, то есть на 100% [2], что значительно превышает 20-40% увеличение количества клеток-са-

² Ишемия – местное снижение кровообращения

теллитов, наблюдаемое после нескольких месяцев традиционных силовых тренировок. Увеличение количества клеток-сателлитов коррелировало с возрастанием количества мио ядер на 22-33%, хотя мио ядерный домен (объем мышечного волокна /количество ядер) остался без изменений (~1800-2100 мкм²).

Во-вторых, показано, что в условиях гипоксии дополнительно рекрутируются мышечные волокна II типа [11; 14; 15]. Это подтверждается высоким уровнем электрической активности мышц [13; 14], а также пониженным уровнем креатин-фосфата в 93% быстрых мышечных волокон.

Y. Takarada, H. Takazawa, N. Ishii [11] обращают внимание на тот факт, что в мышцах ног больных сердечной недостаточностью, хроническими обструктивными заболеваниями легких и периферическими сосудистыми заболеваниями имеют место гипертрофия и увеличение процентного содержания мышечных волокон II типа. Исследования российских ученых [1] подтверждают этот факт. Показано достоверное увеличение процента мышечных волокон IIВ типа у больных хронической сердечной недостаточностью по сравнению со здоровыми индивидуумами.

В-третьих, ишемия мышц вызывает увеличение производства активных форм кислорода [11; 14; 2]. Следствием этого является повреждение мембран мышечных волокон и органоидов, что приводит к делению и последующему увеличению количества клеток-сателлитов и мио ядер [2]. Возрастание количества мио ядер приводит к повышению синтеза белка.

В-четвертых, гипоксическая силовая тренировка может вызывать повреждения мышечных волокон, однако основная причина повреждения до сих пор неизвестна [15].

В-пятых, в гипоксических условиях в крови увеличивается уровень норадреналина, адреналина и гормона роста, что повышает анаболический фон и стимулирует синтез белка [11; 2; 15].

ВЫВОДЫ

В настоящее время в зарубежной литературе активно изучаются эффекты и

механизмы гипоксической силовой тренировки с небольшими или средними отягощениями. Такой тип тренировки позволяет за короткий отрезок времени повысить уровень силы скелетных мышц или не допустить их атрофию, что очень важно при спортивных травмах. Гипертрофия скелетных мышц при гипоксической силовой тренировке связана с увеличением количества клеток-сателлитов; дополнительного рекрутирования мышечных волокон II типа; увеличением активных форма кислорода; повреждением мышечных волокон, а также метаболическим стрессом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойцов, С.А. Структурно-функциональное состояние поперечно-полосатой мускулатуры у больных с хронической сердечной недостаточностью различных функциональных классов / С.А. Бойцов, П.Ю. Кириченко, А.Н. Пинегин, А.Е. Кузнецов, А.И. Корзун, Н.Н. Рыжман // Журнал Сердечная недостаточность, 2003. – Т. 4. – № 4. – С. 194-198.
2. Aagaard P. Hyperactivation of myogenic satellite cells with blood flow restricted exercise // 8th International Conference on Strength Training, 2012 Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.29-32.
3. Abe, T. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily Kaatsu resistance training / T. Abe, T. Yasuda, T. Midorikawa, Y. Sato, C.F. Kearns, K. Inoue, K. Koizumi, N. Ishii // International Journal of Kaatsu Training Research, 2005. – No. 1. – P. 7–14.
4. Amano S. et al. Effectiveness of blood flow restricted exercise compared with standard exercise in patients with recurrent low back pain: study protocol for a randomized controlled trial / S.Amano, A.F.M. Ludin, R.Clift, M.Nakazawa et al. // Trials, 2016.– Vol. 17. P.81
5. Dankel S.J. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure // S.J. Dankel, M. B. Jessee, T. Abe, J.P. Loenneke // Sport Medicine, 2016 Vol.46.- No 1.- P. 23-33.
6. Hughes L. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis / L. Hughes, B. Paton, B. Rosenblatt, et al. //

Br. J. Sports Med. 2017. Vol. 51.- P. 1003-1011.

7. Nielsen J.L., Blood-flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage / Nielsen J.L., Aagaard P., Prokhorova T.A., Nygaard T., Bech R.D., Suetta C., Frandsen U. // J. Physiol. 2017; Vol. 15; No 595 (14) P. 4857-4873.

8. Rosenblatt, B. The effect of load blood flow restricted resistance training in rehabilitation of elite athletes / B. Rosenblatt // 8-th International Conference on Strength Training, 2012. – Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.42-43.

9. Scott B.R. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence /B.R. Scott, Loenneke J.P., Slattery K.M., Dascombe B.J. // J. Sci Med. Sport, 2016.- Vol. 19.- No 5.- P. 360-367

10. Segal N.A. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis /N.A. Segal, G.N. Williams, M.Davis, R.B.Wallace, A.Mikesky // PM R. 2015; Vol 7, No 4: 376–384.

11. Takarada, Y. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles / Y. Takarada, H. Takazawa, N. Ishii // Medicine & Science in Sports & Exercise, 2000. – Vol. 32, No. 12. – P. 2035–2039.

12. Wernbom, M. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans / M. Wernbom, J. Augustsson, R. Thomee // Sports Medicine, 2007. – Vol.37. – No 3. – P. 225-264.

13. Wernbom, M. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load / M. Wernbom, R. Järrebring, M.A. Andreasson, J. Augustsson // Journal of Strength and Conditioning Research, 2009. – Vol. 23. – No 8. – P. 2389-2395.

14. Wernborn, M. Effects of an Acute Bout of Low-Load Resistance Training with Blood Flow Restriction -with Special Reference to Muscle Damage, Hypertrophic Signaling and Satellite Cells / M. Wernborn // PhD. – The Norwegian School of Sport Sciences, 2011. – 115 p.

15. Wernbom M. Blood flow restricted resistance exercise: possible stimuli and

signaling pathways // 8th International Conference on Strength Training, 2012 Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.25-28.

16. Yasuda, T. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training / T. Yasuda, T. Abe, Y. Sato, T. Midorikawa, C.F. Kearns, K. Inoue, T. Ryushi, N. Ishii // International Journal of KAATSU Training Research, 2005. – No 1. – P. 65-70.

Bibliography

1. Boytsov, S.A. Structural and functional state of cross-striated muscles of patients with chronic heart failure of different functional classes / S.A. Boytsov, P.Yu. Kirichenko, A.N. Pinegin, A.E. Kuznetsov, A.I. Korzun, N.N. Ryzhman // Journal Heart Failure, 2003. - T. 4. - No. 4. - P. 194-198.

2. Aagaard P. Hyperactivation of myogenic satellite cells with blood flow restricted exercise // 8th International Conference on Strength Training, 2012 Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.29-32.

3. Abe, T. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily Kaatsu resistance training / T. Abe, T. Yasuda, T. Midorikawa, Y. Sato, C.F. Kearns, K. Inoue, K. Koizumi, N. Ishii // International Journal of Kaatsu Training Research, 2005. – No. 1. – P. 7–14.

4. Amano S. et al. Effectiveness of blood flow restricted exercise compared with standard exercise in patients with recurrent low back pain: study protocol for a randomized controlled trial / S.Amano, A.F.M. Ludin, R.Clift, M.Nakazawa et al. // Trials, 2016.– Vol. 17. P.81

5. Dankel S.J. The Effects of Blood Flow Restriction on Upper-Body Musculature Located Distal and Proximal to Applied Pressure // S.J. Dankel, M. B. Jessee, T. Abe, J.P. Loenneke // Sport Medicine, 2016 Vol.46.- No 1.- P. 23-33.

6. Hughes L. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis / L. Hughes, B. Paton, B. Rosenblatt, et al // Br. J. Sports Med. 2017. Vol. 51.- P. 1003-1011.

7. Nielsen J.L., Blood-flow restricted training leads to myocellular macrophage infiltration and upregulation of heat shock proteins, but no apparent muscle damage / Nielsen J.L., Aagaard P., Prokhorova T.A., Nygaard T., Bech R.D., Suetta C., Frandsen U. // *J. Physiol.* 2017; Vol. 15; No 595 (14) P. 4857-4873.
8. Rosenblatt, B. The effect of load blood flow restricted resistance training in rehabilitation of elite athletes / B. Rosenblatt // 8-th International Conference on Strength Training, 2012. – Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.42-43.
9. Scott B.R. Blood flow restricted exercise for athletes: A review of available evidence /B.R. Scott, Loenneke J.P., Slattery K.M., Dascombe B.J. // *J. Sci Med. Sport*, 2016.- Vol. 19.- No 5.- P. 360-367
10. Segal N.A. Efficacy of Blood Flow Restricted Low-Load Resistance Training in Women with Risk Factors for Symptomatic Knee Osteoarthritis /N.A. Segal, G.N. Williams, M.Davis, R.B.Wallace, A.Mikesky // *PM R.* 2015; Vol 7, No 4: 376–384.
11. Takarada, Y. Applications of vascular occlusion diminish disuse atrophy of knee extensor muscles / Y. Takarada, H. Takazawa, N. Ishii // *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2000. – Vol. 32, No. 12. – P. 2035–2039.
12. Wernbom, M. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans / M. Wernbom, J. Augustsson, R. Thomee // *Sports Medicine*, 2007. – Vol.37. – No 3. – P. 225-264.
13. Wernbom, M. Acute effects of blood flow restriction on muscle activity and endurance during fatiguing dynamic knee extensions at low load / M. Wernbom, R. Järrebring, M.A. Andreasson, J. Augustsson // *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2009. – Vol. 23. – No 8. – P. 2389-2395.
14. Wernborn, M. Effects of an Acute Bout of Low-Load Resistance Training with Blood Flow Restriction -with Special Reference to Muscle Damage, Hypertrophic Signaling and Satellite Cells / M. Wernborn // PhD. – The Norwegian School of Sport Sciences, 2011. – 115 p.
15. Wernbom M. Blood flow restricted resistance exercise: possible stimuli and signaling pathways // 8th International Conference on Strength Training, 2012 Oslo, Norway, Norwegian School of Sport Sciences. – P.25-28.

16. Yasuda, T. Muscle fiber cross-sectional area is increased after two weeks of twice daily KAATSU-resistance training / T. Yasuda, T. Abe, Y. Sato, T. Midorikawa, C.F. Kearns, K. Inoue, T. Ryushi, N. Ishii // International Journal of KAATSU Training Research, 2005. – No 1. – P. 65-70.