

В.В. Сверчков, Е.В. Быков

ДИНАМИКА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПОСЛЕ СИЛОВЫХ ТРЕНИРОВОК С ОГРАНИЧЕНИЕМ КРОВОТОКА У ЛИЦ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ

Уральский государственный университет физической культуры, кафедра спортивной медицины
и физической реабилитации, г. Челябинск, Россия

Контактное лицо: Сверчков Вадим Владимирович: bykov@uralgufk.ru

Резюме

Известно, что вегетативная дисфункция связана с метаболическими заболеваниями. Физическая активность оказывает благотворное влияние как на метаболическое здоровье, так и на вариабельность сердечного ритма (ВСР). Однако в научной литературе вопрос о влиянии тренировок с отягощениями на показатели ВСР неоднозначен.

Цель исследования: оценить влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели ВСР у мужчин с метаболическим синдромом (МС).

Материалы и методы: проанализированы результаты влияния различных режимов тренировок с отягощениями на 60 мужчинах с МС. Испытуемые были разделены на три группы: низкоинтенсивная силовая тренировка в сочетании с ограничением кровотока (НАОК; $n = 20$), высокоинтенсивная силовая тренировка без ограничения кровотока (ВБ; $n = 20$), низкоинтенсивная силовая тренировка без ограничения кровотока (НБ; $n = 20$). Тренировки проводились 2 раза в неделю на протяжении 12 недель. До и после исследования оценивались временные и частотные показатели ВСР. **Результаты исследования.** После исследования наблюдалось увеличение показателей SDNN для группы НАОК ($p = 0,000$; d Коэна = 0,69), для группы ВБ ($p = 0,000$; d Коэна = 0,83), для группы НБ ($p = 0,016$; d Коэна = 0,22) повышение RMSSD для группы НАОК ($p = 0,000$; d Коэна = 0,67), для группы ВБ ($p = 0,000$; d Коэна = 0,87), для группы НБ ($p = 0,027$; d Коэна = 0,26), а также повышение pNN50 для группы НАОК ($p = 0,000$; d Коэна = 0,58), для группы ВБ ($p = 0,000$; d Коэна = 0,53), для группы НБ ($p = 0,079$; d Коэна = 0,14). Также наблюдались статистически значимые изменения ($p < 0,05$) для частотных параметров ВСР для групп НАОК и ВБ.

Выводы. Тренировки с отягощениями, в том числе в сочетании с ограничением кровотока, позитивно влияют на ВСР у мужчин с МС.

Ключевые слова: силовые тренировки с ограничением кровотока, тренировки с отягощениями, вариабельность сердечного ритма, метаболический синдром

Для цитирования: Сверчков В.В., Быков Е.В. Динамика вариабельности сердечного ритма после силовых тренировок с ограничением кровотока у лиц с метаболическим синдромом // Клинический вестник ФМБЦ им. А.И. Бурназяна 2024. №4. С. 13–19. DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-13-19

V.V. Sverchkov, E.V. Bykov

Heart Rate Variability Dynamics after Resistance Training with Blood Flow Restriction in Individuals with Metabolic Syndrome

Ural State University of Physical Education, Department of Sports Medicine and Physical Rehabilitation, Chelyabinsk, Russia

Contact person: Sverchkov Vadim Vladimirovich: bykov@uralgufk.ru

Abstract

We know that autonomic disfunction is due to metabolic pathologies. The same time, physical activity has beneficial effects on metabolic health and heart rate variability (HRV). But there is no consensus about the effect of trainings with weights on HRV in the scientific literature.

Purpose: To assess the impact of low-intensity power trainings with blood flow restrictions on HRV of men with metabolic syndrome (MS).

Materials and methods: Influence of different weight training modes on 60 men with MS was analyzed. The participants were divided into three groups: low-load resistance training with blood flow restriction (LLBFR; $n = 20$), high-intensity resistance training without blood flow restriction (HI; $n = 20$), low-load resistance training without blood flow restriction (LL; $n = 20$). Trainings were conducted twice a week for 12 weeks. Time and frequency indicators were assessed before and after the investigation.

Results: After the investigation, there were an increase in SDNN for the LLBFR group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.69$), for the HI group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.83$), for the LL group ($p = 0.016$; Cohen's $d = 0.22$), an increase in RMSSD for the LLBFR group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.67$), for the HI group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.87$), for the LL group ($p = 0.027$; Cohen's $d = 0.26$), as well as an increase in pNN50 for the LLBFR group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.58$), for the HI group ($p = 0.000$; Cohen's $d = 0.53$), for the LL group ($p = 0.079$; Cohen's $d = 0.14$). Statistically significant changes ($p < 0.05$) were also observed for the frequency parameters of HRV for the LLBFR and HI groups.

Conclusions: Resistance training, including in combination with blood flow restriction, has a positive effect on HRV in men with MS.

Keywords: venetoclax, relapsed or refractory B-cell lymphomas, survival, complete remission

For citation: Sverchkov VV, Bykov EV. Heart Rate Variability Dynamics after Resistance Training with Blood Flow Restriction in Individuals with Metabolic Syndrome. A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center Clinical Bulletin. 2024.4:13-19. (In Russian) DOI: 10.33266/2782-6430-2024-4-13-19

Введение

Метаболический синдром (МС) состоит из различного сочетания кардиометаболических факторов риска таких как абдоминальное ожирение, снижение уровня холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП), повышение уровня триглицеридов (ТГ), нарушение толерантности к глюкозе и повышение артериального давления, которые как по отдельности, так и в сочетании являются факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ) [1], диабета 2 типа (СД2) [2], хронической болезни почек [3], осложнений после хирургических операций [4], клеточного старения [5], различных видов рака [6], инсульта и смертности от всех причин [7]. По оценкам, от 20% до 25% взрослого населения во всем мире страдают МС. Поскольку глобальная распространенность МС растет до масштабов пандемии, в настоящее время он считается одной из главных проблем общественного здравоохранения. Хотя основные патофизиологические механизмы влияния МС на показатели здоровья еще предстоит выяснить, существует научные доказательства, указывающих на то, что дисфункция вегетативной нервной системы (ВНС) является одним из основных механизмов, которые могли бы объяснить повышенный риск различных хронических заболеваний и смертности, связанных с МС [8]. Так, J. Ortiz-Guzmán et al. [9] в систематическом обзоре и метаанализе установили, что долгосрочные записи вариабельности сердечного ритма (ВСР), включая стандартное отклонение среднего интервала (SDNN), мощность волн низкой частоты (LF), мощность волн очень низкой частоты (VLF), общая мощность волн (TP) были снижены у лиц с МС. В другом систематическом обзоре и метаанализе J. Ortiz-Guzmán et al. [10] также было установлено, что краткосрочные записи ВСР, включающие SDNN, среднеквадратичное отклонение последовательных разностей интервалов (RMSDD), LF и мощность волн высокой частоты (HF) были снижены у лиц с МС. N. Azulay et al. [11] установили, взаимосвязь между количеством компонентов МС и показателями ВСР в выборке из 7880 человек, пришли к выводу, что вегетативная дисфункция проявляется даже на ранних стадиях МС.

S. Blackwood et al. [12] установили, что у здоровых молодых людей повышенная частота сердечных сокращений (ЧСС) (маркер доминирующего влияния симпатического отдела ВНС) коррелирует с низкой чувствительностью к инсулину (одним из патологических механизмов МС) и высокой экспрессией мышечных волокон II типа, которые обладают низкими уровнями эндотелиальной синтазы оксида азота и, следовательно, ограниченной способностью вызывать вазодилатацию, что приводит к периферическому сосудистому сопротивлению. Таким образом, можно предположить, что увеличение доли мышечных волокон I типа, ангиогенез мышечной ткани, повышение уровня оксида азота и эндотелиальной функции должны повысить ВСР и улучшить кардиометаболические параметры у лиц с МС.

Тренировка с ограничением кровотока (ТОК) – это метод тренировки, который способен вызвать рост силы и гипертрофии мышц даже при использовании нагрузок низкой интенсивности. Он включает в себя применение пневматических или эластичных жгутов для уменьшения венозного оттока в сокращающейся мышце. Увеличение мышечной массы и силы, связанное с ТОК, является результатом механического напряжения и метаболического стресса. Систематические обзоры и метаанализы установили, что ТОК способны вызывать более значительную гипертрофию мышечных волокон I типа [13], оказывать положительное влияние на ангиогенез [14], снижать артериальное давление [15], увеличивать поток-опосредованную вазодилатацию, улучшать сердечно-лодыжечный сосудистый и лодыжечно-плечевой индексы [16]. Таким образом, ТОК являются потенциальным кандидатом для улучшения ВСР у лиц с МС.

Цель исследования

Оценить влияние низкоинтенсивных силовых тренировок с ограничением кровотока на показатели вариабельности сердечного ритма у мужчин с метаболическим синдромом.

Материалы и методы

Данное рандомизированное контролируемое исследование проводилось на базе НИИ олимпийского спорта и кафедры спортивной медицины и физической реабилитации при Уральском государственном университете физической культуры, сети фитнес-клубов «Территория спорта» г. Челябинск, медицинской клиники «ПолиКлиника» г. Челябинск в период с март 2021 по апрель 2022 гг. Для исследования было отобрано 69 мужчин в возрасте $35,12 \pm 9,97$, у которых был диагностирован МС согласно критериям Международной диабетической федерации (IDF), Национального института сердца, легких и крови (NHLBI), Американской кардиологической ассоциации (AHA), Всемирной кардиологической федерации (WHF), Международного общества атеросклероза (IAS) и Международной ассоциации по изучению ожирения (IASO) 2009 г. [17], где для постановки диагноза необходимо наличие минимум трех из пяти нижеперечисленных критериев: (1) окружность талии ≥ 94 см у мужчин; (2) артериальное давление $\geq 130/85$ мм рт. ст. или медикаментозное лечение ранее диагностированной гипертонии; (3) уровень холестерина ЛПВП < 40 мг/дл у мужчин; (4) уровень ТГ ≥ 150 мг/дл или медикаментозное лечение повышенного уровня ТГ; (5) уровень глюкозы натощак ≥ 100 мг/дл или медикаментозное лечение повышенного уровня глюкозы или ранее диагностированного СД2.

Критерии включения: нетренированные мужчины, у которых имеется 3 или более критериев МС. Критерии невключения: острые хронические инфекционные или соматические заболевания, артериальная гипертония (выше 140/90), сахарный диабет 2 типа, тромбоз глубоких вен конечностей, заболевания

опорно-двигательного аппарата и другие противопоказания к выполнению силовой нагрузки.

Рандомизация участников исследования

Перед проведением исследования трое участников отказались от проведения исследования. Таким образом, 66 участников были подвергнуты рандомизации. Для рандомизации участников использовалась компьютерная программа Research Randomizer [18]. Участники были разделены на три группы. Первая группа выполняла силовую нагрузку низкой интенсивности в сочетании с ограничением кровотока (НИОК; $n = 22$). Вторая группа выполняла высокоинтенсивную силовую нагрузку (ВИ; $n = 22$). Третья группа выполняла низкоинтенсивную силовую нагрузку без ограничения кровотока (НИ; $n = 22$). Два участника из группы НИОК ($n=2$) и один участник из группы ВИ ($n=1$) выбыли в процессе проведения исследования. Двое мужчин были исключены из группы НИ ($n=2$), а также один мужчина исключен из группы ВИ ($n=1$), чтобы предотвратить погрешность. Таким образом, в окончательный анализ вошли результаты исследования 60 мужчин.

Критерии метаболического синдрома

У всех участников была собрана утренняя венозная кровь после 8-12-часового голодания для определения уровня глюкозы, ТГ, ЛПВП в плазме. В утренние часы после 5-минутного отдыха в положении сидя оценивали артериальное давление при помощи тонометра Omron M2 Basic, Япония. ОТ измеряли с помощью сантиметровой ленты на уровне верхнего гребня подвздошной кости.

Тяжесть метаболического синдрома. Z-показатель tМС оценивали по формуле:

$$\text{tМС} = -5,4473 + 0,0125 \times \text{ОТ} - 0,0251 \times \text{ЛПВП} + 0,0047 \times \text{САД} + 0,8244 \times \ln(\text{ТГ}) + 0,0106 \times \text{х глюкоза},$$

где ОТ – обхват талии в сантиметрах, ЛПВП – липопротеиды высокой плотности в мг/дл, САД – систолическое артериальное давление в мм рт.ст., $\ln(\text{ТГ})$ – натуральный логарифм триглицеридов натошак в мг/дл, глюкоза натошак в мг/дл [19]. Более высокий показатель характеризует менее благоприятный метаболический статус.

Вариабельность сердечного ритма

Для оценки ВСР использовались долгосрочные записи (≥ 24 часа). Регистрация ВСР производилась при помощи технологии Firstbeat (Финляндия). Датчики устанавливались в утренние часы до начала проведения исследования, а также через три дня после проведения последней тренировки и снимались через 24 часа. Оценивались показатели во временной области: стандартное отклонение среднего интервала (SDNN), среднеквадратичное отклонение последовательных разностей интервалов (RMSDD), процент соседних кардиоинтервалов, отличающихся друг от

друга более чем на 50 мс (pNN50), а также оценивался спектральный анализ: общая мощность волн (TP), мощность волн низкой частоты (LF), мощность волн высокой частоты (HF), соотношение LF/HF. Обработку сигнала для получения параметров ВСР проводили с помощью программного обеспечения Firstbeat 4.3.0.6.

Протоколы тренировок с отягощениями

Группа НИОК выполняла силовую нагрузку низкой интенсивности в сочетании с ограничением кровотока (интенсивность – 30 % от повторного максимума (ПМ), 4 подхода в каждом упражнении 30-15-15-15 пауза отдыха между подходами 30 сек-1 мин, между упражнениями 2 мин). Группа ВИ выполняла нагрузку высокой интенсивности без ограничения кровотока (интенсивность – 70 % от ПМ, 3 подхода в каждом упражнении, пауза отдыха между подходами и упражнениями 2 мин). Группа НИ выполняла нагрузку аналогичную группе НИОК, но без ограничения кровотока. Протокол тренировок выполнялся по принципу Full Body [20] и включал следующие упражнения: жим штанги лежа, тяга вертикального блока, разгибание голени в тренажере, сгибание голени в тренажере, подошвенное сгибание стопы в тренажере сидя, жим гантелей вверх сидя, разгибание предплечий в силовом блоке, сгибание предплечий в гантелях. Перед основной частью проводилась разминка на беговой дорожке в течении 5-10 мин до достижения пульсовой зоны 100-120 ударов в минуту и разминочные подходы перед выполнением каждого упражнения. После тренировки проводилась заминка (cool down) на велотренажере в течении 5 мин. В общей сложности было проведено 24 тренировочных занятия по 2 раза в неделю на протяжении 12 недель, а также 3 тестирования ПМ.

Оценка повторного максимума

ПМ определялся в каждом упражнении до начала проведения исследования, а также для корректировки веса отягощения на 4 и 8 неделях исследования. Перед проведением тестирования производилась разминка аналогичная той, которая производилась перед тренировками. Затем участники выполняли 1-2 разминочных подхода. Затем устанавливался вес отягощения, с которым испытуемый мог выполнить 10 повторов до концентрического волевого отказа. Если испытуемый мог выполнить в подходе более 10 повторов, то подход останавливался и добавлялся вес отягощения (5-10 кг) и после паузы отдыха 3-5 мин повторялся. Для определения близости к концентрическому отказу использовалась шкала Repetitions-in-Reserve (RIR) [21]. Если испытуемый, выполнивший 10 повторов подходе, сообщал о том, что по шкале RIR в запасе оставалось не более 2 повторов, то тестирование останавливалось, если более 2 повторов, то тестирование продолжалось. Далее по формуле B. Epley [22] рассчитывался 1 ПМ:

$$1\text{ПМ} = w(1 + r/30)$$

где w — вес отягощения, g — максимальное количество повторений.

Ограничение кровотока

Для создания ограничения кровотока использовалась эластичная манжета, обернутая вокруг проксимальной части плеча, бедра или голени. Обхват эластичной ленты был уменьшен на 25% относительно обхвата верхних и на 30% относительно обхвата нижних конечностей [23]. Использовался прерывистый вариант ограничения кровотока (в течении подхода ограничивали кровоток, во время паузы отдыха кровотоки восстанавливали, снимая эластичную ленту) [24].

Статистическая обработка результатов

Полученные результаты обработаны с помощью статистического пакета анализа данных Microsoft Excel. Проверку на нормальность распределения признаков проводили с использованием критериев Колмогорова - Смирнова. Для оценки корреляционной зависимости между признаками использовали коэффициент корреляции Пирсона r . Для определения статистической значимости между независимыми группами до и после исследования был использован однофакторный дисперсионный анализ. После выявления статистически значимого влияния факторов применялся апостериорный (post hoc) анализ попарных сравнений с поправкой Бонферрони. Для определения статистически значимых различий между зависимыми выборками до и после исследования применяли t -критерия Стьюдента. Мы рассчитали размер эффекта всех исследуемых параметров для оценки степени влияния различных режимов тренировок с отягощениями по формуле d Коэна делением средней разницы между показателями до и после исследования на усредненное стандартное отклонение без контроля интеркорреляции [25] (значение $d = 0,20$ указывает на малый размер эффекта, $d = 0,50$ указывает на средний размер эффекта, а $d = 0,80$ указывает на большой размер эффекта). Значения переменных представлены в виде $M \pm SD$, где M — среднее арифметическое, SD — стандартное (среднее квадратичное) отклонение. Выбирался уровень статистической значимости 0,05 или 0,01. Результаты считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Результаты исследования ВСР у мужчин с МС после различных режимов тренировок с отягощениями приведены в таблице. Нами была обнаружена обратно пропорциональная зависимость между z -показателем tMC и $SDNN$ ($r = -0,62$; $p < 0,05$), а также между z -показателем tMC и $RMSSD$ ($r = -0,67$; $p < 0,05$) у обследованных мужчин. До начала исследования не наблюдалось статистически значимых различий по временным и частотным показателям ВСР ($p > 0,05$) у мужчин с МС.

После исследования были обнаружены статистически значимые различия по показателю $SDNN$ для группы НИОК ($p = 0,000$), ВИ ($p = 0,000$) и НИ ($p = 0,016$). Размер эффекта (коэффициент d Коэна)

для $SDNN$ составил для группы ВИ ($d = 0,83$), для НИОК ($d = 0,69$), для НИ ($d = 0,22$). Также обнаружены статистически значимые изменения $RMSSD$ для группы НИОК ($p = 0,000$), ВИ ($p = 0,000$) и НИ ($p = 0,027$). Размер эффекта для $RMSSD$ составил для группы ВИ ($d = 0,87$), для НИОК ($d = 0,67$), для НИ ($d = 0,26$). Показатель $pNN50$ статистически значимо изменился только в группах НИОК ($p = 0,000$) и ВИ ($p = 0,000$). В группе НИ наблюдалась тенденция к увеличению $pNN50$, но она не достигла порога статистической значимости ($p = 0,079$). Размер эффекта для $pNN50$ составил для группы НИОК ($d = 0,58$), для ВИ ($d = 0,53$), для НИ ($d = 0,14$).

Также были обнаружены изменения для частотных показателей ВСР. Так статистически значимые различия наблюдались в ТР для групп НИОК ($p = 0,000$) и ВИ ($p = 0,000$), в HF для групп НИОК ($p = 0,000$) и ВИ ($p = 0,014$) и LF/HF для групп НИОК ($p = 0,000$) и ВИ ($p = 0,000$). Для группы НИ ни один из частотных показателей ВСР не достиг порога статистически значимых изменений ($p > 0,05$). Значительный размер эффекта был обнаружен для показателя ТР в группе НИОК ($d = 0,66$), ВИ ($d = 0,64$), для показателя HF в группе НИОК ($d = 0,72$), ВИ ($d = 0,58$) и для соотношения LF/HF в группе НИОК ($d = -0,88$), ВИ ($d = -0,63$), НИ ($d = -0,43$).

Обсуждение результатов

В нашем исследовании было установлено, что 12 недель тренировок с отягощениями, в том числе, в сочетании с ограничением кровотока у мужчин с МС привели к улучшению показателей ВСР.

В научной литературе вопрос о влиянии тренировок с отягощениями на показатели ВСР неоднозначен. Так, систематический обзор B. Grässler et al. [26] установил, что тренировки с отягощениями не приводили к изменению ВСР у здоровых пожилых людей. При этом систематический обзор и сетевой метаанализ F. Yang et al. [27] установил, что тренировки с отягощениями на основании ранжирования SUCRA оказали наибольшее влияние на мощность высоких частот ВСР у здоровых взрослых. Еще один систематический обзор и метаанализ установил, что тренировки с отягощениями приводят к улучшению ВСР у лиц с различными хроническими заболеваниями, но не у здоровых людей [28]. Действительно, систематический обзор и метаанализ H. Namasaki et al. [29] установил, что тренировки с отягощениями как в отдельности, так и в сочетании с аэробными тренировками оказывают положительное влияние на автономную нервную систему у пациентов с СД2. Тренировки с отягощениями с интенсивностью 65%-75% от 1 ПМ, 3 раза в неделю в течение 12 недель улучшали автономную функцию сердца у пациентов с СД2 [30]. В другом исследовании как традиционные, так и функциональные тренировки с отягощениями улучшили автономную сердечную модуляцию у лиц с МС [31]. Еще в одном исследовании тренировки с отягощениями улучшили парасимпатические индексы ВСР у подростков с ожирением [32].

В нашем исследовании было установлено, что тренировки с отягощениями в сочетании с ограничением кровотока также приводили к улучшению показателей ВСР у мужчин с МС. Хотя в исследовании K. Lopes et al. [33] не было обнаружено изменений ВСР после 12 недель тренировок с отягощениями в сочетании с ограничением кровотока у здоровых пожилых людей, но в других исследованиях данный метод тренировок приводил к улучшению симпато-вагальной модуляции у лиц с ожирением [34], артериальной гипертензией [35], заболеваниями почек [36], болезнью Паркинсона [37].

Основной механизм, ответственный за положительное влияние тренировок с отягощениями, в том числе, в сочетании с ограничением кровотока не до конца выяснен. Предполагается, что повышение парасимпатической и снижение симпатической активности является потенциальным кандидатом. Эффект может быть опосредован через повышение биодоступного оксида азота. Известно, что упражнения оказывают благотворное влияние на тормозные и возбуждающие пути симпатических нервов в мозге за счет повышения уровня оксида азота в паравентрикулярном ядре гипоталамуса [38]. Оксид азота играет ключевую роль в модуляции активно-

сти блуждающего нерва [39]. Известно, что как традиционные тренировки с отягощениями [40], так и силовые тренировки в сочетании с ограничением кровотока [14] повышают уровни оксида азота и эндотелиальной синтазы оксида азота. К тому же снижение периферического сопротивления и ригидности стенок сосудов за счет повышения оксида азота и увеличения капилляризации мышечной ткани после силовых тренировок будет способствовать снижению активности симпатического отдела ВНС. Таким образом, традиционные тренировки с отягощениями и низкоинтенсивные силовые тренировки в сочетании с ограничением кровотока положительно изменяют показатели ВСР у мужчин с МС.

Выводы

В заключении следует отметить, что тренировки с отягощениями демонстрируют многообещающие результаты в подавлении симпатического и повышении парасимпатического тонуса, улучшая симпато-вагальный баланс и улучшении показателей вариабельности сердечного ритма у мужчин с метаболическим синдромом. Соответственно, силовые тренировки являются важным компонентом в программах физической реабилитации лиц с метаболически нездоровым статусом.

Таблица

Показатели вариабельности сердечного ритма до и после различных протоколов тренировок с отягощениями у мужчин с метаболическим синдромом (M ± SD)
Heart rate variability before and after various resistance training protocols in men with metabolic syndrome (M ± SD)

Параметр		НИОК	ВИ	НИ	p
SDNN, мс	до	34,27±7,06	32,69±7,05	32,15±7,44	0,677
	после	39,55±8,33	38,75±7,54	33,82±7,41	0,034* 0,776**
p		0,000	0,000	0,016	
RMSSD, мс	до	25,86±4,98	24,99±4,80	24,82±5,19	0,769
	после	28,97±4,23	28,98±4,32	26,05±4,27	0,127
p		0,000	0,000	0,027	
pNN50, %	до	13,95±5,01	14,83±6,12	14,94±6,14	0,869
	после	16,98±5,47	18,21±6,67	15,79±5,96	0,532
p		0,000	0,000	0,079	
TP, мс²	до	3632±457	3464±478	3483±510	0,339
	после	3922±416	3775±495	3502±481	0,005* 0,359**
p		0,000	0,000	0,494	
LF, мс²	до	1173±187	1230±206	1157±179	0,533
	после	1123±184	1173±165	1145±184	0,713
p		0,096	0,059	0,683	
HF, мс²	до	985±174	1074±186	1097±178	0,189
	после	1109±171	1175±163	1108±177	0,453
p		0,000	0,014	0,654	
LF/HF, ед	до	1,21±0,22	1,18±0,28	1,16±0,16	0,784
	после	1,03±0,19	1,01±0,26	1,08±0,21	0,724
p		0,000	0,000	0,145	

Примечание: * – статистические различия после исследования между группами НИОК и НИ; ** – статистические различия после исследования между группами НИОК и ВИ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ/REFERENCES

- Guembe M.J., Fernandez-Lazaro C.I., Sayon-Orea C., Toledo E., Moreno-Iribas C. RIVANA Study Investigators. Risk for Cardiovascular Disease Associated with Metabolic Syndrome and its Components: a 13-year Prospective Study in the RIVANA Cohort. *Cardiovasc Diabetol*. 2020 Nov 22;19:1:195. doi: 10.1186/s12933-020-01166-6.
- Shin J.A., Lee J.H., Lim S.Y., Ha H.S., Kwon H.S., Park Y.M., et al. Metabolic Syndrome as a Predictor of type 2 Diabetes, and its Clinical Interpretations and Usefulness. *J Diabetes Investig*. 2013 Jul 8;4:4:334-43. doi: 10.1111/jdi.12075.
- Valizadeh A., Nikoohemmat M., Ebadinejad A., Soltani S., Tape P.M.K., Sohrabi A., et al. Metabolic Syndrome as a Risk Factor for the Development of Kidney Dysfunction: a Meta-Analysis of Observational Cohort Studies. *J Diabetes Metab Disord*. 2023 Nov 23;23:1:215-227. doi: 10.1007/s40200-023-01348-5.
- Norris P., Gow J., Arthur T., Conway A., Fleming FJ, Ralph N. Metabolic Syndrome and Surgical Complications: a Systematic Review and Meta-Analysis of 13 Million Individuals. *Int J Surg*. 2024 Jan 1;110:1:541-553. doi: 10.1097/JS9.0000000000000834.
- Ibraheem Shelash Al-Hawary S., Ali Alzahrani A., Ghaleb Maabreh H., Abed Jawad M., Alsaadi S.B., Kareem Jabbar N., et al. The Association of Metabolic Syndrome with Telomere Length as a Marker of Cellular Aging: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Genet*. 2024 Jul 9;15:1390198. doi: 10.3389/fgene.2024.1390198.
- Zhan Z.Q., Chen Y.Z., Huang Z.M., Luo Y.H., Zeng J.J., Wang Y., et al. Metabolic Syndrome, its Components, and Gastrointestinal Cancer Risk: a Meta-Analysis of 31 Prospective Cohorts and Mendelian Randomization Study. *J Gastroenterol Hepatol*. 2024 Apr;39:4:630-641. doi: 10.1111/jgh.16477.
- Zhang F., Liu L., Zhang C., Ji S., Mei Z., Li T. Association of Metabolic Syndrome and its Components with Risk of Stroke Recurrence and Mortality: a Meta-Analysis. *Neurology*. 2021 Aug 17;97:7:e695-e705. doi: 10.1212/WNL.00000000000012415.
- Yu T.Y., Lee M.K. Autonomic Dysfunction, Diabetes and Metabolic Syndrome. *J Diabetes Investig*. 2021 Dec;12:12:2108-2111. doi: 10.1111/jdi.13691.
- Ortiz-Guzmán J.E., Mollà-Casanova S., Arias-Mutis Ó.J., Bizy A., Calvo C., Alberola A., et al. Differences in Long-Term Heart Rate Variability between Subjects with and without Metabolic Syndrome: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Cardiovasc Dev Dis*. 2023 May 9;10:5:203. doi: 10.3390/jcdd10050203.
- Ortiz-Guzmán J.E., Mollà-Casanova S., Serra-Añó P., Arias-Mutis Ó.J., Calvo C., Bizy A., et al. Short-Term Heart Rate Variability in Metabolic Syndrome: a Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2023 Sep 19;12:18:6051. doi: 10.3390/jcm12186051.
- Azulay N., Olsen R.B., Nielsen C.S., Stubhaug A., Jenssen T.G., Schirmer H., et al. Reduced Heart Rate Variability is Related to the Number of Metabolic Syndrome Components and Manifest Diabetes in the Sixth Tromsø Study 2007-2008. *Sci Rep*. 2022 Jul 14;12:1:11998. doi: 10.1038/s41598-022-15824-0.
- Blackwood S.J., Tischer D., van de Ven M.P.F., Pontén M., Edman S., Horwath O., et al. Elevated Heart Rate and Decreased Muscle Endothelial Nitric Oxide Synthase in Early Development of Insulin Resistance. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2024 Aug 1;327:2:E172-E182. doi: 10.1152/ajpendo.00148.2024.
- Schoenfeld B.J., Ogborn D., Piñero A., Burke R., Coleman M., Rolnick N. Fiber-Type-Specific Hypertrophy with the Use of Low-Load Blood Flow Restriction Resistance Training: a Systematic Review. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2023 Apr 27;8:2:51. doi: 10.3390/jfmr8020051.
- Maga M., Wachsmann-Maga A., Batko K., Włodarczyk A., Kłapacz P., Krężel J., et al. Impact of Blood-Flow-Restricted Training on Arterial Functions and Angiogenesis – a Systematic Review with Meta-Analysis. *Biomedicines*. 2023 May 31;11:6:1601. doi: 10.3390/biomedicines11061601.
- Russo A., Bopp G., Schmidt C., Bohn L. Chronic Hemodynamic Adaptations Induced by Resistance Training with and Without Blood flow Restriction in Adults: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med Health Sci*. 2023 Sep 16;5:4:259-268. doi: 10.1016/j.smhs.2023.09.006.
- Zhang T., Tian G., Wang X. Effects of Low-Load Blood Flow Restriction Training on Hemodynamic Responses and Vascular Function in Older Adults: a Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 May 31;19:11:6750. doi: 10.3390/ijerph19116750.
- Alberti K.G., Eckel R.H., Grundy S.M., Zimmet P.Z., Cleeman J.I., Donato K.A., et al. 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>.
- Randomizer. URL: <https://www.randomizer.org/>.
- DeBoer M., Gurka M. Clinical Utility of Metabolic Syndrome Severity Scores: Considerations for Practitioners. *Diabetes Metab Syndr Obes*. 2017;10:65-72. <https://doi.org/10.2147/DMSO.S101624>.
- Ramos-Campo D.J., Benito-Peinado P.J., Andreu-Caravaca L., Rojo-Tirado M.A., Rubio-Arias J.A. Efficacy of Split Versus Full-Body Resistance Training on Strength and Muscle Growth: a Systematic Review with Meta-Analysis. *J Strength Cond Res*. 2024 Jul 1;38:7:1330-1340. doi: 10.1519/JSC.00000000000004774.
- Bastos V., Machado S., Teixeira D. Feasibility and Usefulness of Repetitions-in-Reserve Scales for Selecting Exercise Intensity: a Scoping Review. *Percept Mot Skills*. 2024 Jun; 131:3:940-970. <https://doi.org/10.1177/00315125241241785>.
- Epley B. Poundage Chart: Boyd Epley Workout. Lincoln, NE, USA, Body Enterprises Publ., 1985.
- Aniceto R.R., da Silva Leandro L. Practical Blood Flow Restriction Training: New Methodological Directions for Practice and Research. *Sports Med Open*. 2022;8:1:87. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00475-2>.
- Freitas E.D.S., Miller R.M., Heishman A.D., Ferreira-Júnior J.B., Araújo J.P., Bembem M.G. Acute Physiological Responses to Resistance Exercise with Continuous Versus Intermittent Blood Flow Restriction: a Randomized Controlled Trial. *Front Physiol*. 2020;11:132-144. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00132>.
- Cumming G. Understanding the New Statistics: Effect sizes, Confidence Intervals, and Meta-Analysis. New York, Routledge Publ., 2012.
- Grässler B., Thielmann B., Böckelmann I., Hökelmann A. Effects of Different Exercise Interventions on Heart Rate Variability and Cardiovascular Health Factors in Older Adults: a Systematic Review. *Eur Rev Aging Phys Act*. 2021 Nov 17;18:1:24. doi: 10.1186/s11556-021-00278-6.
- Yang F., Ma Y., Liang S., Shi Y., Wang C. Effect of Exercise Modality on Heart Rate Variability in Adults: a Systematic Review and Network Meta-Analysis. *Rev Cardiovasc Med*. 2024 Jan;9;25:1:9. doi: 10.31083/j.rcm2501009.
- Bhati P., Moiz J.A., Menon G.R., Hussain M.E. Does Resistance Training Modulate Cardiac Autonomic Control? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clin Auton Res*. 2019 Feb;29:1:75-103. doi: 10.1007/s10286-018-0558-3.
- Hamasaki H. The Effect of Exercise on Cardiovascular Autonomic Nervous Function in Patients with Diabetes: a Systematic Review. *Healthcare (Basel)*. 2023 Oct 1;11:19:2668. doi: 10.3390/healthcare11192668.
- Bhati P., Hussain M.E., Deepak K.K., Masood S., Anand P. Progressive Resistance Training Ameliorates Deteriorating Cardiac Autonomic Dysfunction, Subclinical Inflammation and Endothelial Dysfunction in Type 2 Diabetes Mellitus: a Randomized Control Trial. *Diabetes Metab Syndr*. 2023 May;17:5:102778. doi: 10.1016/j.dsx.2023.102778.
- Turri-Silva N., Garner D.M., Moosavi S.H., Ricci-Vitor A.L., Christofaro D.G.D., Netto Junior J., et al. Effects of Resistance Training Protocols on Nonlinear Analysis of Heart Rate Variability in Metabolic Syndrome. *Braz J Med Biol Res*. 2018 Jun 11;51:8:e7459. doi: 10.1590/1414-431X20187459.
- Farinatti P., Neto S.R., Dias I., Cunha F.A., Bouskela E., Kraemer-Aguiar L.G. Short-Term Resistance Training Attenuates Cardiac Autonomic Dysfunction in Obese Adolescents. *Pediatr Exerc Sci*. 2016 Aug;28:3:374-80. doi: 10.1123/pes.2015-0191.
- Lopes K.G., Farinatti P., Bottino D.A., DE Souza M.D.G.C., Maranhão P.A., Bouskela E., et al. Does Resistance Training with Blood Flow Restriction Affect Blood Pressure and Cardiac Autonomic Modulation in Older Adults? *Int J Exerc Sci*. 2021 Apr 1;14:3:410-422.
- Su Y., Wang F., Wang M., He S., Yang X., Luan Z. Effects of Blood Flow Restriction Training on Muscle Fitness and Cardiovascular Risk of Obese College Students. *Front Physiol*. 2024 Jan 3;14:1252052. doi: 10.3389/fphys.2023.1252052.
- Zhao Y., Zheng Y., Ma X., Qiang L., Lin A., Zhou M. Low-Intensity Resistance Exercise Combined with Blood Flow Restriction is More Conducive to Regulate Blood Pressure and Autonomic Nervous Sys-

- tem in Hypertension Patients-Compared with High-Intensity and Low-Intensity Resistance Exercise. *Front Physiol.* 2022 Apr 20;13:833809. doi: 10.3389/fphys.2022.833809.
36. De Deus L.A., Neves R.V.P, Corrêa H.L., Reis A.L., Honorato F.S., Silva V.L., et al. Improving the Prognosis of Renal Patients: the Effects of Blood Flow-Restricted Resistance Training on Redox Balance and Cardiac Autonomic Function. *Exp Physiol.* 2021 Apr;106;4:1099-1109. doi: 10.1113/EP089341.
37. Bane A., Wilson L., Jumper J., Spindler L., Wyatt P., Willoughby D. Effects of Blood Flow Restriction Resistance Training on Autonomic and Endothelial Function in Persons with Parkinson's Disease. *J Parkinsons Dis.* 2024;14;4:761-775. doi: 10.3233/JPD-230259.
38. Patel K.P., Zheng H. Central Neural Control of Sympathetic Nerve Activity in Heart Failure Following Exercise Training. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2012 Feb 1;302;3:H527-37. doi: 10.1152/ajpheart.00676.2011.
39. Chowdhary S., Townend J.N. Role of Nitric Oxide in the Regulation of Cardiovascular Autonomic Control. *Clin Sci (Lond).* 1999 Jul;97;1:5-17.
40. Sun W., Han Y., Gu S. Effects of Five Types of Exercise on Vascular Function in Postmenopausal Women: a Network Meta-Analysis and Systematic Review of 32 Randomized Controlled Trials. *PeerJ.* 2024 Jul 15;12:e17621. doi: 10.7717/peerj.17621.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 13.05.2024. **Принята к публикации:** 11.06.2024.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 13.05.2024. **Accepted for publication:** 11.06.2024