

Состояние качества мышц и кровяного давления у спортсменов силовых видов спорта с артериальной гипертензией после аэробной работы: рандомизированное контролируемое исследование

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

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Москва, Россия.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Смоленский Андрей Вадимович, д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-5663-9936

Форменов Александр Дмитриевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-8576-9681

Мирошников Александр Борисович*, канд. биол. наук, доцент кафедры спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет физической культуры, спорта и туризма», Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-4030-0302

Цель — оценить влияние роста окислительных способностей мышц на артериальное давление (АД) гипертензивных спортсменов силовых видов спорта.

Материал и методы. Исследование было проведено на кафедре спортивной медицины РГУФКСМиТ и длилось 180 дней. В исследовании приняли участие 65 спортсменов силовых видов спорта, тяжелых весовых категорий с артериальной гипертензией. Спортсмены были рандомизированы на три группы: HIIT (n=23), MICE (n=22) и RT (n=20). В исследовании использовались следующие методы: измерение АД, эргоспирометрия, измерение уровня оксигенации мышечной ткани и методы математической статистики. Спортсмены групп HIIT и MICE выполняли велоэргометрию 3 раза в неделю по высокоинтенсивному интервальному

и равномерному протоколу, а участники группы RT тренировались 3 раза в неделю по своей традиционной программе силовых тренировок.

Результаты. У спортсменов, выполняющих велоэргометрию в течении 180 дней, наблюдалось повышение потребления кислорода на анаэробном пороге, в группе HIIT на 8,6 мл·кг⁻¹·мин⁻¹ и в группе MICE на 7,7 мл·кг⁻¹·мин⁻¹, а также было отмечено уменьшение оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра между группами HIIT, MICE и контрольной группой RT на 16,4% и 11,4% соответственно, что сопровождалось снижением систолического АД в среднем на 11,1 мм рт.ст. и диастолического АД на 11,2 мм рт.ст.

Заключение. Разработанные нами программы аэробной работы для спортсменов силовых видов спорта

позволяют безопасно и эффективно влиять на окислительные способности рабочих мышц и АД, однако время, затрачиваемое спортсменами на неспецифичную тренировочную деятельность в группе HIIT на 38% меньше, чем в группе MICE, что говорит в пользу преимуществ высокоинтенсивного интервального протокола.

Ключевые слова: качество мышц, артериальная гипертензия, тяжелая атлетика, аэробная работа, интервальный метод, окислительные способности.

Конфликт интересов: не заявлен.

Поступила: 28.02.2022

Принята: 25.04.2022



Для цитирования: Смоленский А. В., Форменов А. Д., Мирошников А. Б. Состояние качества мышц и кровяного давления у спортсменов силовых видов спорта с артериальной гипертензией после аэробной работы: рандомизированное контролируемое исследование. Международный журнал сердца и сосудистых заболеваний. 2022; 10(35):13-22. doi: 10.24412/2311-1623-2022-35-13-22

Muscle and blood pressure quality features in strength athletes with arterial hypertension after aerobic exercise: a randomized controlled trial

Smolensky A. V., Formenov A. D., Miroshnikov A. B.

Russian State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Moscow, Russia.

AUTHORS

Andrey V. Smolensky, M.D., doctor of medicine, professor, head of the Department of Sports Medicine of the Russian State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Moscow, Russia.

Alexander D. Formenov, PhD student of the Russian State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Moscow, Russia.

Alexander B. Miroshnikov, PhD in biology, docent of the Department of Sports Medicine of the Russian State University of Physical Culture, Sport and Tourism, Moscow, Russia.

Objective. To assess the effect of intensified muscles oxidation on blood pressure (BP) in strength athletes with arterial hypertension.

Materials and methods. The study was performed at the Department of Sports Medicine of Russian State University of Physical Culture, Sport and Tourism and lasted for 180 days. The study included 65 power athletes from heavyweight categories with arterial hypertension. Athletes were randomized into three groups: HIIT (n=23), MICE (n=22) and RT (n=20). The following methods were used: blood pressure assessment, ergospirometry, measurement of the muscle tissue oxygenation, mathematical and statistical analysis. Athletes in the HIIT and MICE groups performed velergometry 3 times a week according to high intense interval and steady training protocols, while athletes from RT group had their regular power exercise training 3 times a week.

Results. Athletes who performed velergometry for 180 days showed the increase of oxygen consumption at the anaerobic burden, from the HIIT group—at 8,6 ml·kg⁻¹·min⁻¹, and from MICE group—at 7,7 ml·kg⁻¹·min⁻¹, and showed the decrease of oxygenation of the lateral head of the quadriceps femoris between the HIIT, MICE and control RT groups by 16.4% and 11.4%, respectively, which was accompanied by the de-

crease of systolic BP by 11.1 mm Hg and diastolic BP by 11.2 mm Hg on average.

Conclusion. The developed programs of aerobic exercise for strength athletes allows to safely and effectively influence the oxidative abilities of skeletal muscles and BP, however, athletes who followed HIIT protocol spent 38% less time on non-specific training activities compared with MICE protocol that makes high intensity interval training the most effective and convenient method.

Keywords: muscle quality, arterial hypertension, weightlifting, aerobic exercise, interval training, oxidative abilities.

Conflict of interest: none declared.

Received: 28.02.2022

Accepted: 25.04.2022

For citation: Smolensky A. V., Formenov A. D., Miroshnikov A. B. Muscle and blood pressure quality features in strength athletes with arterial hypertension after aerobic exercise: a randomized controlled trial. International Heart and Vascular Disease Journal. 2022; 10(35):13-22. doi: 10.24412/2311-1623-2022-35-13-22

Список сокращений

1ПМ — 1 повторный максимум

АГ — артериальная гипертензия

АД — артериальное давление

АнП — анаэробный порог

ДАД — диастолическое артериальное давление

МВ — мышечное волокно

МПК — максимальное потребление кислорода

РКИ — рандомизированное контролируемое исследование

САД — систолическое артериальное давление

ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания

HIIT — high intensity interval training

MICE — moderate intensity continuous exercise

MQ — muscle quality

RT — resistance training

Введение

Согласно эпидемиологическим данным, сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смерти и инвалидности во всем мире [1–3]. Качество мышц (muscle quality — MQ) по-разному описывалось клиницистами и исследователями. Гериатрическая медицина и геронтология точно передают широкую концепцию качества мышц с описанием, которая включает метаболизм глюкозы, окислительное повреждение, метаболизм белка, внутримышечную жировую ткань, плотность капилляров, структурный состав, сократимость и утомляемость [4]. Хотя консенсусного определения «качества мышц» пока не существует, двусмысленность термина позволила исследователям изучить несколько аспектов MQ как пожилых [5], так и молодых людей [6]. Понимание фенотипических характеристик MQ для построения систем физической реабилитации, в которых приоритет отдается 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» [7]. Однако, в отличие от большинства лекарств, модальности упражнений, необходимые для улучшения окислительной функции и метаболического здоровья мышц остаются в широком кругу 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» [8]) и подавляют рост митохондрий в мышечных волокнах, которые растут в ответ на тренировки с отягощениями [9]. Также известно, что скелетные мышцы демонстрируют

значительную неоднородность не только по типу волокон, но и по капиллярному распределению, а разные тренировочные модальности неодинаково влияют на рост и количество капилляров рабочих мышц [10]. 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/мм²). 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 [11].

ССЗ являются ведущей причиной заболеваемости и смертности во всем мире, а распространенность ССЗ увеличивается с возрастом [12]. Повышение артериального давления (АД) или диагностированная артериальная гипертензия (АГ) широко признаются в качестве основного предшественника ССЗ. Предполагается, что риск ССЗ линейно возрастает с увеличением АД. Выявление основных механизмов развития АГ имеет решающее значение, поскольку при повышении систолического АД (САД) на 20 мм рт.ст., риск развития ССЗ удваивается. Взаимодействие между воспалением, реактивными формами кислорода и сосудистой дисфункцией называется триадой сосудистого здоровья, которая влияет на регуляцию АД человека [13,14]. 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 [15]) практически не использу-

ется. Хорошо известно, что аэробная работа повышает максимальное потребление кислорода (МПК), увеличивает количество капилляров и митохондрий у больных ССЗ [16], что снижает АД. На основании анализа проблемной ситуации, данных современной научной литературы и запросов спортивных врачей, тренеров и атлетов силовых видов спорта была сформулирована цель исследования.

Цель — оценить влияние роста окислительных способностей мышц на АД гипертензивных спортсменов силовых видов спорта.

Материалы 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 (масса тела — $105,9 \pm 0,4$ кг) с АГ. Все участники исследования дали добровольное информированное согласие на участие в соответствии с этическими стандартами научных исследований в спорте и физической активности 2020 года [17] (выписка из протокола № 5, заседание Этического комитета ФГБОУ ВО «РГУФКСМиТ» от 26.10.2017 г.). Рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) проводилось по правилам CONSORT [18]. Спортсмены прекратили на время исследования участие в соревнованиях. Спортсмены были рандомизированы с помощью таблицы случайных чисел на две основные группы и контрольную группу: группа HIIT (High Intensity Interval Training, $n=23$), группа MICE (Moderate Intensity Continuous Exercise, $n=22$) и контрольную группу RT (Resistance Training, $n=20$).

Критерии включения в исследование: спортсмены (мужчины) силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий (≥ 95 кг), в возрасте от 18 до 40 лет, имеющие спортивный разряд; наличие повышенного АД: САД ≥ 130 мм рт.ст.; диастолическое АД (ДАД) ≥ 85 мм рт.ст.; отсутствие любых воспалительных и хронических заболеваний, которые могли бы обостриться на момент исследования; подписанное письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании, согласно Хельсинкской декларации.

Критериями невключения были: возраст спортсменов (мужчины) силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий (≥ 95 кг), менее 18 и более 40 лет; спортсмены (мужчины) силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий (≥ 95 кг), занимающиеся спортом

менее 3 лет; спортсмены (мужчины) силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий (≥ 95 кг), которые на момент скрининга имели АД: САД < 130 мм рт.ст., ДАД < 85 мм рт.ст., спортсмены (мужчины) силовых видов спорта (тяжелая атлетика), тяжелых весовых категорий (≥ 95 кг), которые на момент обследования имели острые воспалительные и/или хронические заболевания, которые могли бы повлиять на результаты исследования.

Критериями исключения были спортсмены, которые нарушали комплаентность исследования.

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

Эргоспирометрия

Для определения анаэробного порога (АнП) и МПК выполняли тест с повышающейся нагрузкой при скорости педалирования 75 оборотов в минуту до отказа на велоэргометре «MONARK 839 E» (Monark AB, Швеция). Нагрузку задавали, начиная с 20 Вт с прибавлением по 20 Вт каждые 2 минуты. Газометрический анализ проводили с использованием газоанализатора «CORTEX» (Meta Control 3000, Германия), выполняющего измерение потребления кислорода и выделения углекислого газа от вдоха к выдоху. Частоту сердечных сокращений и R-R интервалы фиксировали с помощью монитора сердечного ритма «POLAR RS800» (Финляндия). Тест прекращался при достижении величин дыхательного коэффициента более 1,1, при выходе графика потребления кислорода на плато в течение 30 секунд или при невозможности поддерживать заданный темп педалирования (снижение или увеличение более чем на 10 об/мин) испытуемым. АнП определялся по точке начала увеличения вентиляционного эквивалента для углекислого газа (VE/VC_{O2}) с сопутствующим еще большим ускорением вентиляционного эквивалента для кислорода (VE/V_{O2}) и началом падения парциального давления углекислого газа на выдохе ($P_{et}CO_2$). МПК определялось как самое высокое значение потребления кислорода из двух последовательных 15-секундных отрезков после выхода кривой на плато.

Измерение уровня оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра

Измерение уровня оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра проводили с помощью системы «Моу Monitor» (США). Крепление

инфракрасного датчика «Моху» осуществлялось на латеральную головку четырёхглавой мышцы бедра правой ноги в месте вхождения нерва. 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). Разница в толщине подкожно-жировой ткани под датчиком между группами не была статистически значимой. «Моху» является надежным прибором для измерения сатурации гемоглобина и миоглобина в мышце при физических упражнениях [19].

Измерение АД

Согласно клиническим рекомендациям, которые были разработаны экспертами Российского Медицинского Общества по артериальной гипертензии и утверждены на заседании пленума 28 ноября 2013 г. и профильной комиссии по кардиологии 29 ноября 2013 г. для самостоятельных замеров АД использовался метод самоконтроля СКАД. Согласно СКАД, использовали традиционные автоматические тонометры для домашнего применения, прошедшие сертификацию. Замеры АД проводились утром (с 7:00 до 8:00). Выполняли 3 измерения с интервалом не менее 1 минуты на левой руке, все три показателя АД записывались в таблицу, средние значения заносили в архивный протокол.

Система физической реабилитации гипертензивных спортсменов силовых видов спорта

Система физической реабилитации состояла из двух методик (аэробная работа на фоне 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. Участники исследования тренировались по следующим протоколам.

Контрольная группа RT: работа с отягощениями в 5 упражнениях с весом отягощения 70–90 % от 1 повторного максимума (1ПМ), от 2 до 8 повторений в 4 подходах. Один цикл выполнения «подход+отдых (до полного восстановления)» составлял 5 минут. Упражнения выполнялись на все основные мышечные группы и включали в себя: жим штанги лежа, приседания со штангой на спине,

становую тягу, сгибание предплечий со штангой, разгибание предплечий на тренажере. Время тренировочной сессии составляло 100 минут.

Основная группа НИТ: силовая работа в 5 упражнениях с весом отягощения 70–90 % от 1ПМ, от 2 до 8 повторений в 3 подходах. Методика выполнения силовой тренировки была идентична с контрольными группами. После силового протокола была добавлена аэробная работа на велоэргометре, 7 высокоинтенсивных интервалов (на мощности педалирования 100 % от МПК) по 2 минуты и низкоинтенсивные интервалы с ЧСС на уровне 85 % от АНП продолжительностью 2 минуты. На ступенчатом тесте при эргоспирометрии была зафиксирована мощность педалирования, при которой ЧСС спортсмена находилась на уровне 85 % от АНП, поэтому давалась рекомендация снижать нагрузку до этой мощности работы. В конце каждого месяца спортсмены проводили ступенчатый тест на велоэргометре для корректировки нагрузки в аэробном протоколе физической реабилитации. Впоследствии спортсмены силовых видов спорта смогут использовать разработанные нами прогностические уравнения, чтобы избежать дорогостоящего, утомительного, болезненного и неспецифического для них тестирования. Время тренировочной сессии составляло 103 минуты.

Основная группа МСЕ: силовая работа в 5 упражнениях с весом отягощения 70–90 % от 1ПМ, от 2 до 8 повторений в 3-х подходах для упражнения жим штанги лежа и в 2-х подходах для остальных упражнений. Методика выполнения силовой тренировки была идентична с контрольными группами. После силового протокола была добавлена равномерная аэробная работа на велоэргометре продолжительностью 45 минут с интенсивностью 60–80 % от мощности педалирования на МПК, согласно рекомендациям Колледжа Спортивной Медицины 2019 года для людей с АГ. В конце каждого месяца спортсмены проводили ступенчатый тест на велоэргометре для корректировки нагрузки в аэробном протоколе физической реабилитации. Время тренировочной сессии составляло 100 минут.

Статистический анализ

Статистический анализ результатов исследования выполнялся при помощи пакета программ Statistica 13.3. Проверка соответствия исходных данных закону нормального распределения была проверена тестом Колмогорова-Смирнова. Для выявления значимых изменений был проведен многофакторный дисперсионный анализ с повторениями 3×2 по факторам

«режим» (HIIT/MICE/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.

Результаты и обсуждение

Перед началом физической реабилитации всем спортсменам-тяжелоатлетам был проведен ступенчатый тест на велоэргометре, при котором определялось потребление кислорода на АНП и МПК. Спортсмены между группами HIIT, MICE, 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 HIIT и MICE (табл. 1). Достоверно произошло повышение потребления кислорода на АНП в группе HIIT и MICE на $8,6$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ и $7,7$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ соответственно ($p<0,01$). Также после 180 дней реабилитации произошло статистически значимое повышение МПК в группах HIIT и MICE на $9,2$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ и $8,3$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ соответственно ($p<0,01$).

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

MICE и группой RT $7,5$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ ($p<0,01$). После 180 дней вмешательства в группе HIIT произошло достоверное повышение МПК на $0,9$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ по сравнению с группой MICE ($p<0,05$). Также достоверная разница в повышении МПК была между группой HIIT и группой RT, которая составила $9,0$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹, а между группой MICE и группой RT $8,1$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹ ($p<0,01$).

Известно, что спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне (near-infrared spectroscopy — NIRS) может быть использована для измерения емкости митохондрий рабочих мышц, так как емкость митохондрий коррелирует с параметрами аэробной подготовки [20]. Перед началом физической реабилитации всем спортсменам-тяжелоатлетам был проведен ступенчатый тест на велоэргометре, при котором проводилось измерение уровня оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра. Спортсмены между группами HIIT, MICE, RT статистически не отличались по уровню оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра после окончания первого ступенчатого теста ($p<0,05$). Разница между уровнем покоя и максимальной активностью (в конце ступенчатого теста) по потреблению кислорода латеральной головкой четырёхглавой мышцы бедра в группах HIIT, MICE и RT составила $20,1\%$, $18,8\%$ и $18,4\%$ соответственно (табл. 2).

В сравнительном анализе после 180 дней вмешательства в группе HIIT 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 HIIT, MICE и группой RT составила $16,4\%$ и $11,4\%$ соответственно ($p<0,01$).

Всем 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 уве-

Таблица 1

Показатели эргоспирометрии спортсменов-тяжелоатлетов, (M±m)

| Группа (N=65) | АНП (мл·кг ⁻¹ ·мин ⁻¹) | | | МПК (мл·кг ⁻¹ ·мин ⁻¹) | | |
|------------------|---|-------------|------|---|-------------|------|
| | 0 дней | 180 дней | Δ | 0 дней | 180 дней | Δ |
| HIIT (n=23) | 24,5±0,9 | 33,1±0,5 | 8,6* | 31,7±1,2 | 40,9±0,6 | 9,2* |
| MICE (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 |

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

Таблица 2

Показатели оксигенации латеральной головки четырёхглавой мышцы бедра спортсменов-тяжелоатлетов, (M±m)

| Группа (N=65) | До исследования | | | После исследования | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------------|------|-----------------------------|----------------------------|-------|
| | SmO ₂ (%) начало | SmO ₂ (%) конец | Δ | SmO ₂ (%) начало | SmO ₂ (%) конец | 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 |

Примечание. * – статистически значимые различия сравниваемых показателей по группе до и после реабилитации при p<0,01.

личения массы и функции митохондрий регулярно тренируемых мышц. Емкость митохондрий тесно связана с МПК, что само по себе является сильным показателем метаболической функции и здоровья [21]. В целом, MICE и НИТ вызывают сходные специфические для типа волокна ответы сигнальных белков, участвующих в биогенезе митохондрий [22]. Однако четыре метаанализа [23–26] выявили положительный эффект НИТ на потребление кислорода на лактатном и вентилаторных порогах, а также в исследованиях, где напрямую сравнивались влияние НИТ и MICE на МПК был небольшой положительный эффект для НИТ. Анализ источников литературы показал, чем выше окислительные способности мышечного волокна (капилляризация и митохондриальный аппарат), тем ниже общее периферическое сосудистое сопротивление (один из основных факторов, влияющих на АД). Факторы низкого периферического сосудистого сопротивления малоизвестны, однако хорошо изучено, что по сравнению с мышечным волокном (МВ) типа II число капилляров, окружающих МВ типа I выше, люди с АГ имеют более низкую плотность капилляров, а чем ниже плотность капилляров, тем выше АД [27]. 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. В связи с этим, мы имеем такую картину качества мышц спорт-

сменов силовых видов спорта, 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 [28] 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, но только в рекрутируемом МВ (см. рис. 1). При такой нагрузке (≤ АнП) только низкопороговые и промежуточные МВ будут иметь достаточный стимул для роста митохондрий и капилляров.

Высокоинтенсивные интервальные тренировки позволяют рекрутировать МВ выше АнП и, если удастся удерживать интенсивность ≥2 минут, то в высокопороговых МВ создаются достаточные стимулы для роста митохондрий и капилляров. При регулярной тренировке ≤ АнП только низкопороговые и промежуточные МВ смещаются по профилю гликолитическое МВ (ГМВ) → окислительное МВ (ОМВ). При высокоинтенсивных интервальных тренировках содержание митохондрий и капилляров в любом из типов МВ (низкопороговые, промежуточные, высокопороговые) увеличивается (см. рис. 1), что указывает на то, что митохондриальные адаптации и рост капилляров не зависят от типа миофибриллярного волокна как такового, а основаны на

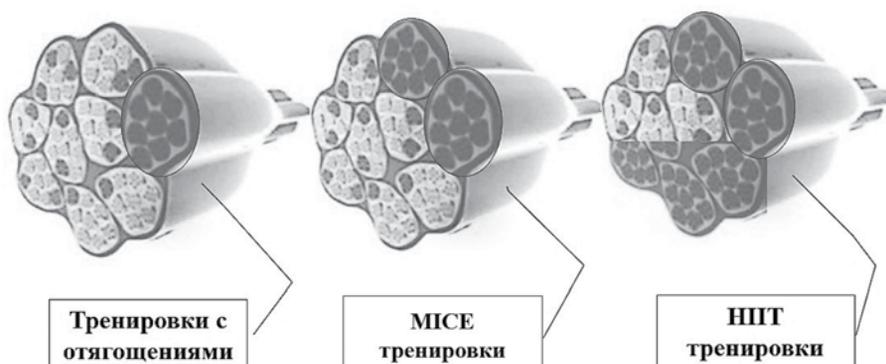


Рис. 1. Влияние разных тренировочных модальностей на окислительные свойства мышц

Динамика АД спортсменов-тяжелоатлетов, (M±m)

| Группа (N=65) | САД (мм рт.ст.) | | | ДАД (мм рт.ст.) | | |
|---------------|-----------------|-----------|-------|-----------------|----------|-------|
| | 0 дней | 180 дней | Δ | 0 дней | 180 дней | Δ |
| НИТ (n=23) | 158,8±2,2 | 147,3±1,8 | 11,5* | 101,3±3,3 | 89,7±2,7 | 11,6* |
| MICE (n=22) | 159,2±2,5 | 148,2±1,9 | 11,0* | 99,4±2,5 | 88,6±1,9 | 10,8* |
| RT (n=20) | 157,9±2,3 | 156,3±2,8 | 1,6 | 98,5±2,3 | 97,2±2,1 | 1,3 |

Примечание. * – статистически значимые различия сравниваемых показателей по группе до и после реабилитации, $p < 0,01$.

стимуле и рекрутировании этого МВ [29]. Eigendorf et al. [30] показывают, что высокообъемный НИТ на велоэргометре приводит к смещению метаболического профиля высокопороговых МВ к фенотипу МВ тип I (по принципу ГМВ→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 НИТ и MICE произошло снижение АД (табл. 3).

В сравнительном анализе после 180 дней вмешательства в группе НИТ произошло недостоверное снижение САД на 0,5 мм рт.ст. по сравнению с группой MICE ($p < 0,05$). Статистически значимая разница в снижении САД между группой RT и НИТ составила 9,9 мм рт.ст. ($p < 0,01$), а между группой RT и MICE 7,8 мм рт.ст. ($p < 0,01$). После 180 дней физической реабилитации в группе НИТ произошло недостоверное снижение ДАД на 0,8 мм рт.ст. по сравнению с группой MICE ($p < 0,05$). Статистически значимая разница в снижении ДАД между группой RT и НИТ составила 10,3 мм рт.ст. ($p < 0,01$), а между группой RT и MICE 9,5 мм рт.ст. ($p < 0,01$). Данное снижение АД является хорошей профилактикой ССЗ, так как известно, что 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 ИБС, а также снижение САД на 5 мм рт.ст. уменьшило риск основных сердечно-сосудистых событий на 10% независимо от предыдущих диагнозов ССЗ [31]. Поэтому в крупном РКИ «Generation 100 study», в котором участвовало 1567 людей, наблюдали более низкий тренд смертности от всех при-

чин после НИТ по сравнению с контролем и MICE [32]. В динамике снижения АД (САД и ДАД) системы физической реабилитации НИТ и MICE статистически не отличаются, однако времени затрачивается спортсменами на неспецифичную тренировочную деятельность в системе НИТ на 38% меньше.

Заключение

В то время как большинство определений качества мышц не учитывают все сложные адаптации их к тренировочным стимулам, а в основном сводятся к двум параметрам (морфологическому и нервно-мышечному), то такой подход может приводить к неверным выводам при рассмотрении здоровья спортсменов силовых видов спорта. С одной стороны, сила мышц и мышечный поперечник существенно превосходят аналогичные параметры сидячего или рекреационного населения, (что должно говорить о хороших 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 (НИТ или MICE) будет повышать качество мышц и способствовать здоровью сердечно-сосудистой системы спортсменов силовых видов спорта. Требуется дальнейшие РКИ в данной области.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Литература/References

1. Barsukov A.V., Glukhovskoy D.V., Zobnina M.P., et al. Left ventricular hypertrophy and cardiac arrhythmias in essential hypertension. J Emergency Medicine. 2014; 1(47): 27–36. Russian [Барсуков А. В., Глуховской Д. В., Зобнина М. П. и др. Левожелудочковая гипертрофия и нарушения сердечного ритма при гипертонической болезни. Медицина экстремальных ситуаций. 2014; 1(47): 27–36].
2. Chazova I.E., Zhernakova Yu.V. on behalf of the experts. Clinical guidelines. Diagnosis and treatment of arterial hypertension. Systemic Hypertension. 2019; 16 (1): 6–31. Russian [Чазова И. Е., Жернакова Ю. В. от имени экспертов. Клинические рекомендации. Диагностика и лечение артериальной гипертензии. Системная гипертензия. 2019; 16 (1): 6–31]. doi: 10.26442 / 2075082X.2019.1.190179



3. Iskenderov B.G., Vakina T.N., Shibaeva T.M. The incidence and pattern of cardiac rhythm and conduction disturbances in patients with different clinical and pathogenetic types of hypertensive disease. *Clinical Medicine*. 2004; 8: 18–21. Russian (Искендеров Б.Г., Вакина Т.Н., Шибеева Т.М. Частота и характер нарушений ритма и проводимости сердца у больных с различными клинико-патогенетическими вариантами гипертонической болезни. *Клиническая медицина*. 2004; 8: 21–24).
4. Correa-de-Araujo R., Harris-Love M.O., Miljkovic I., et al. The Need for Standardized Assessment of Muscle Quality in Skeletal Muscle Function Deficit and Other Aging-Related Muscle Dysfunctions: A Symposium Report. *Front Physiol*. 2017. Feb 15;8:87. doi: 10.3389/fphys.2017.00087
5. Brown J.C., Harhay M.O., Harhay M.N. The muscle quality index and mortality among males and females. *Ann Epidemiol*. 2016 Sep;26(9):648–53. doi: 10.1016/j.annepidem.2016.07.006
6. Naimo M.A., Varanoske A.N., Hughes J.M., et al. Skeletal Muscle Quality: A Biomarker for Assessing Physical Performance Capabilities in Young Populations. *Front Physiol*. 2021. Aug 5;12:706699. doi: 10.3389/fphys.2021.706699
7. Hawley J.A., Bishop D.J. High-intensity exercise training — too much of a good thing? *Nat Rev Endocrinol*. 2021. Jul;17(7):385–386. doi: 10.1038/s41574-021-00500-6
8. Parry H.A., Roberts M.D., Kavazis A.N. Human Skeletal Muscle Mitochondrial Adaptations Following Resistance Exercise Training. *Int J Sports Med*. 2020 Jun;41(6):349–359. doi: 10.1055/a-1121-7851
9. Ruple B.A., Godwin J.S., Mesquita P.H.C., et al. Myofibril and Mitochondrial Area Changes in Type I and II Fibers Following 10 Weeks of Resistance Training in Previously Untrained Men. *Front Physiol*. 2021 Sep 24;12:728683. doi: 10.3389/fphys.2021.728683
10. Nederveen J.P., Betz M.W., Snijders T. et al. The Importance of Muscle Capillarization for Optimizing Satellite Cell Plasticity. *Exerc Sport Sci Rev*. 2021. Oct 1;49(4):284–290. doi: 10.1249/JES.0000000000000270
11. Van der Zwaard S., Brocherie F., Jaspers R.T. Under the Hood: Skeletal Muscle Determinants of Endurance Performance. *Front Sports Act Living*. 2021. Aug 4;3:719434. doi: 10.3389/fspor.2021.719434
12. Virani S.S., Alonso A., Aparicio H.J. et al. 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. Feb 23;143(8):e254–e743. doi: 10.1161/CIR.0000000000000950
13. 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. *Microvasc Res*. 2021. Mar;134:104123. doi: 10.1016/j.mvr.2020.104123
14. Ranadive S.M., Dillon G.A., Mascone S.E. et al. Vascular Health Triad in Humans With Hypertension-Not the Usual Suspects. *Front Physiol*. 2021. Oct 1;12:746278. doi: 10.3389/fphys.2021.746278
15. Hansen D., Abreu A., Ambrosetti M. et al. 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. *Eur J Prev Cardiol*. 2021. Jun 2:zwab007. doi: 10.1093/eurjpc/zwab007
16. Taylor J.L., Bonikowske A.R., Olson T.P. Optimizing Outcomes in Cardiac Rehabilitation: The Importance of Exercise Intensity. *Front Cardiovasc Med*. 2021. Sep 3;8:734278. doi: 10.3389/fcvm.2021.734278
17. Harriss D.J., MacSween A., Atkinson G. Ethical Standards in Sport and Exercise Science Research: 2020 Update. *Int J Sports Med*. 2019. Dec;40(13):813–817. doi: 10.1055/a-1015-3123
18. Bian Z.X., Shang H.C. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Ann Intern Med*. 2011. Feb 15;154(4):290–1; author reply 291–2. doi: 10.7326/0003-4819-154-4-201102150-00016
19. Miranda-Fuentes C., Chiroso-Ríos L.J., Guisado-Requena I.M. et al. Changes in Muscle Oxygen Saturation Measured Using Wireless Near-Infrared Spectroscopy in Resistance Training: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021. Apr 18;18(8):4293. doi: 10.3390/ijerph18084293
20. Lagerwaard B., Janssen J.J.E., Cuijpers I. et al. Muscle mitochondrial capacity in high- and low-fitness females using near-infrared spectroscopy. *Physiol Rep*. 2021. May; 9(9):e14838. doi: 10.14814/phy2.14838
21. Flockhart M., Nilsson L.C., Tais S. et al. Excessive exercise training causes mitochondrial functional impairment and decreases glucose tolerance in healthy volunteers. *Cell Metab*. 2021. May 4;33(5):957–970.e6. doi: 10.1016/j.cmet.2021.02.017
22. Skelly L.E., Gillen J.B., Frankish B.P. et al. Human skeletal muscle fiber type-specific responses to sprint interval and moderate-intensity continuous exercise: acute and training-induced changes. *J Appl Physiol* (1985). 2021 Apr 1;130(4):1001–1014. doi: 10.1152/jappphysiol.00862.2020
23. Bacon A.P., Carter R.E., Ogle E.A. et al. VO₂max trainability and high intensity interval training in humans: a meta-analysis. *PLoS One*. 2013 Sep 16;8(9):e73182. doi: 10.1371/journal.pone.0073182
24. 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 Med*. 2015. Oct;45(10):1469–81. doi: 10.1007/s40279-015-0365-0
25. Engel F.A., Ackermann A., Chtourou H. et al. High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol*. 2018. Jul 27;9:1012. doi: 10.3389/fphys.2018.01012
26. van Baak M.A., Pramono A., Battista F. et al. Effect of different types of regular exercise on physical fitness in adults with overweight or obesity: Systematic review and meta-analyses.

Оригинальные статьи

- 22 Смоленский А. В. и др.
Состояние качества мышц и кровяного давления у спортсменов силовых видов спорта...
doi: 10.24412/2311-1623-2022-35-13-22
-
- Obes Rev. 2021 Jul;22 Suppl 4(Suppl 4):e13239. doi: 10.1111/obr.13239
27. 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. *J Hypertens.* 2000. May;18(5):559–65. doi: 10.1097/00004872-200018050-00008
28. Musci R.V., Hamilton K.L., Linden M.A. Exercise-Induced Mitohormesis for the Maintenance of Skeletal Muscle and Healthspan Extension. *Sports (Basel).* 2019. Jul 11;7(7):170. doi: 10.3390/sports7070170
29. Memme J.M., Erlich A.T., Phukan G. et al. Exercise and mitochondrial health. *J Physiol.* 2021. Feb;599(3):803–817. doi: 10.1113/JP278853
30. Eigendorf J., May M., Friedrich J. et al. High Intensity High Volume Interval Training Improves Endurance Performance and Induces a Nearly Complete Slow-to-Fast Fiber Transformation on the mRNA Level. *Front Physiol.* 2018. May 29;9:601. doi: 10.3389/fphys.2018.00601
31. 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. *Lancet.* 2021. May 1;397(10285):1625–1636. doi: 10.1016/S0140-6736(21)00590-0
32. Stensvold D., Viken H., Steinshamn S.L. et al. Effect of exercise training for five years on all cause mortality in older adults—the Generation 100 study: randomised controlled trial. *BMJ.* 2020. Oct 7;371:m3485. doi: 10.1136/bmj.m3485
33. Radaelli R., Taaffe D.R., Newton R.U. et al. Exercise effects on muscle quality in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2021. Oct 26;11(1):21085. doi: 10.1038/s41598-021-00600-3