



Влияние силовых тренировок с ограничением кровотока на состав тела у лиц с метаболическим синдромом: рандомизированное контролируемое исследование

Свечков В.В.* , Быков Е.В.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. Низкоинтенсивные силовые тренировки с ограничением кровотока представляют собой эффективную стратегию для увеличения мышечной массы и силы, а также снижения избыточного отложения подкожного и висцерального жира. В последние годы данный метод стали применять в различных популяциях.

ЦЕЛЬ. Оценить влияние низкоинтенсивной силовой тренировки с ограничением кровотока на антропометрические показатели и состав тела у мужчин с метаболическим синдромом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании приняли участие 60 нетренированных мужчин (средний возраст — $38,7 \pm 5,6$ года), по состоянию здоровья соответствующих критериям метаболического синдрома. Участники были распределены на три группы по режимам силовой тренировки: низкоинтенсивная силовая с ограничением кровотока; высокоинтенсивная силовая; низкоинтенсивная силовая без ограничения кровотока. До и после 12 недель тренировок в группах оценивались: индекс массы тела, жировая масса, область висцерального жира, мышечно-скелетная масса, окружность талии.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Выявлено статистически значимое снижение жировой массы, области висцерального жира, обхвата талии и повышение мышечно-скелетной массы ($p < 0,05$) в группах низкоинтенсивной силовой тренировки с ограничением кровотока и высокоинтенсивной силовой тренировки. В показателях мужчин, относящихся к группе низкоинтенсивной силовой тренировки без ограничения кровотока, не обнаружено статистически значимых изменений ($p > 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Таким образом, низкоинтенсивные силовые тренировки с ограничением кровотока эффективно изменяют состав тела мужчин с метаболическим синдромом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: метаболический синдром, силовая тренировка с ограничением кровотока, жировая масса, мышечно-скелетная масса, гипертрофия мышц.

Для цитирования / For citation: Свечков 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. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-59-65> [Sverchkov V.V., Bykov E.V. Effect of Blood Flow-Restricted Strength Training on Body Composition: a Randomized Controlled Study of Patients with Metabolic Syndrome. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(3): 59-65. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-59-65> (In Russ.).]

***Для корреспонденции:** Свечков Вадим Владимирович, E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru

Статья получена: 03.04.2023

Поступила после рецензирования: 21.05.2023

Статья принята к печати: 09.06.2023

Effect of Blood Flow-Restricted Strength Training on Body Composition: a Randomized Controlled Study of Patients with Metabolic Syndrome

 Vadim V. Sverchkov*,  Evgeny V. Bykov

Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. Low-intensity resistance training with blood flow restriction is an effective strategy for increasing muscle mass and strength, as well as reducing excess subcutaneous and visceral fat deposition. In recent years, this method has been used in various populations. The purpose of this study was to evaluate the effect of low-intensity resistance training with blood flow restriction on anthropometric parameters and body composition in men with metabolic syndrome.

AIM. To evaluate the effect of low-intensity strength training with blood flow restriction on anthropometric indices and body composition in men with metabolic syndrome.

MATERIALS AND METHODS. The study involved 60 untrained men (mean age 38.7 ± 5.6 years) who meet the criteria for metabolic syndrome due to health reasons. Participants were divided into three groups according to resistance training regimens: low-intensity resistance with blood flow restriction; high-intensity training; low-intensity training without blood flow restriction. Before and after 12 weeks of training, the groups were assessed for body mass index, fat mass, visceral fat area, musculoskeletal mass, waist circumference.

RESULTS. There was a statistically significant decrease in fat mass, visceral fat area, waist circumference and an increase in musculoskeletal mass ($p < 0.05$) in the groups of low-intensity strength training with blood flow restriction and high-intensity strength training. In the parameters of men belonging to the group of low-intensity strength training without blood flow restriction, no statistically significant changes were found ($p > 0.05$).

CONCLUSION. In summary, the study found that low-intensity resistance training with blood flow restriction effectively altered the body composition of men with metabolic syndrome.

KEYWORDS: metabolic syndrome, strength training with blood flow restriction, fat mass, musculoskeletal mass, muscle hypertrophy.

For citation: Sverchkov V.V., Bykov E.V. Effect of Blood Flow-Restricted Strength Training on Body Composition: a Randomized Controlled Study of Patients with Metabolic Syndrome. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2023; 22(3): 59-65. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-3-59-65> (In Russ.).

***For correspondence:** Vadim V. Sverchkov, E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru

Received: 03.04.2023

Revised: 21.05.2023

Accepted: 09.06.2023

ВВЕДЕНИЕ

Тренировка с ограничением кровотока — это метод, основанный на использовании специальной сдавливающей манжеты в сочетании с низкоинтенсивными силовыми или аэробными упражнениями. Использование данного метода вызывает ишемию в дистальных отделах конечностей за счет давления манжеты, что стимулирует мышечный рост и улучшает мышечную функцию даже при относительно низкой интенсивности упражнений [1].

Предыдущие исследования показали, что силовые тренировки в сочетании с ограничением кровотока могут активировать анаболический сигнальный путь мишени рапамицина у млекопитающих в мышцах и стимулировать синтез белка [2]. Также было установлено, что ограничение кровотока во время периодов отдыха при высокоинтенсивных тренировках с отягощениями при-

водило к подавлению микроРНК miR-206 и увеличению экспрессии белка Pax7, активируя миогенез посредством регуляции пролиферации клеток-предшественников мышц [3]. Не только силовая, но и аэробная нагрузка низкой интенсивности в сочетании с ограничением кровотока повышала активность анаболических сигнальных путей [4].

Основными механизмами, лежащими в основе положительных анаболических эффектов тренировок с ограничением кровотока, может быть повышение внутриклеточного метаболического стресса, секреция анаболических гормонов, рекрутирование мышечных волокон и отек клеток [5]. Для тех, кто не может выполнять высокоинтенсивные силовые тренировки, данный метод является хорошей альтернативой для развития/поддержания мышечной массы и силы [6].

Известно, что масса скелетных мышц является одним из основных модифицируемых факторов, которые могут смягчить и/или предотвратить возникновение метаболического синдрома (МС) [7]. Так, в исследовании с участием 499 648 субъектов низкая относительная безжировая масса тела в значительной степени ассоциировалась с метаболически нездоровым статусом [8]. В другом исследовании с выборкой в 6370 участников аппендикулярная масса мышц с поправкой на рост была обратно связана с распространенностью МС среди пожилых людей [9]. Наконец, недавний метаанализ показал, что более низкий процент безжировой массы тела у детей и подростков связан с резистентностью к инсулину/нарушением толерантности к глюкозе/МС [10].

Также в недавнем систематическом обзоре и мета-анализе было установлено, что наличие ожирения было связано с увеличением риска МС в 1,62 раза (1,62, 95 % ДИ: 1,32–1,98; $p = 0,00$) [11]. При этом наличие подкожного и/или висцерального ожирения повышает риск МС как при ИМТ < 24 кг/м², так и при ИМТ ≥ 24 кг/м² [12]. В исследовании с участием 13 620 человек установлено, что саркопения, ожирение, абдоминальное ожирение были связаны с повышенным риском МС после поправки на возраст, пол, артериальную гипертензию, сахарный диабет (СД), дислипидемию, курение, употребление алкоголя и С-реактивный белок [13].

Таким образом, ожирение, абдоминальное ожирение и саркопения в значительной степени связаны с МС. Кроме того, с увеличением неблагоприятных параметров состава тела аддитивно повышается риск МС [13]. Из этого следует, что увеличение массы скелетных мышц, уменьшение общего и висцерального ожирения могут действовать как стратегии профилактики и снижения тяжести критериев МС.

Модификация образа жизни — важная задача для лиц с МС [14]. На данный момент разрабатываются различные тренировочные протоколы, снижающие тяжесть как всех критериев МС [15], так и его отдельных компонентов [16]. Хотя низкоинтенсивные силовые тренировки (НСТ) в сочетании с ограничением кровотока привлекли внимание во всем мире, их влияние на людей с МС широко не изучалось. Таким образом, учитывая такие характеристики НСТ, как низкая интенсивность, высокая эффективность, простота и низкий риск травм, мы предположили, что данный метод подходит для людей с МС, которые не могут выполнять упражнения высокой интенсивности. НСТ с ограничением кровотока должны способствовать снижению количества подкожного и висцерального жира, а также увеличению безжировой массы тела.

ЦЕЛЬ

Выявить влияние низкоинтенсивной силовой нагрузки с ограничением кровотока на антропометрические показатели и состав тела у лиц с МС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящем исследовании приняло участие 60 мужчин. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, у всех участников было получено письменное информационное согласие. Физические, антропометрические и биохимические характеристики испытуемых приведены в табл. 1.

Таблица 1. Антропометрические и биохимические характеристики участников ($\mu \pm \sigma$)

Table 1. Anthropometric and biochemical characteristics of participants ($\mu \pm \sigma$)

Параметр	Значение
Возраст, лет	38,7 ± 5,6
Вес, кг	97,25 ± 9,5
ИМТ, кг/м ²	29,98 ± 2,91
Уровень глюкозы натощак, мг/дл	103,41 ± 3,5
Обхват живота, см	99,03 ± 4,48
САД, мм рт. ст.	132,14 ± 3,64
Триглицериды, мг/дл	138,01 ± 19,09
Х-ЛПВП, мг/дл	45,74 ± 6,59

Примечание: ИМТ — индекс массы тела; САД — систолическое артериальное давление; Х-ЛПВП — холестерин липопротеинов высокой плотности.

Note: BMI — body mass index; HDL-C — high-density lipoprotein cholesterol; SBP — systolic blood pressure.

Все испытуемые имели МС в соответствии с комбинированным определением Международной диабетической федерации (IDF), Американской кардиологической ассоциации (AHA) и Национального института сердца, легких и крови (NHLBI) [17].

Для подтверждения наличия МС у обследуемых мужчин было необходимо установить наличие центрального ожирения (обхват талии от 94 см и выше) плюс два критерия из нижеперечисленных:

- 1) уровень триглицеридов крови от 150 мг/дл и выше или текущий прием препаратов, снижающих уровень триглицеридов;
- 2) содержание холестерина липопротеинов высокой плотности менее 40 мг/дл;
- 3) систолическое артериальное давление (САД) от 130 мм рт. ст. и выше, или диастолическое артериальное давление (ДАД) от 85 мм рт. ст. и выше, или текущий прием антигипертензивных препаратов;
- 4) уровень глюкозы плазмы крови более 100 мг/дл, или текущий прием сахароснижающих препаратов, или ранее диагностированный СД 2-го типа.

Ни один из испытуемых не участвовал в регулярных силовых и/или аэробных тренировках в течение как минимум 1 года до начала исследования.

Участники исследования были случайным образом разделены на три группы. Первая группа выполняла НСТ в сочетании с ограничением кровотока (НИОК; $n = 20$). Вторая группа выполняла высокоинтенсивную силовую тренировку без ограничения кровотока (ВИ; $n = 20$). Третья группа выполняла НСТ без ограничения кровотока (НИ; $n = 20$). В общей сложности испытуемые выполнили 24 тренировки (2 раза в неделю) на протяжении 12 недель.

Тренировочный протокол

Участники выполняли силовой протокол, который различался для каждой группы. Для группы НИОК: интенсивность отягощения соответствовала 30 % от максимальной

произвольной силы (МПС), в каждом упражнении выполнялось 4 подхода по схеме 30–15–15–15 повторов с паузой для отдыха: 30 секунд между подходами и 2 минуты между упражнениями. Для группы ВИ: вес отягощения — 70 % от МПС, в каждом упражнении выполнялось 4 подхода по 10 повторений с паузой для отдыха 2 минуты между подходами и упражнениями. Для группы НИ: вес отягощения — 30 % от МПС, в каждом упражнении выполнялось по 4 подхода в схеме 30–15–15–15 с паузой для отдыха: 30 секунд между подходами и 2 минуты между упражнениями.

Тренировочный протокол включал следующие упражнения: жим штанги лежа, тяга вертикального блока, разгибание в коленном суставе в тренажере, сгибание в коленном суставе в тренажере, отведение гантелей через стороны стоя, разгибание предплечий в силовом блоке, сгибание предплечий с гантелями сидя. Перед началом исследования в каждом упражнении просчитывался вторичный максимум по ранее предложенной формуле В. Epley [18]. Пересчет повторного максимума происходил каждые 4 недели.

Схема ограничения кровотока

Для создания ограничения кровотока в группе НИОК использовалась эластичная лента, обернутая вокруг проксимальной части конечностей. Эластичное ограничение соответствовало уменьшению на 25 % от объема окружности верхней конечности и на 30 % от объема окружности нижней конечности. При этом мы использовали прерывистый вариант ограничения кровотока (надевали манжету во время подхода и снимали во время паузы для отдыха), чтобы снизить дискомфорт и повысить переносимость нагрузки [19, 21]. В группах ВИ и НИ не использовали ограничение кровотока во время тренировок.

Биоимпедансометрия

Тошную массу тела (ТМ), мышечно-скелетную массу (МСМ), жировую массу (ЖМ), область висцерального жира (ОВЖ), индекс массы тела (ИМТ) измеряли с помощью анализатора состава тела InBody 720. Измерения проводили до начала и по окончании исследования. Замеры производились с утра натощак. Во время измерений испытуемые стояли босиком на детекторе, держа ручные электроды в течение одной минуты.

Окружность талии (ОТ) измеряли в положении стоя, посередине между нижним краем последнего пальпируемого ребра и гребнем подвздошной кости.

Статистический анализ

Для каждого параметра рассчитывалось среднее значение, стандартное отклонение и исправленная дисперсия. Для оценки статистической значимости между группами до и после 12-недельного вмешательства внутри каждой группы, а также до и после исследования между группами применялись критические значения Стьюдента и критические значения Фишера (при $\alpha = 0,05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

До начала исследования статистически значимых различий между группами по всем показателям не наблюдалось ($p > 0,05$). После 12 недель силовых тренировок наблюдалось статистически значимое снижение ЖМ для

НИОК (на $4,62 \pm 1,78$ кг; $p = 0,039$), для ВИ (на $4,51 \pm 1,86$ кг; $p = 0,037$); ОВЖ для НИОК (на $17,21 \pm 6,08$ см²; $p = 0,045$), для ВИ (на $16,47 \pm 4,44$ см²; $p = 0,038$); ОТ для НИОК (на $7,73 \pm 2,86$ см; $p = 0,047$), для ВИ (на $7,13 \pm 3,92$ см; $p = 0,044$), а также статистически значимое повышение МСМ для НИОК (на $3,95 \pm 1,66$ кг; $p = 0,043$), для ВИ (на $4,26 \pm 2,34$ кг; $p = 0,044$).

В группе НИ хотя и наблюдалась тенденция к снижению показателей, но ни один из них не был статистически значимым ($p > 0,05$). Мы также не наблюдали статистически значимых изменений после исследования по всем показателям между группами НИОК и ВИ ($p > 0,05$) (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам проведенного исследования мы наблюдали статистически значимое снижение ЖМ, ОВЖ и ОТ, а также увеличение МСМ в группах НИОК и ВИ после исследования. Результаты данного исследования согласуются с результатами других исследований. Так, в исследовании W. Fei на здоровых мужчинах в возрасте 30–45 лет определено, что НСТ в сочетании с ограничением кровотока значительно снижают вес тела, ИМТ, жировую массу и увеличивают мышечную массу [22]. В другом исследовании показано, что низкоинтенсивные аэробные тренировки в сочетании с ограничением кровотока эффективно снижали ИМТ, массу жира, ОТ, толщину кожной складки на животе и бедре и увеличивали массу тела без жира у людей с ожирением [23]. Результаты данного исследования демонстрируют, что НСТ с ограничением кровотока могут оптимизировать состав тела у лиц с МС.

Различные систематические обзоры и метаанализы свидетельствуют о том, что НСТ с ограничением кровотока увеличивают мышечную массу как у молодых [1], так и у пожилых здоровых людей [24]. Наше исследование позволило впервые установить, что НСТ с ограничением кровотока эффективно увеличивают мышечную массу у лиц с МС. Хотя предполагается, что механическое напряжение, создаваемое при выполнении НСТ в сочетании с ограничением кровотока, намного ниже, чем при высокоинтенсивных силовых упражнениях, полученные нами результаты показывают, что прирост мышечной массы не отличался между группами НИОК и ВИ. Одним из вероятных механизмов, который, помимо механического напряжения, также важен для увеличения мышечной массы, является метаболический стресс [25]. Кроме того, в нескольких исследованиях показано, что внутримышечная гипоксическая среда и метаболический стресс, возникающие во время выполнения упражнений с ограничением кровотока, влияют на утомляемость мышечных волокон и, таким образом, вызывают прогрессивное вовлечение высокопороговых двигательных единиц [26].

Предполагается, что в дополнение к метаболическому стрессу эффекты силовых тренировок с ограничением кровотока на мышечную гипертрофию опосредованы усилением механотрансдукции [27], гормональной реакцией [28], усиленной выработкой активных форм кислорода [29] или отеком клеток [30]. К тому же исследования на людях показали, что отек клеток, вызванный силовой тренировкой с ограничением кровотока, не только положительно сказывается на синтезе белка, но и способствует липолизу [31], что подтверждается результатами

Таблица 2. Результаты биоимпедансного анализа до и после исследования ($\mu \pm \sigma$)
Table 2. Results of bioimpedance analysis before and after the study ($\mu \pm \sigma$)

Показатель	Группа исследования				
	НИОК (n = 20)	ВИ (n = 20)	НИ (n = 20)	p	
ИМТ, кг/м ²	до	30,31 ± 2,85	29,78 ± 2,97	30,03 ± 2,99	0,797 [#]
	после	29,15 ± 2,26	28,77 ± 2,55	29,52 ± 2,51	0,671**
p	0,502*	0,573*	0,781*	0,678***	
ЖМ, кг	до	30,22 ± 3,21	30,64 ± 3,44	30,05 ± 4,09	0,897 [#]
	после	25,61 ± 3,48	26,13 ± 2,93	29,25 ± 3,86	0,011**
p	0,039*	0,037*	0,751*	0,656***	
ОВЖ, см ²	до	128,46 ± 12,69	126,07 ± 9,59	122,21 ± 14,28	0,214 [#]
	после	111,27 ± 13,17	109,62 ± 12,54	118,73 ± 12,42	0,048**
p	0,045*	0,038*	0,858*	0,729***	
МСМ, кг	до	40,11 ± 3,11	39,64 ± 3,25	41,19 ± 3,74	0,397 [#]
	после	44,06 ± 2,54	43,91 ± 2,11	41,31 ± 3,54	0,021**
p	0,043*	0,044*	0,607*	0,851***	
ОТ, см	до	100,21 ± 6,21	99,13 ± 5,07	98,23 ± 5,73	0,402 [#]
	после	93,26 ± 6,16	92,12 ± 5,28	96,81 ± 5,18	0,049**
p	0,047*	0,037*	0,736*	0,812***	

Примечание: Установлены статистические различия: * — между показателями до и после курса тренировок внутри групп; ** — между группами НИОК и НИ после курса тренировок; *** — между группами НИОК и ВИ после курса тренировок; [#] — между группами НИОК и НИ до курса тренировок. Жирным шрифтом выделены статистически значимые различия.

Note: Statistical differences were established: * — between the indicators before and after the course of training within the groups; ** — between the NIOK and NI groups after the course of training; *** — between the NIOK and VI groups after the training course; [#] — between the NIOK and NI groups before the course of training. Statistically significant differences are highlighted in bold.

нашего исследования, так как в группе НИОК статистически значимо снизилась жировая и висцеральная масса жира относительно группы НИ.

К сожалению, на данный момент не выяснено, с чем может быть связана более высокая потеря жира, вызванная НСТ с ограничением кровотока. Потенциальными механизмами могут быть: стимуляция липолиза жировой ткани [31], повышение расхода энергии [32] и/или более высокий кислородный долг, который возникает во время такой тренировки [33]. Тем не менее снижение абдоминального и телесного жира, а также снижение тяжести критериев МС после высокоинтенсивных силовых тренировок и НСТ с ограничением

кровотока [34] может быть вызвано мышечной гипертрофией и дальнейшим метаболическим перепрограммированием [35].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НСТ в сочетании с ограничением кровотока могут увеличить мышечную массу, уменьшить жировые отложения и скорректировать состав тела лиц с МС, особенно для тех, кто не может выполнять упражнения средней и высокой интенсивности. Таким образом, данный метод тренировки является альтернативным подходом, наряду с силовыми упражнениями высокой интенсивности, для профилактики и снижения тяжести проявлений МС.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сверчков Вадим Владимирович, младший научный сотрудник, НИИ олимпийского спорта, аспирант кафедры спортивной медицины и физической реабилитации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры».

E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Быков Евгений Витальевич, доктор медицинских наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, заведующий кафедрой спортивной медицины и физической реабилитации, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет физической культуры».

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают свое авторство в соответствии с международными критериями ICMJE (все авторы внесли значительный вклад в концепцию, дизайн исследования и подготовку статьи, прочитали и одобрили окончательный вариант до публикации). Наибольший вклад распределен следующим образом: Сверчков В.В. — разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание текста статьи, проверка и утверждение текста статьи; Быков Е.В. — разработка концепции статьи, редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи, обоснование научной значимости.

Источники финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

Этическое утверждение. Авторы заявляют, что все процедуры, использованные в данной статье, соответствуют этическим стандартам учреждений, проводивших исследование, и соответствуют Хельсинкской декларации в редакции 2013 г. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «УралГУФК». Выписка из протокола заседания Этического комитета ФГБОУ ВО «УралГУФК» от 24.09.2019 № 1.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Vadim V. Sverchkov, Junior Researcher, Research Institute of Olympic Sports, Postgraduate Student, Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture.

E-mail: vadim.sverchkov@yandex.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Evgeny V. Bykov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Vice-Rector for Research, Head of the Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Ural State University of Physical Culture.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

Author Contributions. All authors confirm their authorship in accordance with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the concept, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contributions: Vadim V. Sverchkov — development of the concept of the article, obtaining

and analyzing the actual data, writing the text of the article, checking and approving the text of the article; Evgeny V. Bykov — development of the concept of the article, editing the text of the article, verification and approval of the text of the article, substantiation of scientific significance.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Ethics Approval. Authors declare that all procedures used in this article are in accordance with the ethical standards of the institutions that conducted the study and are consistent with the 2013 Declaration of Helsinki. The study was approved by the local Ethics committee of the Ural State University of Physical Culture (Protocol No. 1 dated 24.09.2019).

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on reasonable request from the corresponding author.

Список литературы / References

- Lixandrão M., Ugrinowitsch C., Berton R. et al. Magnitude of Muscle Strength and Mass Adaptations Between High-Load Resistance Training Versus Low-Load Resistance Training Associated with Blood-Flow Restriction: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2018; 48(2): 361–378. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y>
- Gundermann D., Walker D., Reidy P. et al. Activation of mTORC1 signaling and protein synthesis in human muscle following blood flow restriction exercise is inhibited by rapamycin. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 2014; 306(10): 1198–1204. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00600.2013>
- Torma F., Gombos Z., Fridvalszki M. et al. Blood flow restriction in human skeletal muscle during rest periods after high-load resistance training down-regulates miR-206 and induces Pax7. *Journal of Sport and Health Science*. 2021; 10(4): 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2019.08.004>
- Ozaki H., Kakigi R., Kobayashi H. et al. Effects of walking combined with restricted leg blood flow on mTOR and MAPK signalling in young men. *Acta Physiologica*. 2014; 211(1): 97–106. <https://doi.org/10.1111/apha.12243>
- Lorenz D., Bailey L., Wilk K. et al. Blood Flow Restriction Training. *Journal of Athletic Training*. 2021; 56(9): 937–944. <https://doi.org/10.4085/418-20>
- Jia W., Bo L., Wei Y. Application effect and mechanism of blood flow restriction training. *China Sport Science*. 2019; (39): 71–80.
- Min J., Chang J., Choi J., Kong I. Association Between Skeletal Muscle Mass, Physical Activity, and Metabolic Syndrome: the Korean National Health and Nutrition Examination Survey 2008–2011. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*. 2022; 20(3): 156–165. <https://doi.org/10.1089/met.2021.0080>
- Kwon E., Nah E., Kim S., Cho S. Relative Lean Body Mass and Waist Circumference for the Identification of Metabolic Syndrome in the Korean General Population. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(24): 131–149. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413186>
- Jeon Y., Son K. Effects of different definitions of low muscle mass on its association with metabolic syndrome in older adults: A Korean nationwide study. *Geriatrics & Gerontology International*. 2021; 21(11): 1003–1009. <https://doi.org/10.1111/ggi.14277>
- Córdoba-Rodríguez D., Iglesia I., Gomez-Bruton A. et al. Fat-free/lean body mass in children with insulin resistance or metabolic syndrome: a systematic review and meta-analysis. *BMC Pediatrics*. 2022; 22(1): 58–70. <https://doi.org/10.1186/s12887-021-03041-z>
- Lee J. Influences of Cardiovascular Fitness and Body Fatness on the Risk of Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Health Promotion*. 2020; 34(7): 796–805. <https://doi.org/10.1177/0890117120925347>
- Zhang X., Chen Q., Sun X. et al. Association between MRI-based visceral adipose tissues and metabolic abnormality in a Chinese population: a cross-sectional study. *Nutrition & Metabolism*. 2022; 19(1): 16–30. <https://doi.org/10.1186/s12986-022-00651-x>
- Kim S., Kang H., Jeong J. et al. Association of obesity, visceral adiposity, and sarcopenia with an increased risk of metabolic syndrome: A retrospective study. *PLoS ONE*. 2021; 16(8): 256–269. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256083>
- Тарасевич А.Ф., Кобзарь И.Г., Строкова Е.В. Информационное сопровождение как способ повышения приверженности к модификации образа жизни. *Вестник восстановительной медицины*. 2021; 20(3): 67–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-3-67-76> [Tarasevich A.F., Kobzar I.G.,

- Stroková E.V. Information Support as a Way to Improve Lifestyle Modification Adherence. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2021; 20(3): 67–76. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2021-20-3-67-76> (In Russ.)]
15. Liang M., Pan Y., Zhong T. et al. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome parameters and cardiovascular risk factors: a systematic review and network meta-analysis. *Reviews in Cardiovascular Medicine*. 2021; 22(4): 1523–1533. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2204156>
 16. Мирошников А.Б., Форменов А.Д., Смоленский А.В. Влияние равномерной и высокоинтенсивной интервальной тренировки в кардиореабилитации бодибилдеров с артериальной гипертензией: рандомизированное контролируемое исследование. *Вестник восстановительной медицины*. 2020; 6(100): 108–113. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-100-6-108-113> [Miroshnikov A.B., Formenov A.D., Smolensky A.B. The Effects of Moderate and High-Intensity Interval Training in Cardiac Rehabilitation of Bodybuilders with Arterial Hypertension: a Randomized Controlled Trial. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2020; 6(100): 108–113. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2020-100-6-108-113> (In Russ.)]
 17. Alberti K., Eckel R., Grundy S. et al. Jr. International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; Hational Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; International Association for the Study of Obesity. Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity. *Circulation*. 2009; 120(16): 1640–1645. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644>
 18. LeSuer D., McCormick J., Mayhew J. et al. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1997; 11(4): 211–213.
 19. Aniceto R., da Silva Leandro L. Practical Blood Flow Restriction Training: New Methodological Directions for Practice and Research. *Sports Medicine — Open*. 2022; 8(1): 87. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00475-2>
 20. Freitas E., Miller R., Heishman A. et al. Acute Physiological Responses to Resistance Exercise with Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Physiology*. 2020; (11): 132–144. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00132>
 21. Свечков В.В., Быков Е.В. Перцептивные реакции лиц с метаболическим синдромом на силовые упражнения с ограничением кровотока. *Современные вопросы биомедицины*. 2021; 3(16): 38–41. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_03_6 [Sverchkov V.V., Bykov E.V. Perceptual responses of people with metabolic syndrome to blood flow restriction strength exercise. *Modern Issues of Biomedicine*. 2021; 3(16): 38–41. https://doi.org/10.51871/2588-0500_2021_05_03_6 (In Russ.)]
 22. Fei W. Meta-Analysis and Empirical Study on the Effect of Compression Resistance Training on Cardiovascular System. Shanghai University of Sport; Shanghai. China. 2015.
 23. Chen Y., Ma C., Wang J. et al. 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. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 19(1): 168–182. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010168>
 24. Rodrigo-Mallorca D., Loaisa-Betancur A., Monteagudo P. et al. Resistance training with blood flow restriction compared to traditional resistance training on strenght and muscle mass in non-active older adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(21): 114–128. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111441>
 25. Hwang P., Willoughby D. Mechanisms Behind Blood Flow-Restricted Training and its Effect Toward Muscle Growth. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019; 33(1): 167–179. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002384>
 26. Lauber B., König D., Gollhofer A., Centne C. Isometric blood flow restriction exercise: acute physiological and neuromuscular responses. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2021; 13(1): 12–25. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00239-7>
 27. Pearson S., Hussain S. A review on the mechanisms of blood-flow restriction resistance training-induced muscle hypertrophy. *Sports Medicine*. 2015; 45(2): 187–200. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0264-9>
 28. Yinghao L., Jing Y., Yongqi W. et al. Effects of a blood flow restriction exercise under different pressures on testosterone, growth hormone, and insulin-like growth factor levels. *Journal of International Medical Research*. 2021; 49(9): 303–319. <https://doi.org/10.1177/03000605211039564>
 29. Centner C., Zdzieblik D., Dressler P. et al. Acute effects of blood flow restriction on exercise-induced free radical production in young and healthy subjects. *Free Radical Research*. 2018; 52(4): 446–454. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1440293>
 30. Loenneke J., Fahs C., Rossow L. et al. The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Medical Hypotheses*. 2012; 78(1): 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2011.10.014>
 31. Keller U., Szinnai G., Bilz S., Berneis K. Effects of changes in hydration on protein, glucose and lipid metabolism in man: impact on health. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2003; 57(2): 69–74. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601904>
 32. Conceição M., Gáspari A., Ramkraps A., Junior E. et al. Anaerobic metabolism induces greater total energy expenditure during exercise with blood flow restriction. *PLoS ONE*. 2018; 13(3): 194–211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194776>
 33. Mendonca G., Vaz J., Pezarat-Correia P., Fernhall B. Effects of Walking with Blood Flow Restriction on Excess Post-exercise Oxygen Consumption. *International Journal of Sports Medicine*. 2015; 36(3): 11–18. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1395508>
 34. Свечков В.В., Быков Е.В. Позитивное влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели обмена веществ у мужчин с метаболическим синдромом. *Журнал медико-биологических исследований*. 2023; 11(3). [Sverchkov V.V., Bykov E.V. Positive effect of low-intensity strength training with blood flow restriction on metabolic parameters in men with metabolic syndrome. *Journal of Medical and Biological Research*. 2023; 11(3) (In Russ.)]
 35. Свечков В.В., Быков Е.В. Мышечная гипертрофия и метаболическое перепрограммирование при метаболическом синдроме и ожирении. Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сборник научных трудов молодых ученых, посвященный Дню российской науки и 10-летию науки и технологий в РФ. Уральский государственный университет физической культуры. 2023: 177–184. [Sverchkov V.V., Bykov E.V. Muscle hypertrophy and metabolic reprogramming in metabolic syndrome and obesity. Problems of training of scientific and scientific-pedagogical personnel: experience and prospects: collection of scientific papers of young scientists, dedicated to the Day of Russian Science and the 10th anniversary of science and technology in the Russian Federation. Ural State University of Physical Education. 2023: 177–184 (In Russ.)]