



## Изменения качества мышц после физической реабилитации снижает кровяное давление у тяжелоатлетов с артериальной гипертензией: рандомизированное контролируемое исследование

Мирошников А.Б., Форменов А.Д., Смоленский А.В.

Российский государственный университет физической культуры, спорта, молодежи и туризма, Москва, Россия

### Резюме

Гипертония – частый диагноз у спортсменов силовых видов спорта.

**Цель.** Оценить, как влияет повышение окислительных способностей мышц на кровяное давление у атлетов с артериальной гипертензией из силовых видов спорта, тяжелых весовых категорий.

**Материал и методы.** Исследование проходило на базе кафедры спортивной медицины Российского государственного университета физической культуры, спорта, молодежи и туризма (РГУФКСМиТ), и длилось 180 дней. В исследовании приняли участие 65 представителей силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий с артериальной гипертензией. Спортсмены были рандомизированы на две основные группы: группа HIIT (High Intensity Interval Training – интервальная тренировка высокой интенсивности, n=23), группа MICE (Moderate Intensity Continuous Exercise – равномерная тренировка средней интенсивности, n=22) и контрольную группу RT (Resistance Training – силовая тренировка, n=20). Для достижения поставленной цели исследования использовались следующие методы: эргоспирометрия, измерение уровня оксигенации мышечной ткани, измерение артериального давления и методы математической статистики. Спортсмены основных групп тренировались 180 дней (3 раза в неделю) на велоэргометре по высокоинтенсивному интервальному и равномерному протоколу, а участники контрольной группы тренировались 180 дней (3 раза в неделю) по своему традиционному силовому протоколу.

**Результаты.** После 180 дней физической реабилитации у участников основных групп произошло повышение потребления кислорода на анаэробном пороге, снижение оксигенации мышц бедра и повышение максимального потребления кислорода, что привело к снижению систолического артериального давления в среднем на 11,1 мм рт.ст. и диастолического артериального давления на 11,2 мм рт.ст. в группах вмешательства.

**Заключение.** Разработанные нами системы физической реабилитации атлетов силовых видов спорта позволяют эффективно и безопасно влиять на окислительные способности рабочих мышц и артериальное давление, однако времени затрачивается спортсменами на неспецифичную тренировочную деятельность в системе HIIT на 38% меньше.

**Ключевые слова:** артериальная гипертензия, физическая реабилитация, тяжелая атлетика, аэробная работа, интервальный метод, равномерный метод, спортивная медицина

**Источник финансирования:** Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

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

**Для цитирования:** Miroshnikov A.B., Formenov A.D., Smolensky A.B. Changes in Muscle Quality after Physical Rehabilitation Reduce Blood Pressure in Weightlifters with Arterial Hypertension: Randomized Controlled Trial. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21 (3): 145-154. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-3-145-154>

**Для корреспонденции:** Мирошников Александр Борисович, e-mail: benedikt116@mail.ru

Статья получена: 08.11.2021

Поступила после рецензирования: 22.05.2022

Статья принята к печати: 31.05.2022

# Changes in Muscle Quality after Physical Rehabilitation Reduce Blood Pressure in Weightlifters with Arterial Hypertension: Randomized Controlled Trial

Alexander B. Miroshnikov, Alexander D. Formenov, Andrey B. Smolensky

Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism, Moscow, Russian Federation

## Abstract

Hypertension is a frequent diagnosis in power athletes.

**Aim.** To assess the effect of increased muscle oxidative capacity on blood pressure in athletes with arterial hypertension from power sports, heavy weight categories.

**Material and methods.** The study was conducted at the Department of Sports Medicine of the Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism and lasted 180 days. The study involved 65 representatives of strength sports (weightlifting), heavy weight categories with arterial hypertension. Athletes were randomized into two main groups: the HIIT (High Intensity Interval Training, n=23) group, the MICE (Moderate Intensity Continuous Exercise, n=22) group and the RT (Resistance Training, n=20) control group. The following methods were used to achieve the aim of the study: ergospirometry, muscle tissue oxygenation level measurement, blood pressure measurement and methods of mathematical statistics. Athletes in the main groups trained for 180 days (3 times per week) on a cycle ergometer using a high-intensity interval and uniform protocol, and participants in the control group trained for 180 days (3 times per week) according to their traditional strength protocol.

**Results.** After 180 days of physical rehabilitation, participants of the main groups had increased oxygen consumption at the anaerobic threshold, decreased thigh muscle oxygenation and increased maximum oxygen consumption, resulting in an average decrease in systolic blood pressure of 11.1 mm Hg and diastolic blood pressure of 11.2 mm Hg in the intervention groups.

**Conclusion.** The physical rehabilitation systems we have developed for power athletes allow us to effectively and safely influence the oxidative capacity of working muscles and blood pressure, but the time spent by athletes on non-specific training activities in the HIIT system is 38% less.

**Keywords:** arterial hypertension, physical rehabilitation, weightlifting, aerobic work, interval method, moderate method, sports medicine

**Acknowledgments:** The study had no sponsorship.

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

**For citation:** Miroshnikov A.B., Formenov A.D., Smolensky A.B. Changes in Muscle Quality after Physical Rehabilitation Reduce Blood Pressure in Weightlifters with Arterial Hypertension: Randomized Controlled Trial. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2022; 21 (3): 145-154. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2022-21-3-145-154>

**For correspondence:** Alexander B. Miroshnikov, e-mail: benedikt116@mail.ru

Received: Nov 08, 2021

Revised: May 22, 2022

Accepted: May 31, 2022

## Введение

Артериальная гипертензия (АГ) согласно эпидемиологическим данным, занимает место самой распространённой патологии, предшествующей сердечно-сосудистым заболеваниям (ССЗ) [1, 2]. Качество мышц (muscle quality – MQ) описывалось множеством способов среди клиницистов и исследователей. Гериатрическая медицина и геронтология точно передаёт широкую концепцию качества мышц с описанием, которое включает метаболизм глюкозы, окислительное повреждение, метаболизм белка, внутримышечную жировую ткань, плотность капилляров, структурный состав, сократимость и утомляемость [3]. Хотя консенсусного определения «качества мышц» пока не существует, двусмысленность термина позволила исследователям изучить несколько аспектов MQ как пожилых [4], так и молодых людей [5].

Понимание фенотипических характеристик MQ для построения систем физической реабилитации, в которых приоритет отдаётся функциональному улучшению, а не увеличению размеров мышц, может иметь значение для популяций, не ограничивающихся пожилыми людьми, включая спортсменов или молодых активных людей, которые регулярно выполняют физически

сложные задачи в соревновательных или профессиональных целях. Не секрет, что физические упражнения могут помочь предотвратить и вылечить ряд хронических метаболических нарушений, что привело к распространению концепции, согласно которой «упражнения – это медицина» [6]. Однако, в отличие от большинства лекарств, модальности упражнений, необходимые для улучшения окислительной функции и метаболического здоровья мышц остаются в поле дискуссий. Хорошо известно, что тренировки с отягощениями способствуют росту силы и мышечной массы, однако они приводят к снижению объема митохондрий скелетных мышц (явление, которое было описано как «разбавление объема митохондрий» [7]) и подавляют рост митохондрий в мышечных волокнах, которые растут в ответ на тренировки с отягощениями [8]. Также хорошо известно, что скелетные мышцы демонстрируют значительную неоднородность не только по типу волокон, но и по капиллярному распределению и разные тренировочные модальности по-разному влияют на рост и количество капилляров рабочих мышц [9]. Например, спортсмены, тренирующиеся на выносливость известны своей хорошо развитой

капилляризацией по сравнению с нетренированными или спортсменами силовых видов спорта, демонстрируя высокое количество капилляров вокруг волокна (~5-8), соотношение капилляров к волокну (~2,5-3,0) и плотность капилляров (~400-700 кап/мм<sup>2</sup>). В то время как нетренированные люди имеют 3-4 капилляра вокруг волокна, профессиональные шоссейные велосипедисты и велосипедисты на треке демонстрировали значения до 9 капилляров вокруг волокна [10].

Сердечно-сосудистые заболевания являются главной причиной смертельных исходов во всем мире, их распространенность увеличивается с возрастом [11]. Диагностированную артериальную гипертензию (АГ) клиницисты признают, как основную предшественницу ССЗ. Предполагается, что риск ССЗ линейно возрастает с увеличением артериального давления (АД). Выявление основных механизмов развития АГ имеет решающее значение, поскольку риск дальнейших ССЗ при повышении систолического АД (САД) на 20 мм рт.ст., увеличивается вдвое. Взаимодействие между воспалением, реактивными формами кислорода и сосудистой дисфункцией называется триадой сосудистого здоровья, которая влияет на регуляцию АД человека [12, 13]. Поэтому сосудистое здоровье, а также количество капилляров должно входить в понятие – «качество мышц».

Гипертония – частый диагноз у спортсменов силовых видов спорта, при этом кардиологическая реабилитация на основе аэробной работы (рекомендация класса 1А для пациентов с ССЗ которая приводит к снижению профиля риска ССЗ, повторной госпитализации, сердечно-сосудистых событий и смертности [14]) практически не используется. Хорошо известно, что аэробная работа повышает максимальное потребление кислорода (МПК), увеличивает количество капилляров и митохондрий у больных ССЗ [15], что снижает АД.

### Цель исследования

Оценить как влияет изменение качества мышц спортсменов тяжелоатлетов после неспецифической аэробной работы в течение 180 дней на кровяное давление.

### Материал и методы

В исследовании приняли участие 65 спортсменов тяжелоатлетов с гипертонической болезнью, их средняя масса тела составила 105 кг, что соответствует согласно классификации весовых категорий второму тяжелому весу. Все участники исследования были проинформированы и подписали добровольное согласие на участие в исследовании согласно этическим нормам 2020 г. [16]. Авторами рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) проводилось по правилам CONSORT [17]. На время проведения исследования спортсмены не занимались соревновательной деятельностью.

Спортсмены тяжелоатлеты были рандомизированы табличным методом «случайных чисел» на две основные группы и одну контрольную: 1-я основная группа MICE (Moderate Intensity Continuous Exercise – равномерная тренировка средней интенсивности, n=22); 2-я основная группа HIIT (High Intensity Interval Training – интервальная тренировка высокой интенсивности, n=23); 3-я контрольная группа RT (Resistance Training – силовая тренировка, n=20).

*Критерии для включения участников в исследование:*

- 1) спортсмены тяжелоатлеты (от 100 до 110 кг), в возрасте от 18 до 40 лет, имеющие спортивный разряд;
- 2) наличие диагностированной гипертонической болезни первой и второй степени САД  $\geq 140$  мм рт.ст.; диастолическое АД (ДАД)  $\geq 90$  мм рт.ст.;
- 3) отсутствие тяжелых хронических заболеваний;
- 4) добровольно подписанное согласие на участие в исследовании согласно этическим нормам.

*Критерия исключения участников из исследования:*

- 1) возраст спортсменов тяжелоатлетов, меньше 18 и больше 40 лет;
- 2) стаж занятий тяжелой атлетикой менее 3 лет и отсутствие спортивного разряда;
- 3) спортсмены тяжелоатлеты, которые на момент скрининга имели САД  $< 140$  мм рт.ст. и ДАД  $< 90$  мм рт.ст.;
- 4) спортсмены тяжелоатлеты с тяжелыми хроническими заболеваниями (из-за риска обострения во время участия в исследовании);
- 5) спортсмены тяжелоатлеты, которые нарушали комплаентность исследования.

Разработка программы, протоколов и методов РКИ осуществлялось на основе современных концепций и правил доказательной медицины, которые использовались в соответствии с поставленной целью и задачами данной работы.

### *Методы исследования и система физической реабилитации*

#### **Эргоспирометрия**

Для определения аэробных возможностей участников исследования была выполнена велоэргометрия на оборудовании «Monark 839 E» (производство Швеция) со ступенчато повышающейся нагрузкой через каждые 2 мин при частоте педалирования 75 об/мин до наступления мышечного волевого отказа с фиксацией показателей максимального потребления кислорода (МПК) и анаэробного порога (АнП). Потребление кислорода определяли с помощью аппарата «CORTEX – Meta Control 3000» (производство Германия). АнП определялся по точке начала увеличения вентиляционного эквивалента для углекислого газа (VE/VCO<sub>2</sub>) с сопутствующим еще большим ускорением вентиляционного эквивалента для кислорода (VE/VO<sub>2</sub>) и началом падения парциального давления углекислого газа на выдохе (PetCO<sub>2</sub>). МПК определялось как самое высокое значение потребления кислорода из двух последовательных 15-ти секундных отрезков, после выхода кривой на плато. Показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС) записывали сертифицированным монитором сердечного ритма (POLAR RS800, произв. Финляндия).

Измерение индекса оксигенации латеральной широкой мышцы бедра

Оксигенацию измеряли с помощью инфракрасного датчика «Моу Monitor» (производство США), который устанавливался на правую нижнюю конечность в области середины брюшка латеральной широкой мышцы бедра. Средняя толщина подкожно-жировой складки под датчиком (измеренная калипером Lange, США) у спортсменов основной группы составила  $22 \pm 2,2$  мм,

а у спортсменов контрольной группы –  $23 \pm 1,7$  мм. Так как толщина подкожно-жировой складки складывается из двух жировых прослоек, то расстояние до мышцы составляет 10–12 мм, что достаточно информативно для данного теста (глубина сканирующей поверхности инфракрасного датчика «Моху» до 2,5 см). Между группами разница в толщине подкожно-жировой ткани в области, сканируемой датчиком, была статистически не значимой. «Моху» является надежным прибором для измерения сатурации гемоглобина и миоглобина в мышце при физических упражнениях [18].

*Измерения артериального давления*

Для контроля динамики изменений показателей кровяного давления спортсмены были обучены методу самостоятельных замеров «СКАД» (утвержденный экспертами Российского медицинского общества по артериальной гипертензии). Замеры кровяного давления выполнялись участниками утром с помощью личного сертифицированного автоматического тонометра, три раза подряд на левом плече с интервалом между измерениями  $\geq 1$  мин., затем рассчитанное среднее значение из трех показателей АД сохранялось в автоматизированной компьютерной программе.

*Методы математической статистики*

Полученные данные обрабатывались с помощью программного обеспечения «Statistica 13.3». Проверка соответствия исходных данных закону нормального распределения чисел была проверена тестом Колмогорова-Смирнова. Для выявления значимых изменений был проведен многофакторный дисперсионный анализ с повторениями  $3 \times 2$  по факторам «режим» (НИИТ/МІСЕ/RT) и «время» (до/после). После выявления значимого влияния факторов или их взаимодействия, для определения попарных значимых различий проведен «post hoc» тест с поправкой Бонферрони. Для подтверждения внутригрупповых различий по фактору «время» до/после (0/60 60/120 120/180 и 0/120), был проведен попарный t-тест. Значимость установлена на уровне  $p=0,05$ ,  $p=0,01$ . В описании приведены результаты апостериорных тестов в порядке убывания по статистически значимому вкладу фактора/взаимодействия факторов в изменчивость отклика.

*Программа кардио-реабилитации спортсменов тяжелоатлетов*

Система физической реабилитации состояла из двух методик НИИТ и МІСТ (аэробная работа после силовой) выполняемых 6 месяцев (72 занятия, 3 раза в неделю).

Система также включала в себя регулярные ретесты (в конце каждого месяца) на велоэргометре для корректировки нагрузки в аэробном протоколе физической реабилитации.

*Программа тренировок контрольной группы RT*

Пять силовых упражнений (сгибание предплечий со свободным весом, жим штанги лежа, приседания со штангой на спине, разгибание предплечий с верхнего блока, становая тяга) выполненных с интенсивностью 70–90% от 1 повторного максимума (1ПМ), в 4 подходах по 2–8 повторений. Один подход с учетом интервала отдыха до полного восстановления составлял 5 минут. Общее время тренировки – 1 час 40 минут.

*Программа тренировок основной группы НИИТ*

Силовая тренировка группы RT с меньшим объемом (3 подхода для всех упражнений), после которой выполнялись на велоэргометре последовательно 8 интервалов активного отдыха (мощность педалирования 85% от АНП) и 7 интервалов высокоинтенсивной работы (мощность педалирования 100% от МПК) равной продолжительностью по 2 минуты на каждый интервал. Общее время тренировки – 1 час 45 минут.

*Программа тренировок основной группы МІСЕ*

Силовая тренировка группы RT с меньшим объемом (3 подхода для упражнения жим штанги лежа и 2 подхода для остальных упражнений), после которой следовала аэробная работа, выполненная равномерным методом продолжительностью 45 минут (мощность педалирования 60–80% от МПК). Общее время тренировки – 1 час 40 минут.

**Результаты и обсуждение**

Перед началом физической реабилитации всем спортсменам-тяжелоатлетам было проведено функциональное тестирование, при котором определялось потребление кислорода на АНП и МПК. Спортсмены между группами НИИТ, МІСЕ, RT статистически не отличались по потреблению кислорода на АНП и МПК ( $p < 0,05$ ). После 180 дней физической реабилитации произошло достоверное повышение потребления кислорода на АНП и МПК в группе НИИТ и МІСЕ (табл. 1). Достоверно произошло повышение потребления кислорода на АНП в группе НИИТ и МІСЕ на  $8,6$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> и  $7,7$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> соответственно ( $p < 0,01$ ). Также после 180 дней реабилитации произошло статистически значимое повышение МПК в группах НИИТ и МІСЕ на  $9,2$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> и  $8,3$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> соответственно ( $p < 0,01$ ).

**Таблица 1.** Показатели эргоспирометрии спортсменов-тяжелоатлетов ( $M \pm m$ )

**Table 1.** Indicators of ergospirometry of weightlifters ( $M \pm m$ )

Группа / Group (N=65)	АНП (мл·кг <sup>-1</sup> ·мин <sup>-1</sup> ) / AT (ml·kg – 1·min– 1)			МПК (мл·кг <sup>-1</sup> ·мин <sup>-1</sup> ) / VO2 max (ml·kg – 1·min– 1)		
	0 дней / days	180 дней / days	Δ	0 дней / days	180 дней / days	Δ
НИИТ (n=23)	24,5±0,9	33,1±0,5	8,6*	31,7±1,2	40,9±0,6	9,2*
МІСЕ (n=22)	24,2±0,8	31,9±0,4	7,7*	31,3±1,3	39,6±1,0	8,3*
RT (n=20)	24,1±0,8	24,3±0,7	0,2	31,5±1,4	31,7±1,3	0,2

**Примечания:** \* – статистически значимые различия сравниваемых показателей по группе до и после реабилитации при  $p < 0,01$   
**Notes:** \* – denotes statistically significant differences between the compared indicators for the group before and after rehabilitation at  $p < 0.01$

В контрольной группе RT статистически незначимо повысилось потребление кислорода на АНП на 0,2 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> и МПК повысилось аналогично на 0,2 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>, что было статистически не значимо. После 180 дней вмешательства в группе НИТ произошло достоверное повышение потребления кислорода на АНП на 0,9 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> по сравнению с группой MICE ( $p < 0,01$ ). Также статистически значимая разница в повышении потребления кислорода на АНП была между группой НИТ и группой RT, которая составила 8,4 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>, а между группой MICE и группой RT 7,5 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> ( $p < 0,01$ ). В сравнительном анализе после 180 дней вмешательства в группе НИТ произошло достоверное повышение МПК на 0,9 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> по сравнению с группой MICE ( $p < 0,05$ ). Также достоверная разница в повышении МПК была между группой НИТ и группой RT, которая составила 9,0 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>, а между группой MICE и группой RT 8,1 мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup> ( $p < 0,01$ ).

**Таблица 2.** Показатели оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра спортсменов-тяжелоатлетов ( $M \pm m$ )

**Table 2.** Indicators of oxygenation of the lateral head of the quadriceps muscle of the thigh in weightlifters ( $M \pm m$ )

Группа / Group (N=65)	До исследования / Before research			После исследования / After research		
	SmO2 (%) Начало / Start	SmO2(%) Конец / End	Δ	SmO2(%) Начало / Start	SmO2(%) Конец / End	Δ
НИТ (N=23)	59,0±6,6	38,9±6,4	20,1	59,1±6,7	22,3±6,7	36,8*
MICE (N=22)	58,5±7,1	39,7±8,1	18,8	59,0±6,9	28,5±6,9	30,5*
RT (N=20)	58,5±7,2	40,1±7,2	18,4	58,6±7,4	39,9±7,4	18,7

**Примечания:** \* – статистически значимые различия сравниваемых показателей по группе до и после реабилитации при  $p < 0,01$

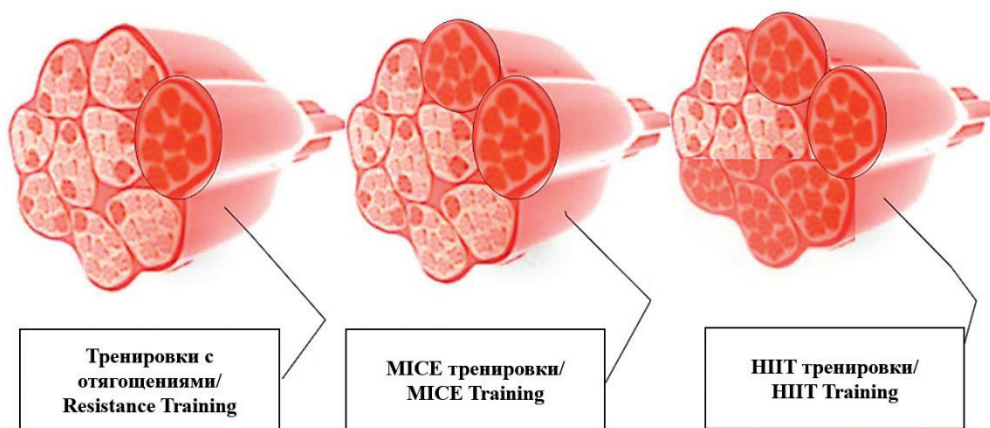
**Notes:** \* – denotes statistically significant differences between the compared indicators for the group before and after rehabilitation at  $p < 0,01$

В сравнительном анализе после 180 дней вмешательства в группе НИТ произошло достоверное снижение оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра на 5,0% по сравнению с группой MICE ( $p < 0,01$ ), в конце ступенчатого теста на велоэргометре. Статистически значимая разница в снижении оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра между группами НИТ, MICE и группой RT составила 16,4% и 11,4% соответственно ( $p < 0,01$ ).

Хорошо известно, что регулярные аэробные упражнения увеличивают МПК благодаря адаптации организма, которая увеличивает транспорт, доставку и потребление кислорода. На уровне скелетных мышц МПК увеличивается за счет увеличения массы и функции митохондрий регулярно тренируемых мышц. Емкость митохондрий тесно связана с МПК, что само по себе является сильным показателем метаболической функции и здоровья [20]. В целом МІСТ и НИТ вызывают сходные специфические для типа волокна ответы сигнальных белков, участвующих в биогенезе митохондрий [21]. Однако 4 мета-анализа [22-25] выявили положительный эффект НИТ на потребление кислорода на лактатном и вентиляционном порогах, а также в исследованиях, где напрямую сравнивались влияние НИТ и МІСТ на МПК был небольшой положительный эффект для НИТ.

Анализ литературы показал, чем выше окислительные способности мышечного волокна (капилляризация

и митохондриальный аппарат), тем ниже общее периферическое сосудистое сопротивление (фактор, влияющий на АД). Хорошо изучено, что по сравнению с мышечным волокном (МВ) типа II число капилляров, окружающих МВ типа I, выше и люди с АГ имеют более низкую плотность капилляров, а чем ниже плотность капилляров, тем выше АД [26]. Спортсмены силовых видов спорта имеют достаточный стимул по интенсивности и продолжительности для гипертрофии МВ, однако продолжительность стимула (по времени) очень мала для роста капилляров и митохондрий. Поэтому такую картину качества мышц спортсменов силовых видов спорта можно увидеть на рисунке 1, где количество мышц и силовой потенциал находится на верхней границе, а биохимический профиль мышц смещен в сторону гликолитического МВ. Так как хорошо известно, что более длительная аэробная работа лучше развивает митохондриальный аппарат [27] и капилляризацию рабочих мышц, то равномерная аэробная работа («Золотой стандарт» физической реабилитации людей с АГ) создаст достаточный по продолжительности стимул для роста капилляров и митохондрий, однако только в рекрутируемом МВ (рис. 1). При такой нагрузке ( $\leq$  АНП) только низкопороговые и промежуточные МВ будут иметь достаточный стимул для роста митохондрий и капилляров.



**Рис. 1.** Влияние разных тренировочных модальностей на окислительные свойства мышц  
**Fig. 1.** Effects of different training modalities on the oxidative properties of muscles

Высокоинтенсивные интервальные тренировки позволяют рекрутировать МВ выше АНП и если удастся удерживать интенсивность  $\geq 2$  минут, то в высокопороговых МВ создаются достаточные стимулы для роста митохондрий и капилляров. При регулярной тренировке  $\leq$  АНП только низкопороговые и промежуточные МВ смещаются по профилю гликолитическое МВ (ГМВ) и окислительное МВ (ОМВ).

При высокоинтенсивных интервальных тренировках содержание митохондрий и капилляров в любом из типов МВ (низкопороговые, промежуточные, высокопороговые) увеличивается (рис. 1), что указывает на то, что митохондриальные адаптации и рост капилляров

не зависят от типа миозинового волокна как такового, а основаны на стимуле и рекрутировании этого МВ [28]. Eigendorf и соавт. [29] показывают, что высокообъемный HIIT на велоэргометре приводит к смещению метаболического профиля высокопороговых МВ к фенотипу МВ тип I (по принципу ГМВ и ОМВ), что повышает окислительные способности и капилляризацию именно высокопороговых МВ. Тем самым, повышение качества мышц (окислительного потенциала) должно положительно сказываться на АД участников исследования. Действительно после 180 дней вмешательства в группе HIIT и MICE произошло снижение АД (табл. 3).

**Таблица 3.** Динамика артериального давления спортсменов-тяжелоатлетов ( $M \pm m$ )

**Table 3.** Dynamics of blood pressure in weightlifters ( $M \pm m$ )

Группа / Group (N=65)	САД (мм рт.ст.) / SBP (mm Hg)			ДАД (мм рт.ст.) / DBP (mm Hg)		
	0 дней / days	180 дней / days	$\Delta$	0 дней / days	180 дней / days	$\Delta$
HIIT (n=23)	158,8 $\pm$ 2,2	147,3 $\pm$ 1,8	11,5*	101,3 $\pm$ 3,3	89,7 $\pm$ 2,7	11,6*
MICE (n=22)	159,2 $\pm$ 2,5	148,2 $\pm$ 1,9	11,0*	99,4 $\pm$ 2,5	88,6 $\pm$ 1,9	10,8*
RT (n=20)	157,9 $\pm$ 2,3	156,3 $\pm$ 2,8	1,6	98,5 $\pm$ 2,3	97,2 $\pm$ 2,1	1,3

**Примечания:** \* – статистически значимые различия сравниваемых показателей по группе до и после реабилитации при  $p < 0,01$

**Notes:** \* – denotes statistically significant differences between the compared indicators for the group before and after rehabilitation at  $p < 0.01$

В сравнительном анализе после 180 дней вмешательства в группе HIIT произошло недостоверное снижение САД на 0,5 мм рт.ст. по сравнению с группой MICE ( $p < 0,05$ ). Разница в снижении САД между группой RT и HIIT составила 9,9 мм рт.ст. ( $p < 0,01$ ), а между группой RT и MICE 7,8 мм рт.ст. ( $p < 0,01$ ), что в обоих случаях было статистически значимо. После 180 дней физической реабилитации в группе HIIT произошло недостоверное снижение ДАД на 0,8 мм рт.ст. по сравнению с группой MICE ( $p < 0,05$ ). Снижение ДАД между группой RT и HIIT составила 10,3 мм рт.ст. ( $p < 0,01$ ), а между группой RT и MICE 9,5 мм рт.ст. ( $p < 0,01$ ), что было статистически значимо. Снижение АД является хорошей профилактикой ССЗ, так как по имеющимся данным снижение АД на 7,5 мм. рт. ст. и на 10 мм. рт. ст. уменьшает на 46% и 56% случаи инсульта и на 29% и 37% заболеваемость ишемической болезни сердца, а также снижение САД на 5 мм рт.ст. уменьшило риск

основных сердечно-сосудистых событий на 10%, независимо от предыдущих диагнозов ССЗ [30]. Поэтому в крупном РКИ «Generation 100 study» в котором участвовало 1567 людей наблюдали более низкий тренд смертности от всех причин после HIIT по сравнению с контролем и MICE [31]. В динамике снижения АД (САД и ДАД) системы физической реабилитации HIIT и MICE статистически не отличаются, однако время затрачиваемое спортсменами на аэробную работу в системе HIIT меньше на 38%.

**Заключение**

Понимание физиологических детерминант толерантности человеческого организма к физической нагрузке остается одной из конечных целей в физиологии упражнений. Эти детерминанты особенно актуальны, если рассматривать их в контексте континуума физиологических функций; они лежат в основе элитных

спортивных результатов, с одной стороны, и предсказывают заболеваемость, смертность и качество жизни спортсменов, с другой.

В то время как большинство определений качества мышц не учитывают все сложные адаптации их к тренировочным стимулам, а в основной своей массе сводится к двум конкретным параметрам (морфологическому и нервно-мышечному) [32], то такой «циклопический подход» может приводить к неверным выводам при рассмотрении здоровья спортсменов силовых видов спорта. С одной стороны, сила мышц и мышечный потенциал существенно превосходит аналогичные параметры сидячего или рекреационного населения (что должно говорить о показателях здоровья), с другой

стороны, низкие окислительные способности мышц приводят к высокому АД и ранней смертности. В конечном итоге качество мышц должно отражать функциональное суммирование сложных физиологических изменений в ответ на адаптацию к тренировке. Поэтому сочетанное применение силовой и аэробной работы (HIIT или MICE) будет повышать качество мышц и способствовать здоровью сердечно-сосудистой системы спортсменов тяжелоатлетов. Исследование авторов показало преимущества тренировки HIIT по сравнению с методикой MICE в том, что спортсмены тратят меньше времени на 38% для занятий неспецифичной тренировочной деятельностью. Требуется дальнейшие РКИ в данной области.

### Список литературы

1. Аронов Д.М., Иоселиани Д.Г., Бубнова М.Г., Красницкий В.Б., Гринштейн Ю.И., Гуляева С.Ф., Ефремушкин Г.Г., Лямина Н.П. Результаты российского рандомизированного контролируемого клинического исследования по оценке клинической эффективности комплексной годичной программы реабилитации с включением физических тренировок у трудоспособных больных, перенесших острый инфаркт миокарда на фоне артериальной гипертонии. *Вестник восстановительной медицины*. 2017; 5(81): 2-11.
2. Князева Т.А., Никифорова Т.И. Комплексные технологии реабилитации пациентов артериальной гипертонией с сопутствующей ишемической болезнью сердца. *Вестник восстановительной медицины*. 2019; 5(93): 25-29.
3. Correa-de-Araujo R., Harris-Love M.O., Miljkovic I., Fragala M.S., Anthony B.W., Manini T.M. The Need for Standardized Assessment of Muscle Quality in Skeletal Muscle Function Deficit and Other Aging-Related Muscle Dysfunctions: A Symposium Report. *Frontiers in Physiology*. 2017; (8): 87 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00087>
4. Brown J.C., Harhay M.O., Harhay M.N. The muscle quality index and mortality among males and females. *Annals of Epidemiology*. 2016; 26(9): 648-653. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.07.006>
5. Naimo M.A., Varanoske A.N., Hughes J.M., Pasiakos S.M. Skeletal Muscle Quality: A Biomarker for Assessing Physical Performance Capabilities in Young Populations. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 706699 P. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.706699>
6. Hawley J.A., Bishop D.J. High-intensity exercise training - too much of a good thing? *Nature Reviews. Nature Reviews Endocrinology*. 2021; 17(7): 385-386. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00500-6>
7. Parry H.A., Roberts M.D., Kavazis A.N. Human Skeletal Muscle Mitochondrial Adaptations Following Resistance Exercise Training. *International Journal of Sports Medicine*. 2020; 41(6): 349-359. <https://doi.org/10.1055/a-1121-7851>
8. Ruple B.A., Godwin J.S., Mesquita P.H.C., Osburn S.C., Sexton C.L., Smith M.A., Ogletree J.C., Goodlett M.D., Edison J.L., Ferrando A.A., Fruge A.D., Kavazis A.N., Young K.C., Roberts M.D. Myofibril and Mitochondrial Area Changes in Type I and II Fibers Following 10 Weeks of Resistance Training in Previously Untrained Men. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 728683 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.728683>
9. Nederveen J.P., Betz M.W., Snijders T., Parise G. The Importance of Muscle Capillarization for Optimizing Satellite Cell Plasticity. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2021; 49(4): 284-290. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000270>
10. van der Zwaard S., Brocherie F., Jaspers R.T. Under the Hood: Skeletal Muscle Determinants of Endurance Performance. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021; (3): 719434 p. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.719434>
11. Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J., Benjamin E.J., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P., Chamberlain A.M., Cheng S., Delling F.N., Elkind M.S.V., Evenson K.R., Ferguson J.F., Gupta D.K., Khan S.S., Kissela B.M., Knutson K.L., Lee C.D., Lewis T.T., Liu J., Loop M.S., Lutsey P.L., Ma J., Mackey J., Martin S.S., Matchar D.B., Mussolino M.E., Navaneethan S.D., Perak A.M., Roth G.A., Samad Z., Satou G.M., Schroeder E.B., Shah S.H., Shay C.M., Stokes A., VanWagner L.B., Wang N.Y., Tsao C.W. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report from the American Heart Association. *Circulation*. 2021; 143(8): e254-e743. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000950>
12. Nowroozpoor A., Gutterman D., Safdar B. Is microvascular dysfunction a systemic disorder with common biomarkers found in the heart, brain, and kidneys? - A scoping review. *Microvascular Research*. 2021; (134): 104123 p. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2020.104123>
13. Ranadive S.M., Dillon G.A., Mascone S.E., Alexander L.M. Vascular Health Triad in Humans With Hypertension-Not the Usual Suspects. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 746278 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.746278>
14. Hansen D., Abreu A., Ambrosetti M., Cornelissen V., Gevaert A., Kemps H., Laukkanen J.A., Pedretti R., Simonenko M., Wilhelm M., Davos C.H., Doehner W., Iliou M.C., Kränkel N., Völler H., Piepoli M. Exercise intensity assessment and prescription in cardiovascular rehabilitation and beyond: why and how: a position statement from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2022; 29(1): 230-245. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwab007>
15. Taylor J.L., Bonikowske A.R., Olson T.P. Optimizing Outcomes in Cardiac Rehabilitation: The Importance of Exercise Intensity. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021; (8): 734278 p. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.734278>
16. Harriss D.J., MacSween A., Atkinson G. Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2020 Update. *International Journal of Sports Medicine*. 2019; 40(13): 813-817. <https://doi.org/10.1055/a-1015-3123>
17. Bian Z.X., Shang H.C. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Annals of Internal Medicine*. 2011; 154(4): 290-291. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-154-4-201102150-00016>
18. Miranda-Fuentes C., Chiroso-Rios L.J., Guisado-Requena I.M., Delgado-Floody P., Jerez-Mayorga D. Changes in Muscle Oxygen Saturation Measured Using Wireless Near-Infrared Spectroscopy in Resistance Training: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(8): 4293 p. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084293>
19. Lagerwaard B., Janssen J.J.E., Cuijpers I., Keijzer J., de Boer V.C.J., Nieuwenhuizen AG. Muscle mitochondrial capacity in high- and low-fitness females using near-infrared spectroscopy. *Physiological Reports*. 2021; 9(9): e14838 p. <https://doi.org/10.14814/phy2.14838>
20. Flockhart M., Nilsson L.C., Tais S., Ekblom B., Apró W., Larsen F.J. Excessive exercise training causes mitochondrial functional impairment and decreases glucose tolerance in healthy volunteers. *Cell Metabolism*. 2021; 33(5): 957-970.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.02.017>
21. Skelly L.E., Gillen J.B., Frankish B.P., MacInnis M.J., Godkin F.E., Tarnopolsky M.A., Murphy R.M., Gibala M.J. Human skeletal muscle fiber type-specific responses to sprint interval and moderate-intensity continuous exercise: acute and training-induced changes. *Journal of Applied Physiology*. 2021; 130(4): 1001-1014. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00862.2020>
22. Bacon A.P., Carter R.E., Ogle E.A., Joyner M.J. VO2max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS One*. 2013; 8(9): e73182 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>

23. Milanović Z., Sporiš G., Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO2max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine*. 2015; 45(10): 1469-1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
24. Engel F.A., Ackermann A., Chtourou H., Sperlich B. High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*. 2018; (9): 1012 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01012>
25. van Baak M.A., Pramono A., Battista F., Beaulieu K., Blundell J.E., Busetto L., Carrara E.V., Dicker D., Encantado J., Ermolao A., Farpour-Lambert N., Woodward E., Bellicha A., Oppert J.M. Effect of different types of regular exercise on physical fitness in adults with overweight or obesity: Systematic review and meta-analyses. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2021; 22(54): e13239 p. <https://doi.org/10.1111/obr.13239>
26. Hedman A., Reneland R., Lithell H.O. Alterations in skeletal muscle morphology in glucose-tolerant elderly hypertensive men: relationship to development of hypertension and heart rate. *Journal of Hypertension*. 2000; 18(5): 559-565. <https://doi.org/10.1097/00004872-200018050-00008>
27. Musci R.V., Hamilton K.L., Linden M.A. Exercise-Induced Mitohormesis for the Maintenance of Skeletal Muscle and Healthspan Extension. *Sports*. 2019; 7(7): 170 p. <https://doi.org/10.3390/sports7070170>
28. Memme J.M., Erlich A.T., Phukan G., Hood D.A. Exercise and mitochondrial health. *The Journal of Physiology*. 2019; 599(3): 803-817. <https://doi.org/10.1113/JP278853>
29. Eigendorf J., May M., Friedrich J., Engeli S., Maassen N, Gros G., Meissner J.D. High Intensity High Volume Interval Training Improves Endurance Performance and Induces a Nearly Complete Slow-to-Fast Fiber Transformation on the mRNA Level. *Frontiers in Physiology*. 2018; (9): 601 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00601>
30. Blood Pressure Lowering Treatment Trialists' Collaboration. Pharmacological blood pressure lowering for primary and secondary prevention of cardiovascular disease across different levels of blood pressure: an individual participant-level data meta-analysis. *The Lancet*. 2021; 397(10285): 1625-1636. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00590-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00590-0)
31. Stensvold D., Viken H., Steinsamn S.L., Dalen H., Støylen A., Lønnenchen J.P., Reitlo L.S., Zisko N., Bækkerud F.H., Tari A.R., Sandbakk S.B., Carlsen T., Ingebrigtsen J.E., Lydersen S., Mattsson E., Anderssen S.A., Fiatarone Singh M.A., Coombes J.S., Skogvoll E., Vatten L.J., Helbostad J.L., Rognmo Ø., Wisløff U. Effect of exercise training for five years on all cause mortality in older adults-the Generation 100 study: randomised controlled trial. *BMJ*. 2020; (371): m3485 p. <https://doi.org/10.1136/bmj.m3485>
32. Radaelli R., Taaffe D.R., Newton R.U., Galvão D.A., Lopez P. Exercise effects on muscle quality in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): 21085 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00600-3>

## References

1. Aronov D.M., Ioseliani D.G., Bubnova M.G., Krasnickij V.B., Grinshtejn Ju.I., Guljaeva S.F., Efremushkin G.G., Ljamina N.P. Results of a Russian randomized controlled clinical trial evaluating the clinical effectiveness of a comprehensive annual rehabilitation program with the inclusion of physical training in able-bodied patients who underwent acute myocardial infarction in the presence of arterial hypertension. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017; 5(81): 2-11 (In Russ.).
2. Knyazeva T.A., Nikiforova T.I. Complex technology of treatment of patients with arterial hypertension with concomitant coronary artery disease. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2019; 5(93): 25-29 (In Russ.).
3. Correa-de-Araujo R., Harris-Love M.O., Miljkovic I., Fragala M.S., Anthony B.W., Manini T.M. The Need for Standardized Assessment of Muscle Quality in Skeletal Muscle Function Deficit and Other Aging-Related Muscle Dysfunctions: A Symposium Report. *Frontiers in Physiology*. 2017; (8): 87 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00087>
4. Brown J.C., Harhay M.O., Harhay M.N. The muscle quality index and mortality among males and females. *Annals of Epidemiology*. 2016; 26(9): 648-653. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.07.006>
5. Naimo M.A., Varanoske A.N., Hughes J.M., Pasiakos S.M. Skeletal Muscle Quality: A Biomarker for Assessing Physical Performance Capabilities in Young Populations. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 706699 P. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.706699>
6. Hawley J.A., Bishop D.J. High-intensity exercise training - too much of a good thing? *Nature Reviews Endocrinology*. 2021; 17(7): 385-386. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00500-6>
7. Parry H.A., Roberts M.D., Kavazis A.N. Human Skeletal Muscle Mitochondrial Adaptations Following Resistance Exercise Training. *International Journal of Sports Medicine*. 2020; 41(6): 349-359. <https://doi.org/10.1055/a-1121-7851>
8. Ruple B.A., Godwin J.S., Mesquita P.H.C., Osburn S.C., Sexton C.L., Smith M.A., Ogletree J.C., Goodlett M.D., Edison J.L., Ferrando A.A., Fruge A.D., Kavazis A.N., Young K.C., Roberts M.D. Myofibril and Mitochondrial Area Changes in Type I and II Fibers Following 10 Weeks of Resistance Training in Previously Untrained Men. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 728683 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.728683>
9. Nederveen J.P., Betz M.W., Snijders T., Parise G. The Importance of Muscle Capillarization for Optimizing Satellite Cell Plasticity. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2021; 49(4): 284-290. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000270>
10. van der Zwaard S., Brocherie F., Jaspers R.T. Under the Hood: Skeletal Muscle Determinants of Endurance Performance. *Frontiers in Sports and Active Living*. 2021; (3): 719434 p. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.719434>
11. Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J., Benjamin E.J., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P., Chamberlain A.M., Cheng S., Delling F.N., Elkind M.S.V., Evenson K.R., Ferguson J.F., Gupta D.K., Khan S.S., Kissela B.M., Knutson K.L., Lee C.D., Lewis T.T., Liu J., Loop M.S., Lutsey P.L., Ma J., Mackey J., Martin S.S., Matchar D.B., Mussolino M.E., Navaneethan S.D., Perak A.M., Roth G.A., Samad Z., Satou G.M., Schroeder E.B., Shah S.H., Shay C.M., Stokes A., VanWagner L.B., Wang N.Y., Tsao C.W. American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report from the American Heart Association. *Circulation*. 2021; 143(8): e254-e743. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000950>
12. Nowroozpoor A., Gutterman D., Safdar B. Is microvascular dysfunction a systemic disorder with common biomarkers found in the heart, brain, and kidneys? - A scoping review. *Microvascular Research*. 2021; (134): 104123 p. <https://doi.org/10.1016/j.mvr.2020.104123>
13. Ranadive S.M., Dillon G.A., Mascone S.E., Alexander L.M. Vascular Health Triad in Humans With Hypertension-Not the Usual Suspects. *Frontiers in Physiology*. 2021; (12): 746278 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.746278>
14. Hansen D., Abreu A., Ambrosetti M., Cornelissen V., Gevaert A., Kemps H., Laukkanen J.A., Pedretti R., Simonenko M., Wilhelm M., Davos C.H., Doehner W., Iliou M.C., Kränkel N., Völler H., Piepoli M. Exercise intensity assessment and prescription in cardiovascular rehabilitation and beyond: why and how: a position statement from the Secondary Prevention and Rehabilitation Section of the European Association of Preventive Cardiology. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2022; 29(1): 230-245. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwab007>
15. Taylor J.L., Bonikowske A.R., Olson T.P. Optimizing Outcomes in Cardiac Rehabilitation: The Importance of Exercise Intensity. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*. 2021; (8): 734278 p. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.734278>
16. Harriss D.J., MacSween A., Atkinson G. Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2020 Update. *International Journal of Sports Medicine*. 2019; 40(13): 813-817. <https://doi.org/10.1055/a-1015-3123>
17. Bian Z.X., Shang H.C. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Annals of Internal Medicine*. 2011; 154(4): 290-291. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-154-4-201102150-00016>
18. Miranda-Fuentes C., Chiroso-Ríos L.J., Guisado-Requena I.M., Delgado-Floody P., Jerez-Mayorga D. Changes in Muscle Oxygen Saturation Measured Using Wireless Near-Infrared Spectroscopy in Resistance Training: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(8): 4293 p. <https://doi.org/10.3390/ijerph18084293>



19. Lagerwaard B., Janssen J.J.E., Cuijpers I., Keijzer J., de Boer V.C.J., Nieuwenhuizen AG. Muscle mitochondrial capacity in high- and low-fitness females using near-infrared spectroscopy. *Physiological Reports*. 2021; 9(9): e14838 p. <https://doi.org/10.14814/phy2.14838>
20. Flockhart M., Nilsson L.C., Tais S., Ekblom B., Apró W., Larsen F.J. Excessive exercise training causes mitochondrial functional impairment and decreases glucose tolerance in healthy volunteers. *Cell Metabolism*. 2021; 33(5): 957-970.e6. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2021.02.017>
21. Skelly L.E., Gillen J.B., Frankish B.P., MacInnis M.J., Godkin F.E., Tarnopolsky M.A., Murphy R.M., Gibala M.J. Human skeletal muscle fiber type-specific responses to sprint interval and moderate-intensity continuous exercise: acute and training-induced changes. *Journal of Applied Physiology*. 2021; 130(4): 1001-1014. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00862.2020>
22. Bacon A.P., Carter R.E., Ogle E.A., Joyner M.J. VO<sub>2</sub>max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS One*. 2013; 8(9): e73182 p. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0073182>
23. Milanović Z., Sporiš G., Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO<sub>2</sub>max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine*. 2015; 45(10): 1469-1481. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0365-0>
24. Engel F.A., Ackermann A., Chtourou H., Sperlich B. High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*. 2018; (9): 1012 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01012>
25. van Baak M.A., Pramono A., Battista F., Beaulieu K., Blundell J.E., Busetto L., Carraça E.V., Dicker D., Encantado J., Ermolao A., Farpour-Lambert N., Woodward E., Bellicha A., Oppert J.M. Effect of different types of regular exercise on physical fitness in adults with overweight or obesity: Systematic review and meta-analyses. *Obesity Reviews: An Official Journal of the International Association for the Study of Obesity*. 2021; 22(S4): e13239 p. <https://doi.org/10.1111/obr.13239>
26. Hedman A., Reneland R., Lithell H.O. Alterations in skeletal muscle morphology in glucose-tolerant elderly hypertensive men: relationship to development of hypertension and heart rate. *Journal of Hypertension*. 2000; 18(5): 559-565. <https://doi.org/10.1097/00004872-200018050-00008>
27. Musci R.V., Hamilton K.L., Linden M.A. Exercise-Induced Mitohormesis for the Maintenance of Skeletal Muscle and Healthspan Extension. *Sports*. 2019; 7(7): 170 p. <https://doi.org/10.3390/sports7070170>
28. Memme J.M., Erlich A.T., Phukan G., Hood D.A. Exercise and mitochondrial health. *The Journal of Physiology*. 2019; 599(3): 803-817. <https://doi.org/10.1113/JP278853>
29. Eigendorf J., May M., Friedrich J., Engeli S., Maassen N., Gros G., Meissner J.D. High Intensity High Volume Interval Training Improves Endurance Performance and Induces a Nearly Complete Slow-to-Fast Fiber Transformation on the mRNA Level. *Frontiers in Physiology*. 2018; (9): 601 p. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00601>
30. Blood Pressure Lowering Treatment Trialists' Collaboration. Pharmacological blood pressure lowering for primary and secondary prevention of cardiovascular disease across different levels of blood pressure: an individual participant-level data meta-analysis. *The Lancet*. 2021; 397(10285): 1625-1636. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00590-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00590-0)
31. Stensvold D., Viken H., Steinshamn S.L., Dalen H., Støylen A., Loennechen J.P., Reitlo L.S., Zisko N., Bækkerud F.H., Tari A.R., Sandbakk S.B., Carlsen T., Ingebrigtsen J.E., Lydersen S., Mattsson E., Anderssen S.A., Fiatarone Singh M.A., Coombes J.S., Skogvoll E., Vatten L.J., Helbostad J.L., Rognmo Ø., Wisløff U. Effect of exercise training for five years on all cause mortality in older adults-the Generation 100 study: randomised controlled trial. *BMJ*. 2020; (371): m3485 p. <https://doi.org/10.1136/bmj.m3485>
32. Radaelli R., Taaffe D.R., Newton R.U., Galvão D.A., Lopez P. Exercise effects on muscle quality in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*. 2021; 11(1): 21085 p. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00600-3>

#### Информация об авторах:

**Мирошников Александр Борисович**, кандидат биологических наук, доцент кафедры спортивной медицины, Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма.

E-mail: benedikt116@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4030-0302>

**Форменов Александр Дмитриевич**, аспирант кафедры физиологии, Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма.

E-mail: formenov@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8576-9681>

**Смоленский Андрей Вадимович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедры спортивной медицины, Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма.

E-mail: Smolensky52@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5663-9936>

#### Вклад авторов:

Мирошников А.Б. – разработка дизайна исследования, написание текста, обзор публикаций по теме статьи, отбор и обследование пациентов, интерпретация данных, статистическая обработка данных, участие в одобрении окончательной версии статьи; Форменов А.Д. – разработка дизайна исследования, написание текста, обзор публикаций по теме статьи, интерпретация данных, участие в одобрении окончательной версии статьи; Смоленский А.В. – отбор и обследование пациентов, интерпретация данных, участие в одобрении окончательной версии статьи.

**Information about the authors:**

**Alexander B. Miroshnikov**, Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor of Sports Medicine Department, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism.

E-mail: benedikt116@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4030-0302>

**Alexander D. Formenov**, Postgraduate Student, Department of Physiology, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism.

E-mail: formenov@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8576-9681>

**Andrey V. Smolensky**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Sports Medicine Department, Russian State University of Physical Culture, Sports, Youth and Tourism.

E-mail: Smolensky52@mail.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5663-9936>

**Contribution:**

Miroshnikov A.B. – research design development, writing of text, review of publications on the topic of the article, selection and examination of patients, interpretation of data, statistical processing of data, participation in the approval of the final version of the article; Formenov A.D. – research design development, text writing, review of publications on the topic of the article, interpretation of data, participation in the approval of the final version of the article; Smolensky A.B. – selection and examination of patients, interpretation of data, participation in the approval of the final version of the article.

