

УДК [612.173+616.127]:796.015

DOI: 10.37482/2687-1491-Z149

## **ПОЗИТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА НА ПОКАЗАТЕЛИ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ У МУЖЧИН С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ**

В.В. Сверчков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Е.В. Быков\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

\*Уральский государственный университет физической культуры  
(г. Челябинск)

Силовая тренировка с ограничением кровотока при помощи надувных манжет или эластичных лент производит частичную окклюзию сосудов тренируемых мышц. По сравнению с высокоинтенсивной силовой тренировкой тренировка с ограничением кровотока заметно снижает механическую нагрузку, но вызывает аналогичный прирост мышечной массы и силы, поэтому данный метод эффективен для людей с ограниченными физическими возможностями. Недавние исследования показали, что подобные тренировки благотворно влияют на метаболизм глюкозы и способствуют митохондриальному биогенезу, следовательно, их можно рассматривать как ценную альтернативу физическим упражнениям для людей с метаболическим синдромом – расстройством, характеризующимся нарушением метаболизма глюкозы, снижением скелетно-мышечной массы и прогрессированием саркопении. **Цель работы** – оценить влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели обмена веществ у мужчин с метаболическим синдромом. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 45 нетренированных мужчин (средний возраст – 35,2±6,4 года), по состоянию здоровья соответствующих критериям метаболического синдрома. Участники были распределены на три группы по видам тренировки: низкоинтенсивная силовая с ограничением кровотока; высокоинтенсивная силовая без ограничения кровотока; низкоинтенсивная силовая без ограничения кровотока. До и после курса тренировок (12 недель) оценивались уровни глюкозы, триглицеридов, липопротеинов высокой плотности в плазме крови, систолическое артериальное давление, обхват талии и z-показатель тяжести метаболического синдрома. **Результаты.** Выявлено статистически значимое ( $p < 0,05$ ) снижение всех показателей у мужчин 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 ( $p > 0,05$ ). Таким образом, исследование установило, что низкоинтенсивные силовые тренировки с ограничением кровотока улучшают метаболический профиль мужчин с метаболическим синдромом, поэтому могут применяться в профилактике и лечении метаболических нарушений.

**Ключевые слова:** тренировка с ограничением кровотока, низкоинтенсивная силовая тренировка, мужчины с метаболическим синдромом, нарушение толерантности к глюкозе.

**Ответственный за переписку:** Сверчков Вадим Владимирович, адрес: 454091, г. Челябинск, ул. Орджоникидзе, д. 1; e-mail: Vadim.sverchikov@yandex.ru

**Для цитирования:** Сверчков В.В., Быков Е.В. Позитивное влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели обмена веществ у мужчин с метаболическим синдромом // Журн. мед.-биол. исследований. 2023. Т. 11, № 3. С. 310–320. DOI: 10.37482/2687-1491-Z149

Метаболический синдром (МС) представляет собой группу факторов риска нарушения обмена веществ, к которым относятся абдоминальное ожирение, дислипидемия, артериальная гипертензия и нарушение толерантности к глюкозе [1]. Эти критерии МС в совокупности повышают риск развития сахарного диабета 2-го типа (СД2) [2], сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [3], некоторых видов рака [4, 5]. По оценке Национальной образовательной программы по холестерину (NCEP, ATP3, 2005) более 25 % взрослых людей во всем мире страдают МС [6]. Постоянно растущая распространенность МС стала серьезной глобальной проблемой общественного здравоохранения. Тщательный гликемический и липидный контроль может снизить риск перехода МС в СД2 [7], риск развития ССЗ [8], улучшить качество жизни пациентов [9].

Известно, что силовая тренировка эффективно повышает массу и силу скелетных мышц, а также увеличивает уровень глюкозы в плазме крови и снижает систолическое артериальное давление (САД) [10]. Тем не менее с целью получения пользы для здоровья от силовых тренировок часто рекомендуются нагрузки, равные 70 % от максимальной произвольной силы (МПС) и более [11]. Высокие мышечно-сухожильные нагрузки могут быть неприемлемы для людей с ограниченными физическими возможностями или клинических групп населения, страдающих атрофией мышц и снижением мышечной силы, к которым относятся и лица с МС. Поэтому таким людям необходимы эффективные альтернативные меры профилактики саркопенических состояний, контроля уровней глюкозы, липидов и артериального давления. Одним из перспективных видов упражнений для них является тренировка с ограничением кровотока.

Сохранение мышечной функции имеет большое значение для метаболического здоровья, особенно у людей с МС, которые подвержены риску СД2 и ССЗ [12], поскольку снижение мышечной массы и функции обусловлено ухудшением способности утилизации глюкозы [13]. Патопатология скелетных мышц при

МС связана с нарушением утилизации ими глюкозы, сопутствующей дисфункцией белой жировой ткани и эктопическим отложением липидов из-за гиперинсулинемии [14]. Периферическая резистентность к инсулину возникает в результате избыточной доступности липидов и повышенного притока неэтерифицированных жирных кислот в скелетные мышцы, что приводит к избыточному отложению внутримиоцеллюлярных липидов, нарушению митохондриальной функции и передачи сигналов инсулина, вызванным липотоксическими интермедиатами, такими как диацилглицеролы и церамиды [14].

Следует отметить, что преимущества аэробных упражнений для модуляции кардиометаболических факторов риска были широко признаны, тогда как силовые тренировки рассматривались в качестве дополнения, а не замены аэробным упражнениям [15]. Клинические рекомендации по ведению больных с МС, разработанные по поручению Минздрава России и утвержденные Российским медицинским обществом по артериальной гипертензии и профильной комиссией по кардиологии, также предусматривают аэробные тренировки умеренной интенсивности в объеме 150 мин в неделю [16]. Однако в исследованиях, в которых оценивалась тренировка с отягощениями, было доказано, что она оказывает воздействие, аналогичное аэробной тренировке, на гликемический и липидный контроль, артериальное давление и состав тела [17]. Так стало понятно, что тренировки с отягощениями представляют реальную альтернативу аэробным тренировкам и играют независимую роль в снижении риска метаболических и сердечно-сосудистых заболеваний. Результаты недавнего систематического обзора и сетевого метаанализа показали, что упражнения с отягощениями приводят к более эффективным результатам в улучшении параметров МС и уменьшении сердечно-сосудистого риска по сравнению с аэробными упражнениями [18]. В другом исследовании с участием 22 467 корейцев в возрасте 40 лет и старше (Корейское национальное обследование

здоровья и питания (KNHANES) 2014–2019 годов) установлено что по сравнению с группой без упражнений отношение шансов развития МС при использовании только аэробных, только силовых и комбинированных упражнений составило (среднее и 95 %-й доверительный интервал) соответственно: 0,85 (0,74–0,98), 0,81 (0,67–0,99) и 0,65 (0,54–0,78) среди мужчин и 0,83 (0,73–0,93), 0,73 (0,58–0,91) и 0,74 (0,58–0,93) среди женщин [19]. Тем не менее воспринимаемое напряжение во время выполнения упражнений выше у лиц с МС по сравнению с людьми с нормальной толерантностью к глюкозе, что, в свою очередь, снижает приверженность первых к упражнениям [20] и, следовательно, может еще больше ухудшить их физическую форму и усугубить метаболическое состояние. Именно поэтому современные исследования сосредоточены на поиске эффективных целенаправленных альтернативных методов упражнений с более низкими механическими нагрузками, которые могут улучшить метаболическое состояние при МС.

В последнее время низкоинтенсивная силовая тренировка с ограничением кровотока привлекла большое внимание, т. к. она позволяет значительно уменьшить интенсивность занятий, но при этом сохранить эффект упражнений высокой интенсивности [21]. Современные данные о механизмах тренировки с ограничением кровотока, полученные в результате предыдущих исследований, дают основание предположить, что этот метод может принести пользу людям с МС [22]. К сожалению, на данный момент отсутствуют сведения о применении этого метода у лиц с МС.

Целью нашего исследования была оценка влияния низкоинтенсивной силовой тренировки с ограничением кровотока на метаболические показатели мужчин с МС.

**Материалы и методы.** В исследовании, проводившемся на базе Научно-исследовательского института Олимпийского спорта при Уральском государственном университете физической культуры, приняли участие 45 нетренированных мужчин (средний возраст –  $35,2 \pm 6,4$  года), состояние здоровья которых отве-

чало критериям МС. МС диагностировался в соответствии с комбинированным определением Международной диабетической федерации (IDF), Американской кардиологической ассоциации (АНА) и Национального института сердца, легких и крови (NHLBI, США) [23].

Для подтверждения МС у обследуемых мужчин было необходимо наличие минимум трех из следующих критериев:

- 1) центральное ожирение, обхват талии от 94 см и выше;
- 2) уровень триглицеридов крови от 150 мг/дл и выше или текущий прием препаратов, снижающих уровень триглицеридов;
- 3) содержание холестерина липопротеинов высокой плотности менее 40 мг/дл;
- 4) 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;
- 5) уровень глюкозы плазмы крови более 100 мг/дл, или текущий прием сахароснижающих препаратов, или ранее диагностированный СД2.

Исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, мужчины подписали информированное согласие на участие.

*Дизайн исследования.* Все испытуемые были случайным образом разделены на три группы: первая группа выполняла низкоинтенсивную силовую тренировку с ограничением кровотока (НИОК;  $n = 15$ ); вторая группа – высокоинтенсивную силовую тренировку без ограничения кровотока (ВИ;  $n = 15$ ); третья группа – низкоинтенсивную силовую тренировку без ограничения кровотока (НИ;  $n = 15$ ). В общей сложности испытуемые провели 24 тренировки (2 раза в неделю) на протяжении 12 недель.

Протокол силовых тренировок различался по интенсивности:

- для группы НИОК – вес отягощения соответствовал 30 % от МПС, в каждом упражнении выполнялось 4 подхода по схеме 30-15-15 повторений с паузами отдыха 30 с между подходами и 2 мин между упражнениями;

- для группы ВИ – вес отягощения составлял 70 % от МПС, в каждом упражнении выполнялось 4 подходами по 10 повторений с паузами отдыха 2 мин между подходами и упражнениями;

- для группы НИ – вес отягощения был на уровне 30 % от МПС, в каждом упражнении выполнялось по 4 подхода по схеме 30-15-15-15 с паузами отдыха 30 с между подходами и 2 мин между упражнениями.

Тренировки включали следующие упражнения: жим штанги лежа, тяга вертикального блока, разгибание ног в коленном суставе в тренажере, сгибание ног в коленном суставе в тренажере, отведение гантелей в стороны стоя, разгибание предплечий в силовом блоке, сгибание предплечий с гантелями сидя. Перед началом исследования в каждом упражнении просчитывался повторный максимум по ранее предложенной формуле В. Epley [24]. Пересчет повторного максимума происходил каждые 3 недели.

Для создания ограничения кровотока в группе НИОК использовалась эластичная лента, обернутая вокруг проксимальной части верхних или нижних конечностей с натяжением 7 баллов по шкале воспринимаемого давления от 0 до 10 [25]. При этом применялся прерывистый вариант ограничения кровотока (манжета одевалась во время подхода и снималась во время паузы отдыха), чтобы снизить дискомфорт и повысить переносимость нагрузки [26]. В группах ВИ и НИ ограничение кровотока не использовалось.

*Оценка показателей.* Антропометрические измерения проводились до и после курса тренировок. ОТ измерялся с помощью неэластичной ленты между самой верхней боковой границей правой подвздошной кости и самой верхней границей левой подвздошной кости, с точностью до 0,1 см.

Образцы венозной крови натощак были взяты у участников до и после курса тренировок после 12–14 ч ночного голодания. Оценивались уровни глюкозы, триглицеридов (ТГ), липопротеинов высокой плотности (ЛПВП).

Измерение САД выполнялось до и после курса тренировок в сидячем положении после 15 мин отдыха, на правой руке с использованием автоматического тонометра Omron M2 Eco (Япония).

Расчет  $z$ -показателя тяжести МС проводился согласно методологии M.D. DeBoer, M.J. Gurka (подробно методология расчета, зависящая от пола и расы/этнической принадлежности, была опубликована в [27]). Более высокий  $z$ -показатель тяжести МС указывает на менее благоприятный метаболический профиль.

*Статистическая обработка результатов.* Для каждого параметра рассчитывалось среднее значение и стандартное отклонение ( $M \pm \sigma$ ) в программе LibreOffice Calc. Оценка статистической значимости различий до и после 12 недель тренировок внутри каждой группы, а также различий между группами проводилась с применением критериев Стьюдента и Фишера соответственно (при  $\alpha = 0,05$  и  $\alpha = 0,01$ ).

**Результаты.** Статистически значимых различий по всем показателям между группами НИОК, ВИ, НИ до начала исследования не наблюдалось ( $p > 0,05$  – см. таблицу, с. 314). После 12 недель силовых тренировок в группах НИОК и ВИ обнаружено статистически значимое снижение: уровней глюкозы – на  $4,02 \pm 1,69$  мг/дл ( $p = 0,019$ ) и  $3,93 \pm 1,84$  мг/дл ( $p = 0,042$ ) соответственно, ТГ – на  $25,01 \pm 6,89$  мг/дл ( $p = 0,001$ ) и  $24,21 \pm 8,23$  мг/дл ( $p = 0,0065$ ) соответственно, ОТ – на  $8,13 \pm 1,12$  см ( $p = 0,0001$ ) и  $7,61 \pm 1,68$  см ( $p = 0,0001$ ) соответственно, САД – на  $3,87 \pm 1,88$  мм рт. ст. ( $p = 0,049$ ) и  $4,61 \pm 1,81$  мм рт. ст. ( $p = 0,016$ ) соответственно,  $z$ -показателя тяжести МС – на  $0,43 \pm 0,21$  ( $p = 0,013$ ) и  $0,51 \pm 0,09$  ( $p = 0,0001$ ) соответственно, а также повышение уровня ЛПВП на  $7,73 \pm 4,98$  мг/дл ( $p = 0,0001$ ) и  $8,39 \pm 3,87$  мг/дл ( $p = 0,039$ ) соответственно. Хотя после исследования была отмечена тенденция к большему снижению уровней глюкозы, ТГ в плазме и ОТ в группе НИОК относительно группы ВИ, эти различия не достигли статистической значимости ( $p > 0,05$ ). В группе ВИ после исследования

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ МС У МУЖЧИН  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ 12-НЕДЕЛЬНОГО КУРСА СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК  
РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ,  $M \pm \sigma$

DYNAMICS OF METABOLIC SYNDROME PARAMETERS IN MEN  
DOING A 12-WEEK RESISTANCE TRAINING COURSE OF VARYING INTENSITY,  $M \pm \sigma$

Показатель	Группа исследования			Значимость различий до и после курса
	НИОК ( $n = 15$ )	ВИ ( $n = 15$ )	НИ ( $n = 15$ )	
Глюкоза, мг/дл: до курса после курса	103,25±3,64 99,23±3,58*	102,92±3,35 98,98±3,11	102,98±3,71 102,22±3,69*	$p_{\text{НИОК}} = 0,019$ $p_{\text{ВИ}} = 0,042$ $p_{\text{НИ}} = 0,335$
ТГ, мг/дл: до курса после курса	151,06±12,88 126,06±13,73***	152,59±12,49 128,39±12,47	150,06±13,22 144,86±12,24***	$p_{\text{НИОК}} = 0,001$ $p_{\text{ВИ}} = 0,0065$ $p_{\text{НИ}} = 0,104$
ОТ, см: до курса после курса	98,33±4,18 89,23±5,48**	98,57±4,82 90,67±5,64	97,82±3,71 96,07±5,81**	$p_{\text{НИОК}} = 0,0001$ $p_{\text{ВИ}} = 0,0001$ $p_{\text{НИ}} = 0,066$
ЛПВП, мг/дл: до курса после курса	43,85±4,82 51,58±4,14***	44,65±4,96 53,04±3,15	43,54±4,69 46,15±4,31***	$p_{\text{НИОК}} = 0,0001$ $p_{\text{ВИ}} = 0,039$ $p_{\text{НИ}} = 0,211$
САД, мм рт. ст.: до курса после курса	134,13±3,07 130,27±3,11*	135,13±3,11 130,53±3,16	133,93±2,98 132,73±2,96*	$p_{\text{НИОК}} = 0,049$ $p_{\text{ВИ}} = 0,016$ $p_{\text{НИ}} = 0,087$
z-показатель: до курса после курса	0,48±0,25 0,04±0,25***	0,52±0,18 0,04±0,12	0,53±0,19 0,41±0,19***	$p_{\text{НИОК}} = 0,013$ $p_{\text{ВИ}} = 0,0001$ $p_{\text{НИ}} = 0,038$

Примечание. Установлены статистически значимые различия между группами: \* –  $p \leq 0,05$ ; \*\* –  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$ .

было обнаружено большее снижение САД и z-показателя тяжести МС, а также более значительное увеличение ЛПВП в плазме относительно группы НИОК, но эти различия также не достигли статистической значимости ( $p > 0,05$ ). В группе НИ наблюдалось статистически значимое снижение z-показателя тяжести МС (на  $0,13 \pm 0,06$ ;  $p = 0,038$ ), а также тенденция к снижению уровней глюкозы (на  $0,76 \pm 0,77$  мг/дл;  $p = 0,335$ ), ТГ (на  $5,21 \pm 3,09$  мг/дл;  $p = 0,104$ ), САД (на  $1,21 \pm 0,68$  мм рт. ст.;  $p = 0,087$ ), ОТ (на  $1,82 \pm 0,94$  см;  $p = 0,066$ ) и повышению ЛПВП (на  $2,61 \pm 2,04$  мг/дл;  $p = 0,211$ ). После курса силовых тренировок были выявлены статистически значимые различия между группами НИОК и НИ по уровням глюкозы ( $p = 0,032$ ),

ТГ ( $p = 0,0005$ ), ЛПВП ( $p = 0,001$ ), САД ( $p = 0,034$ ), ОТ ( $p = 0,002$ ) и z-показателю тяжести МС ( $p = 0,0001$ ).

**Обсуждение.** В проведенном исследовании мы впервые продемонстрировали положительное влияние низкоинтенсивной силовой тренировки с ограничением кровотока на уровни глюкозы, ТГ, ЛПВП в плазме крови, ОТ, САД и z-показатель тяжести МС у мужчин с МС.

Известно, что масса и сила скелетных мышц человека обратно пропорциональны риску развития МС [28, 29]. Скелетные мышцы людей с МС демонстрируют нарушение стимулированного инсулином транспорта глюкозы и, как следствие, более низкий синтез гликогена, отражая резистентность организма к инсулину.



Тренировки с ограничением кровотока приводят к росту силы и массы скелетных мышц как у здоровых лиц [21], так и у лиц с МС [30].

Существуют доказательства того, что увеличение массы скелетных мышц может улучшить гликемический контроль и резистентность к инсулину, снизить абдоминальное ожирение и дислипидемию. Так, потеря миостатина у мышечной массы с ожирением приводила к снижению содержания жира и улучшению метаболизма глюкозы [31]. Ингибирование миостатиновых рецепторов не только увеличивало мышечную массу, но и предотвращало развитие диабета у генетически предрасположенных к нему мышечной массы А-ZIP/F1 [32]. В 6-недельном исследовании с участием здоровых людей и пациентов с СД2 было обнаружено, что тренированная с отягощениями нога поглощала больше глюкозы (на 25 % у здоровых лиц и на 10 % у лиц с СД2), чем нетренированная [33]. Современный метаанализ показал, что тренировки с отягощениями улучшают гликемический контроль у лиц с риском развития СД2 [34]. Более того, мужчины с гипогонадизмом обычно имеют

меньше мышечной массы, но больше жировой ткани и чаще развивают резистентность к инсулину, чем мужчины без гипогонадизма [35]. Возможное объяснение положительных эффектов тренировок с отягощениями, в т. ч. низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока, для лиц с МС заключается в том, что гипертрофированные мышцы могут поглощать больше глюкозы и других малых молекул и, перепрограммировав свой метаболизм, направить глюкозу не только на ресинтез гликогена, но и в анаболические пути (синтез аминокислот, нуклеотидов, липидов, ацетильных и метильных групп) [36].

Таким образом, положительное влияние низкоинтенсивной силовой тренировки с ограничением кровотока на метаболический профиль мужчин с МС, установленное нашим исследованием, служит подтверждением возможности использования данного метода в профилактике и лечении метаболических нарушений.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Список литературы

1. Sperling L.S., Mechanick J.I., Neeland I.J., Herrick C.J., Després J.P., Ndumele C.E., Vijayaraghavan K., Handelsman Y., Puckrein G.A., Araneta M.R., et al. The CardioMetabolic Health Alliance: Working Toward a New Care Model for the Metabolic Syndrome // *J. Am. Coll. Cardiol.* 2015. Vol. 66, № 9. P. 1050–1067. DOI: [10.1016/j.jacc.2015.06.1328](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.06.1328)
2. Huh J.H., Ahn S.G., Kim Y.I., Go T., Sung K.C., Choi J.H., Koh K.K., Kim J.Y. Impact of Longitudinal Changes in Metabolic Syndrome Status over 2 Years on 10-Year Incident Diabetes Mellitus // *Diabetes Metab. J.* 2019. Vol. 43, № 4. P. 530–538. DOI: [10.4093/dmj.2018.0111](https://doi.org/10.4093/dmj.2018.0111)
3. Käräjämäki A.J., Korkiakoski A., Hukkanen J., Kesäniemi Y.A., Ukkola O. Long-Term Metabolic Fate and Mortality in Obesity Without Metabolic Syndrome // *Ann. Med.* 2022. Vol. 54, № 1. P. 1432–1443. DOI: [10.1080/07853890.2022.2075915](https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2075915)
4. Ahmadinezhad M., Arshadi M., Hesari E., Sharafoddin M., Azizi H., Khodamoradi F. The Relationship Between Metabolic Syndrome and Its Components with Bladder Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies // *Epidemiol. Health.* 2022. Vol. 44. Art. № e2022050. DOI: [10.4178/epih.e2022050](https://doi.org/10.4178/epih.e2022050)
5. Du W., Guo K., Jin H., Sun L., Ruan S., Song Q. Association Between Metabolic Syndrome and Risk of Renal Cell Cancer: A Meta-Analysis // *Front. Oncol.* 2022. Vol. 12. Art. № 928619. DOI: [10.3389/fonc.2022.928619](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.928619)
6. Saklayen M.G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome // *Curr. Hypertens. Rep.* 2018. Vol. 20, № 2. Art. № 12. DOI: [10.1007/s11906-018-0812-z](https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z)
7. Avogaro A. Treating Diabetes Today with Gliclazide MR: A Matter of Numbers // *Diabetes Obes. Metab.* 2012. Vol. 14, suppl. 1. P. 14–19. DOI: [10.1111/j.1463-1326.2011.01508.x](https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2011.01508.x)

8. Kim J.H., Cha J.-J., Lim S., An J., Kim M.-N., Hong S.J., Joo H.J., Park J.H., Yu C.W., Lim D.-S., Byeon K., Kim S.-W., Shin E.-S., Cha K.S., Chae J.K., Ahn Y., Jeong M.H., Ahn T.H. Target Low-Density Lipoprotein-Cholesterol and Secondary Prevention for Patients with Acute Myocardial Infarction: A Korean Nationwide Cohort Study // *J. Clin. Med.* 2022. Vol. 11, № 9. Art. № 2650. DOI: [10.3390/jcm11092650](https://doi.org/10.3390/jcm11092650)
9. Peña A., Olson M.L., Hooker E., Ayers S.L., Castro F.G., Patrick D.L., Corral L., Lish E., Knowler W.C., Shaibi G.Q. Effects of a Diabetes Prevention Program on Type 2 Diabetes Risk Factors and Quality of Life Among Latino Youths with Prediabetes: A Randomized Clinical Trial // *JAMA Netw. Open.* 2022. Vol. 5, № 9. Art. № e2231196. DOI: [10.1001/jamanetworkopen.2022.31196](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.31196)
10. Ooi T.C., Mat Ludin A.F., Loke S.C., Fiatarone Singh M.A., Wong T.W., Vytialingam N., Anthony Abdullah M.M.J., Ng O.C., Bahar N., Zainudin N., Lew L.C. A 16-Week Home-Based Progressive Resistance Tube Training Among Older Adults with Type-2 Diabetes Mellitus: Effect on Glycemic Control // *Gerontol. Geriatr. Med.* 2021. Vol. 7. Art. № 23337214211038789. DOI: [10.1177/23337214211038789](https://doi.org/10.1177/23337214211038789)
11. Colberg S.R., Sigal R.J., Yardley J.E., Riddell M.C., Dunstan D.W., Dempsey P.C., Horton E.S., Castorino K., Tate D.F. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association // *Diabetes Care.* 2016. Vol. 39, № 11. P. 2065–2079. DOI: [10.2337/dc16-1728](https://doi.org/10.2337/dc16-1728)
12. Lind L., Sundström J., Årnlöv J., Risérus U., Lampa E. A Longitudinal Study over 40 Years to Study the Metabolic Syndrome as a Risk Factor for Cardiovascular Diseases // *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11, № 1. Art. № 2978. DOI: [10.1038/s41598-021-82398-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-82398-8)
13. Min J., Chang J.S., Choi J.Y., Kong I.D. Association Between Skeletal Muscle Mass, Physical Activity, and Metabolic Syndrome: The Korean National Health and Nutrition Examination Survey 2008–2011 // *Metab. Syndr. Relat. Disord.* 2022. Vol. 20, № 3. P. 156–165. DOI: [10.1089/met.2021.0080](https://doi.org/10.1089/met.2021.0080)
14. Samuel V.T., Shulman G.I. The Pathogenesis of Insulin Resistance: Integrating Signaling Pathways and Substrate Flux // *J. Clin. Invest.* 2016. Vol. 126, № 1. P. 12–22. DOI: [10.1172/JCI77812](https://doi.org/10.1172/JCI77812)
15. Williams M.A., Haskell W.L., Ades P.A., Amsterdam E.A., Bittner V., Franklin B.A., Gulanick M., Laing S.T., Stewart K.J. Resistance Exercise in Individuals with and Without Cardiovascular Disease: 2007 Update: A Scientific Statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism // *Circulation.* 2007. Vol. 116, № 5. P. 572–584. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214)
16. Проект рекомендаций экспертов Российского кардиологического общества по диагностике и лечению метаболического синдрома. Третий пересмотр. М., 2013. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1685958734&tld=ru&lang=ru&name=projectrecomMS.doc&text=%D0%...scardio.ru%2Fcontent%2FGuidelines%2FprojectrecomMS.doc...BE%25D0%25> (дата обращения: 05.06.2023).
17. Zhou Y., Wu W., Zou Y., Huang W., Lin S., Ye J., Lan Y. Benefits of Different Combinations of Aerobic and Resistance Exercise for Improving Plasma Glucose and Lipid Metabolism and Sleep Quality Among Elderly Patients with Metabolic Syndrome: A Randomized Controlled Trial // *Endocr. J.* 2022. Vol. 69, № 7. P. 819–830. DOI: [10.1507/endocrj.EJ21-0589](https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ21-0589)
18. Liang M., Pan Y., Zhong T., Zeng Y., Cheng A.S.K. Effects of Aerobic, Resistance, and Combined Exercise on Metabolic Syndrome Parameters and Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Network Meta-Analysis // *Rev. Cardiovasc. Med.* 2021. Vol. 22, № 4. P. 1523–1533. DOI: [10.31083/j.rcm2204156](https://doi.org/10.31083/j.rcm2204156)
19. Kwon D.H., Cho Y.G., Park H.A., Koo H.S. The Difference in the Prevalence of Metabolic Syndrome According to Meeting Guidelines for Aerobic Physical Activity and Muscle-Strengthening Exercise: A Cross-Sectional Study Performed Using the Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2014–2019 // *Nutrients.* 2022. Vol. 14, № 24. Art. № 5391. DOI: [10.3390/nu14245391](https://doi.org/10.3390/nu14245391)
20. Elsangedy H.M., Machado D.G.D.S., Krinski K., Nascimento P.H.D., Oliveira G.T.A., Santos T.M., Hargreaves E.A., Parfitt G. Let the Pleasure Guide Your Resistance Training Intensity // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2018. Vol. 50, № 7. P. 1472–1479. DOI: [10.1249/MSS.0000000000001573](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001573)
21. Lixandrão M.E., Ugrinowitsch C., Berton R., Vechin F.C., Conceição M.S., Damas F., Libardi C.A., Roschel H. 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 Med.* 2018. Vol. 48, № 2. P. 361–378. DOI: [10.1007/s40279-017-0795-y](https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y)
22. Saatmann N., Zaharia O.-P., Loenneke J.P., Roden M., Pesta D.H. Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes // *Trends Endocrinol. Metab.* 2021. Vol. 32, № 2. P. 106–117. DOI: [10.1016/j.tem.2020.11.010](https://doi.org/10.1016/j.tem.2020.11.010)

23. Alberti K.G., Eckel R.H., Grundy S.M., Zimmet P.Z., Cleeman J.I., Donato K.A., Fruchart J.C., James W.P., Loria C.M., Smith S.C. Jr. 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. Vol. 120, № 16. P. 1640–1645. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644)

24. LeSuer D.A., McCormick J.H., Mayhew J.L., Wasserstein R.L., Arnold M.D. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift // *J. Strength Cond. Res.* 1997. Vol. 11, № 4. P. 211–213.

25. Freitas E.D.S., Galletti B.R.A., Koziol K.J., Miller R.M., Heishman A.D., Black C.D., Bemben D., Bemben M.G. The Acute Physiological Responses to Traditional vs. Practical Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Untrained Men and Women // *Front. Physiol.* 2020. Vol. 11. Art. № 577224. DOI: [10.3389/fphys.2020.577224](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577224)

26. Freitas E.D.S., Miller R.M., Heishman A.D., Ferreira-Júnior J.B., Araújo J.P., Bemben M.G. Acute Physiological Responses to Resistance Exercise with Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: A Randomized Controlled Trial // *Front. Physiol.* 2020. Vol. 11. Art. № 132. DOI: [10.3389/fphys.2020.00132](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00132)

27. DeBoer M.D., Gurka M.J. Clinical Utility of Metabolic Syndrome Severity Scores: Considerations for Practitioners // *Diabetes Metab. Syndr. Obes.* 2017. Vol. 10. P. 65–72. DOI: [10.2147/DMSO.S101624](https://doi.org/10.2147/DMSO.S101624)

28. Moon H.E., Lee T.S., Chung T.-H. Association Between Lower-to-Upper Ratio of Appendicular Skeletal Muscle and Metabolic Syndrome // *J. Clin. Med.* 2022. Vol. 11, № 21. Art. № 6309. DOI: [10.3390/jcm11216309](https://doi.org/10.3390/jcm11216309)

29. Свєрчкoв В.В., Бькoв Е.В. Мышечная сила и тяжесть метаболического синдрома // Олимпийский спорт и спорт для всех: материалы XXVI Междунар. науч. конгр. (Казань, 8–11 сент. 2021 г.) / под общ. ред. Р.Т. Бурганова. Казань, 2021. С. 409–411.

30. Свєрчкoв В.В., Бькoв Е.В. Влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на динамику силовых способностей у лиц с метаболическим синдромом // Проблемы подготовки научных и научно-педагогических кадров: опыт и перспективы: сб. науч. тр. молодых ученых, посвящ. Дню рос. науки / Урал. гос. ун-т физ. культуры. Вып. 19. Челябинск, 2022. С. 177–184.

31. McPherron A.C., Lee S.-J. Suppression of Body Fat Accumulation in Myostatin-Deficient Mice // *J. Clin. Invest.* 2002. Vol. 109, № 5. P. 595–601. DOI: [10.1172/JCI13562](https://doi.org/10.1172/JCI13562)

32. Guo T., Bond N., Jou W., Gavrilova O., Portas J., McPherron A.C. Myostatin Inhibition Prevents Diabetes and Hyperphagia in a Mouse Model of Lipodystrophy // *Diabetes*. 2012. Vol. 61, № 10. P. 2414–2423. DOI: [10.2337/db11-0915](https://doi.org/10.2337/db11-0915)

33. Holten M.K., Zacho M., Gaster M., Juel C., Wojtaszewski J.F., Dela F. Strength Training Increases Insulin-Mediated Glucose Uptake, GLUT4 Content, and Insulin Signaling in Skeletal Muscle in Patients with Type 2 Diabetes // *Diabetes*. 2004. Vol. 53, № 2. P. 294–305. DOI: [10.2337/diabetes.53.2.294](https://doi.org/10.2337/diabetes.53.2.294)

34. Qadir R., Sculthorpe N.F., Todd T., Brown E.C. Effectiveness of Resistance Training and Associated Program Characteristics in Patients at Risk for Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis // *Sports Med. Open*. 2021. Vol. 7, № 1. P. 38–50. DOI: [10.1186/s40798-021-00321-x](https://doi.org/10.1186/s40798-021-00321-x)

35. Lunenfeld B. Testosterone Deficiency and the Metabolic Syndrome // *Aging Male*. 2007. Vol. 10, № 2. P. 53–56. DOI: [10.1080/13685530701390800](https://doi.org/10.1080/13685530701390800)

36. Stadhouders L.E.M., Verbrugge S.A.J., Smith J.A.B., Gabriel B.M., Hammersen T.D., Kolijn D., Vogel I.S.P., Mohamed A.D., de Wit G.M.J., Offringa C., Hoogaars W.M., Gehlert S., Wackerhage H., Jaspers R.T. Myotube Hypertrophy Is Associated with Cancer-Like Metabolic Reprogramming and Limited by PHGDH // *bioRxiv*. 2020. DOI: [10.1101/2020.12.01.403949](https://doi.org/10.1101/2020.12.01.403949)

## References

1. Sperling L.S., Mechanick J.I., Neeland I.J., Herrick C.J., Després J.P., Ndumele C.E., Vijayaraghavan K., Handelsman Y., Puckrein G.A., Araneta M.R., et al. The CardioMetabolic Health Alliance: Working Toward a New Care Model for the Metabolic Syndrome. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2015, vol. 66, no. 9, pp. 1050–1067. DOI: [10.1016/j.jacc.2015.06.1328](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.06.1328)

2. Huh J.H., Ahn S.G., Kim Y.I., Go T., Sung K.C., Choi J.H., Koh K.K., Kim J.Y. Impact of Longitudinal Changes in Metabolic Syndrome Status over 2 Years on 10-Year Incident Diabetes Mellitus. *Diabetes Metab. J.*, 2019, vol. 43, no. 4, pp. 530–538. DOI: [10.4093/dmj.2018.0111](https://doi.org/10.4093/dmj.2018.0111)



3. Käräjämäki A.J., Korhonen A., Hukkanen J., Kesäniemi Y.A., Ukkola O. Long-Term Metabolic Fate and Mortality in Obesity Without Metabolic Syndrome. *Ann. Med.*, 2022, vol. 54, no. 1, pp. 1432–1443. DOI: [10.1080/07853890.2022.2075915](https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2075915)
4. Ahmadinezhad M., Arshadi M., Hesari E., Sharafoddin M., Azizi H., Khodamoradi F. The Relationship Between Metabolic Syndrome and Its Components with Bladder Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cohort Studies. *Epidemiol. Health*, 2022, vol. 44. Art. no. e2022050. DOI: [10.4178/epih.e2022050](https://doi.org/10.4178/epih.e2022050)
5. Du W., Guo K., Jin H., Sun L., Ruan S., Song Q. Association Between Metabolic Syndrome and Risk of Renal Cell Cancer: A Meta-Analysis. *Front. Oncol.*, 2022, vol. 12. Art. no. 928619. DOI: [10.3389/fonc.2022.928619](https://doi.org/10.3389/fonc.2022.928619)
6. Saklayen M.G. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Curr. Hypertens. Rep.*, 2018, vol. 20, no. 2. Art. no. 12. DOI: [10.1007/s11906-018-0812-z](https://doi.org/10.1007/s11906-018-0812-z)
7. Avogaro A. Treating Diabetes Today with Gliclazide MR: A Matter of Numbers. *Diabetes Obes. Metab.*, 2012, vol. 14, suppl. 1, pp. 14–19. DOI: [10.1111/j.1463-1326.2011.01508.x](https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2011.01508.x)
8. Kim J.H., Cha J.-J., Lim S., An J., Kim M.-N., Hong S.J., Joo H.J., Park J.H., Yu C.W., Lim D.-S., Byeon K., Kim S.-W., Shin E.-S., Cha K.S., Chae J.K., Ahn Y., Jeong M.H., Ahn T.H. Target Low-Density Lipoprotein-Cholesterol and Secondary Prevention for Patients with Acute Myocardial Infarction: A Korean Nationwide Cohort Study. *J. Clin. Med.*, 2022, vol. 11, no. 9. Art. no. 2650. DOI: [10.3390/jcm11092650](https://doi.org/10.3390/jcm11092650)
9. Peña A., Olson M.L., Hooker E., Ayers S.L., Castro F.G., Patrick D.L., Corral L., Lish E., Knowler W.C., Shaibi G.Q. Effects of a Diabetes Prevention Program on Type 2 Diabetes Risk Factors and Quality of Life Among Latino Youths with Prediabetes: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Netw. Open*, 2022, vol. 5, no. 9. Art. no. e2231196. DOI: [10.1001/jamanetworkopen.2022.31196](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.31196)
10. Ooi T.C., Mat Ludin A.F., Loke S.C., Fiatarone Singh M.A., Wong T.W., Vytialingam N., Anthony Abdullah M.M.J., Ng O.C., Bahar N., Zainudin N., Lew L.C. A 16-Week Home-Based Progressive Resistance Tube Training Among Older Adults with Type-2 Diabetes Mellitus: Effect on Glycemic Control. *Gerontol. Geriatr. Med.*, 2021, vol. 7. Art. no. 23337214211038789. DOI: [10.1177/23337214211038789](https://doi.org/10.1177/23337214211038789)
11. Colberg S.R., Sigal R.J., Yardley J.E., Riddell M.C., Dunstan D.W., Dempsey P.C., Horton E.S., Castorino K., Tate D.F. Physical Activity/Exercise and Diabetes: A Position Statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 2016, vol. 39, no. 11, pp. 2065–2079. DOI: [10.2337/dc16-1728](https://doi.org/10.2337/dc16-1728)
12. Lind L., Sundström J., Årnlöv J., Risérus U., Lampa E. A Longitudinal Study over 40 Years to Study the Metabolic Syndrome as a Risk Factor for Cardiovascular Diseases. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1. Art. no. 2978. DOI: [10.1038/s41598-021-82398-8](https://doi.org/10.1038/s41598-021-82398-8)
13. Min J., Chang J.S., Choi J.Y., Kong I.D. Association Between Skeletal Muscle Mass, Physical Activity, and Metabolic Syndrome: The Korean National Health and Nutrition Examination Survey 2008–2011. *Metab. Syndr. Relat. Disord.*, 2022, vol. 20, no. 3, pp. 156–165. DOI: [10.1089/met.2021.0080](https://doi.org/10.1089/met.2021.0080)
14. Samuel V.T., Shulman G.I. The Pathogenesis of Insulin Resistance: Integrating Signaling Pathways and Substrate Flux. *J. Clin. Invest.*, 2016, vol. 126, no. 1, pp. 12–22. DOI: [10.1172/JCI77812](https://doi.org/10.1172/JCI77812)
15. Williams M.A., Haskell W.L., Ades P.A., Amsterdam E.A., Bittner V., Franklin B.A., Gulanick M., Laing S.T., Stewart K.J. Resistance Exercise in Individuals with and Without Cardiovascular Disease: 2007 Update: A Scientific Statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation*, 2007, vol. 116, no. 5, pp. 572–584. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214)
16. *Draft Expert Recommendations of the Russian Society of Cardiology for the Diagnosis and Treatment of Metabolic Syndrome*. 3rd revision. Moscow, 2013 (in Russ.). Available at: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1685958734&tld=ru&lang=ru&name=projectrecomMS.doc&text=%D0%...scardio.ru%2Fcontent%2FGuidelines%2Fprojec trecomMS.doc...BE%25D0%25> (accessed: 5 June 2023).
17. Zhou Y., Wu W., Zou Y., Huang W., Lin S., Ye J., Lan Y. Benefits of Different Combinations of Aerobic and Resistance Exercise for Improving Plasma Glucose and Lipid Metabolism and Sleep Quality Among Elderly Patients with Metabolic Syndrome: A Randomized Controlled Trial. *Endocr. J.*, 2022, vol. 69, no. 7, pp. 819–830. DOI: [10.1507/endocrj.EJ21-0589](https://doi.org/10.1507/endocrj.EJ21-0589)
18. Liang M., Pan Y., Zhong T., Zeng Y., Cheng A.S.K. Effects of Aerobic, Resistance, and Combined Exercise on Metabolic Syndrome Parameters and Cardiovascular Risk Factors: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Rev. Cardiovasc. Med.*, 2021, vol. 22, no. 4, pp. 1523–1533. DOI: [10.31083/j.rcm2204156](https://doi.org/10.31083/j.rcm2204156)
19. Kwon D.H., Cho Y.G., Park H.A., Koo H.S. The Difference in the Prevalence of Metabolic Syndrome According to Meeting Guidelines for Aerobic Physical Activity and Muscle-Strengthening Exercise: A Cross-Sectional Study Performed Using the Korea National Health and Nutrition Examination Survey, 2014–2019. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 24. Art. no. 5391. DOI: [10.3390/nu14245391](https://doi.org/10.3390/nu14245391)

20. Elsangedy H.M., Machado D.G.D.S., Krinski K., Nascimento P.H.D., Oliveira G.T.A., Santos T.M., Hargreaves E.A., Parfitt G. Let the Pleasure Guide Your Resistance Training Intensity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 2018, vol. 50, no. 7, pp. 1472–1479. DOI: [10.1249/MSS.0000000000001573](https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001573)
21. Lixandrão M.E., Ugrinowitsch C., Berton R., Vechin F.C., Conceição M.S., Damas F., Libardi C.A., Roschel H. 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 Med.*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 361–378. DOI: [10.1007/s40279-017-0795-y](https://doi.org/10.1007/s40279-017-0795-y)
22. Saatmann N., Zaharia O.-P., Loenneke J.P., Roden M., Pesta D.H. Effects of Blood Flow Restriction Exercise and Possible Applications in Type 2 Diabetes. *Trends Endocrinol. Metab.*, 2021, vol. 32, no. 2, pp. 106–117. DOI: [10.1016/j.tem.2020.11.010](https://doi.org/10.1016/j.tem.2020.11.010)
23. Alberti K.G., Eckel R.H., Grundy S.M., Zimmet P.Z., Cleeman J.I., Donato K.A., Fruchart J.C., James W.P., Loria C.M., Smith S.C. Jr. 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, vol. 120, no. 16, pp. 1640–1645. DOI: [10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644](https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.109.192644)
24. LeSuer D.A., McCormick J.H., Mayhew J.L., Wasserstein R.L., Arnold M.D. The Accuracy of Prediction Equations for Estimating 1-RM Performance in the Bench Press, Squat, and Deadlift. *J. Strength Cond. Res.*, 1997, vol. 11, no. 4, pp. 211–213.
25. Freitas E.D.S., Galletti B.R.A., Koziol K.J., Miller R.M., Heishman A.D., Black C.D., Bemben D., Bemben M.G. The Acute Physiological Responses to Traditional vs. Practical Blood Flow Restriction Resistance Exercise in Untrained Men and Women. *Front. Physiol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 577224. DOI: [10.3389/fphys.2020.577224](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.577224)
26. Freitas E.D.S., Miller R.M., Heishman A.D., Ferreira-Júnior J.B., Araújo J.P., Bemben M.G. Acute Physiological Responses to Resistance Exercise with Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: A Randomized Controlled Trial. *Front. Physiol.*, 2020, vol. 11. Art. no. 132. DOI: [10.3389/fphys.2020.00132](https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00132)
27. DeBoer M.D., Gurka M.J. Clinical Utility of Metabolic Syndrome Severity Scores: Considerations for Practitioners. *Diabetes Metab. Syndr. Obes.*, 2017, vol. 10, pp. 65–72. DOI: [10.2147/DMSO.S101624](https://doi.org/10.2147/DMSO.S101624)
28. Moon H.E., Lee T.S., Chung T.-H. Association Between Lower-to-Upper Ratio of Appendicular Skeletal Muscle and Metabolic Syndrome. *J. Clin. Med.*, 2022, vol. 11, no. 21. Art. no. 6309. DOI: [10.3390/jcm11216309](https://doi.org/10.3390/jcm11216309)
29. Sverchkov V.V., Bykov E.V. Myshechnaya sila i tyazhest' metabolicheskogo sindroma [Muscle Strength and Metabolic Syndrome Severity]. Burganov R.T. (ed.). *Olimpiyskiy sport i sport dlya vsekh* [Olympic Sports and Sports for All]. Kazan, 2021, pp. 409–411.
30. Sverchkov V.V., Bykov E.V. Vliyanie nizkointensivnykh silovykh trenirovok s ogranicheniem krovotoka na dinamiku silovykh sposobnostey u lits s metabolicheskim sindromom [Effect of Low-Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction on Strength Dynamics in People with Metabolic Syndrome]. *Problemy podgotovki nauchnykh i nauchno-pedagogicheskikh kadrov: opyt i perspektivy* [Problems of Training Scientific and Academic Personnel: Experience and Prospects]. Iss. 19. Chelyabinsk, 2022, pp. 177–184.
31. McPherron A.C., Lee S.-J. Suppression of Body Fat Accumulation in Myostatin-Deficient Mice. *J. Clin. Invest.*, 2002, vol. 109, no. 5, pp. 595–601. DOI: [10.1172/JCI13562](https://doi.org/10.1172/JCI13562)
32. Guo T., Bond N., Jou W., Gavrilova O., Portas J., McPherron A.C. Myostatin Inhibition Prevents Diabetes and Hyperphagia in a Mouse Model of Lipodystrophy. *Diabetes*, 2012, vol. 61, no. 10, pp. 2414–2423. DOI: [10.2337/db11-0915](https://doi.org/10.2337/db11-0915)
33. Holten M.K., Zacho M., Gaster M., Juel C., Wojtaszewski J.F., Dela F. Strength Training Increases Insulin-Mediated Glucose Uptake, GLUT4 Content, and Insulin Signaling in Skeletal Muscle in Patients with Type 2 Diabetes. *Diabetes*, 2004, vol. 53, no. 2, pp. 294–305. DOI: [10.2337/diabetes.53.2.294](https://doi.org/10.2337/diabetes.53.2.294)
34. Qadir R., Sculthorpe N.F., Todd T., Brown E.C. Effectiveness of Resistance Training and Associated Program Characteristics in Patients at Risk for Type 2 Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med. Open*, 2021, vol. 7, no. 1, pp. 38–50. DOI: [10.1186/s40798-021-00321-x](https://doi.org/10.1186/s40798-021-00321-x)
35. Lunenfeld B. Testosterone Deficiency and the Metabolic Syndrome. *Aging Male*, 2007, vol. 10, no. 2, pp. 53–56. DOI: [10.1080/13685530701390800](https://doi.org/10.1080/13685530701390800)
36. Stadhouders L.E.M., Verbrugge S.A.J., Smith J.A.B., Gabriel B.M., Hammersen T.D., Kolijn D., Vogel I.S.P., Mohamed A.D., de Wit G.M.J., Offringa C., Hoogaars W.M., Gehlert S., Wackerhage H., Jaspers R.T. Myotube Hypertrophy Is Associated with Cancer-Like Metabolic Reprogramming and Limited by PHGDH. *bioRxiv*, 2020. DOI: [10.1101/2020.12.01.403949](https://doi.org/10.1101/2020.12.01.403949)

DOI: 10.37482/2687-1491-Z149

Vadim V. Sverchkov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3650-0624>

Evgeniy V. Bykov\* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7506-8793>

\*The Urals State University of Physical Culture  
(Chelyabinsk, Russian Federation)

## LOW-INTENSITY RESISTANCE TRAINING WITH BLOOD FLOW RESTRICTION IMPROVES METABOLIC PARAMETERS IN MEN WITH METABOLIC SYNDROME

Resistance training with blood flow restriction using inflatable cuffs or elastic bands produces a partial occlusion of the vessels of the exercising muscles. Compared to high-intensity resistance training, blood flow restriction training markedly reduces the mechanical load, while causing a similar increase in muscle mass and strength. Thus, this method is an effective training protocol for people with disabilities. Recent studies have shown that blood flow restriction training has beneficial effects on glucose metabolism and promotes mitochondrial biogenesis. Therefore, it can be considered as a valuable alternative to exercise for people with metabolic syndrome, a disorder characterized by impaired glucose metabolism, decreased skeletal muscle mass and progressive sarcopenia. The **purpose** of this research was to evaluate the effect of low-intensity resistance training with blood flow restriction on the metabolic parameters in men with metabolic syndrome. **Materials and methods.** The study involved 45 non-exercising men (mean age  $35.2 \pm 6.4$  years) with metabolic syndrome. The participants were divided into three groups: low-intensity resistance training with blood flow restriction; high-intensity resistance training without blood flow restriction; low-intensity resistance training without blood flow restriction. Before and after the training course (12 weeks), blood plasma levels of glucose, triglycerides and high-density lipoproteins were assessed, as well as systolic blood pressure, waist circumference and metabolic syndrome severity z-score. **Results.** A statistically significant ( $p < 0.05$ ) decrease in all parameters was found in the groups of low-intensity resistance training with blood flow restriction and high-intensity resistance training. In the group of low-intensity resistance training without blood flow restriction, no statistically significant changes were identified ( $p > 0.05$ ). Thus, the research found that low-intensity resistance training with blood flow restriction improves the metabolic profile of men with metabolic syndrome and can, therefore, be used to prevent and treat metabolic disorders.

**Keywords:** *blood flow restriction training, low-intensity resistance training, men with metabolic syndrome, impaired glucose tolerance.*

Received 17 November 2022

Accepted 15 February 2023

Published 22 September 2023

Поступила 17.11.2022

Принята 15.02.2023

Опубликована 22.09.2023

---

**Corresponding author:** Vadim Sverchkov, address: ul. Ordzhonikidze 1, Chelyabinsk, 454091, Russian Federation;  
e-mail: Vadim.sverchkov@yandex.ru

**For citation:** Sverchkov V.V., Bykov E.V. Low-Intensity Resistance Training with Blood Flow Restriction Improves Metabolic Parameters in Men with Metabolic Syndrome. *Journal of Medical and Biological Research*, 2023, vol. 11, no. 3, pp. 310–320. DOI: 10.37482/2687-1491-Z149