

Ю.Ю. Бяловский, И.С. Ракитина

ВЛИЯНИЕ ТРЕНИРОВКИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕСПИРАТОРНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ НА РЕЗУЛЬТАТЫ БЕГА НА СРЕДНИЕ ДИСТАНЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Рязань, Российская Федерация

Резюме. Утомление дыхательных мышц является одним из важных факторов, ограничивающих спортивные результаты вследствие уменьшения притока крови к конечностям. Дополнительное респираторное сопротивление (ДРС) может эффективно повысить выносливость дыхательных мышц и снизить утомляемость во время длительных упражнений или аэробных упражнений, тем самым повышая спортивные результаты. **Цель исследования** заключалась в изучении влияния 4-недельной тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на силу дыхательных мышц, скорость изменения кровотока в конечностях и спортивные результаты у бегунов-любителей на 800 м. **Методика.** Двадцать здоровых бегунов на 800 м, были рандомизированы в опытную группу (11 человек) и контрольную группу (9 человек). Тренировка с ДРС состояла из 30 вдохов два раза в день, 5 дней в неделю, с интенсивностью 40, 60, 70 и 80% от максимального давления вдоха ($P_{\text{тmax}}$) в течение 4 недель, в то время как контрольная группа тренировки с ДРС не применяла. В качестве исходных измеряемых переменных использовались беговой тест на 800 м, скорость изменения кровотока в конечностях, показатели внешнего дыхания, физическая работоспособность, максимальное потребление кислорода. Все измеряемые переменные оценивались до и после 4-недельной тренировки с ДРС. Статистический анализ был проведен с помощью однофакторного дисперсионного теста ANOVA. **Результаты:** после прохождения программы тренировки с ДРС опытная группа значительно снизила скорость изменения кровотока в конечностях с $12,21 \pm 2,14\%$ до $5,97 \pm 2,09\%$ ($p < 0,05$). Отмечено увеличение дыхательного объема — 734 ± 43 мл у основной и 674 ± 46 мл у контрольной группы; рост максимального внутриротового давления — $131,09 \pm 11,20$ см вод.ст. у основной группы и $117,1 \pm 10,3$ см вод.ст. у контрольной; достоверное повышение $PWC-170$ — $872 \pm 38,4$ кГм/мин (основная группа) и $810 \pm 34,8$ кГм/мин (группа контроля), а также увеличение максимального потребления кислорода у представителей основной группы (3104 ± 68 мл/мин) относительно более низких значений у контрольной (2303 ± 72 мл/мин). Беговой тест на 800 м показал ускорение бега с $165,97 \pm 6,96$ до $154,75 \pm 5,7$ сек. А вот контрольная группа не претерпела существенных изменений в беговом тесте на 800 м. **Заключение:** наши результаты показали, что 4-недельная тренировка с ДРС (дважды в день, 5 дней в неделю) достоверно повышает дыхательный объем, максимальное внутриротовое давление, физическую работоспособность, максимальное потребление кислорода, эффективность бега на 800 м и снижает скорость изменения кровотока в конечностях.

Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление, сила дыхательной мускулатуры, бег на 800

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Бяловский Юрий Юльевич

b_uu@mail.ru

Дата поступления 13.01.2023

Образец цитирования:

Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С. Влияние тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением на результаты бега на средние дистанции. [Электронный ресурс] Вестник уральской медицинской академической науки. 2023, Том 20, № 1-2, с. 75–87, DOI: 10.22138/2500-0918-2023-20-1-75-87

Актуальность

В последнее время бег стал одним из популярных видов аэробных упражнений во всем мире. В качестве основных эффекторов аэробных упражнений выступают сердечно-сосудистая система и дыхательная мускулатура, которая обеспечивает дыхательные движения [1, 2]. Когда люди выполняют упражнения высокой интенсивности, утомление дыхательных мышц рефлекторно увеличивает симпатическую сосудосуживающую активность и сужение сосудов в мышцах ног, в результате чего кровоток в них не достигает должного уровня [3–6]. В этой связи недостаточный кровоток в конечностях снижает скорость окислительных процессов и усиливает чувство болезненности и дискомфорта, тем самым влияя на их спортивную работоспособность.

По данным Romer, L.M et al., при выполнении упражнений с постоянной нагрузкой работа дыхательной мускулатуры снижалась примерно на 60% за счет пропорциональной вспомогательной вентиляции, а утомляемость четырехглавой мышцы бедра в конце упражнений снижалась на 25–30% по сравнению с контрольной группой [7]. Кроме того, при езде на велосипеде с постоянной нагрузкой на фоне добавления дополнительного кислорода во вдыхаемый воздух для предотвращения деоксигенации артериальной крови, вызванной физической нагрузкой, было обнаружено, что утомляемость четырехглавой мышцы бедра была почти на 50% меньше по сравнению с контрольной группой [8]. Таким образом, тренировка дыхательных мышц может существенно отодвинуть период мышечного утомления ног, тем самым улучшая спортивные результаты, баланс газов и кислотно-щелочного баланса артериальной крови [9].

Johnson M.A. et al. показали, что тренировка мышц вдоха значительно снижает утомляемость и улучшает спортивные результаты [10]. В данной работе [10] использовали средние значения инспираторной ДРС в течение 6 недель на велосипедистах. Полученные результаты показали, что после шести недель тренировок увеличилась выносливость, непрерывная выходная мощность и улучшились результаты езды на велосипеде. Аналогичные результаты были получены в работе Romer L.M. et al. [11]. В этом исследовании шестнадцать тренированных велосипедистов были случайным образом распределены в группу тренировки с ДРС и группу имитации ДРС и прошли 6-недельную тренировку дыхательной мускулатуры. Были изучены функция легких и результаты гонок на время на 20 и 40 км. В результате улучшились показатели в гонке на время и на 20 и на 40 км и улучшилась функция легких. Kilding A.E. et al. [12], также исследовали влияние тренировок с ДРС на 16 пловцов клубного уровня. Их результаты показали, что время в заплыве на 100 м уменьшилось на 1,7%, а в заплыве на 200 м — на 1,5% [12]. Кроме того, Volianitis S., et al. [13], провели 11-недельную тренировку с ДРС на элитных гребцах-женщинах. По их данным, увеличение максимального давления вдоха в группе тренировки с ДРС было значительно выше, чем в контрольной группе. В работе статистически подтверждено, что тренировки с ДРС могут улучшить силу дыхательных мышц и спортивные результаты.

В ряде исследований тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС оценивались по спортивным результатам с длинными дистанциями: бег, плавание и езда на велосипеде [14–16]. Однако исследований по тренировке дыхательных мышц с помощью ДРС при занятиях спортом на средние и короткие дистанции было меньше. Бег на средние дистанции включает в себя бег на 800 м и 1500 м. Бег на 800 м и 1500 м — это вид спорта, который включает в себя как аэробные, так и анаэробные упражнения. Исследование бегунов на 1500 м показало, что тренировка дыхательных мышц с помощью ДРС может увеличить силу дыхательных мышц и улучшить спортивные результаты [15]. Однако расстояние в 800 м короче, чем расстояние в 1500 м. С точки зрения физиологии спорта, эффективность тренировки с помощью ДРС наибольшая для анаэробных упражнений [1, 2, 14]. Сомнительно, чтобы эффект тренировки дыхательных мышц был таким же, как на дистанции 1500 м.

Тем не менее, предыдущие исследования, связанные с тренирующим эффектом ДРС, были сосредоточены в основном на длительных упражнениях. Небольшое число исследований изучали влия-

ние тренировки с ДРС на аэробные упражнения с короткими дистанциями, в частности, бег на 800 м. Brown S. и Kilding A.E. обнаружили влияние тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на результаты кратковременного плавательного упражнения кролем [14]. Ohya T. et al., сообщили, что более короткие беговые упражнения вызывают большее утомление дыхательных мышц [17]. Следовательно, необходимо понять, полезна ли тренировка дыхательных мышц с помощью ДРС для соревнований на средние дистанции, таких как бег на 800 м.

Цель исследования заключалась в изучении влияния 4-недельной тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на силу дыхательных мышц, скорость изменения кровотока в конечностях и спортивные результаты у бегунов-любителей на 800 м. *Гипотеза исследования* заключалась в том, что 4-недельная тренировка мышц вдоха увеличила силу дыхательных мышц, уменьшила скорость изменения кровотока в конечностях и улучшила спортивные результаты на 800 м.

Методика

В качестве испытуемых были набраны 20 бегунов-любителей на 800 м из команды университета по легкой атлетике. Возраст участников находился в диапазоне от 17 до 25 лет, средний вес испытуемых составил 59,5 кг. Из привлеченных бегунов 2 человека имели первый спортивный разряд, 2 человека — второй спортивный разряд, 3 человека — третий спортивный разряд, 2 человека — 1-й юношеский разряд и 11 человек не имели разрядов. Среди участников исследования не было спортсменов высокой квалификации (мастеров и кандидатов в мастера спорта, а также победителей всероссийских и международных соревнований). Отобранные спортсмены находились на подготовительном периоде подготовки. Тренировочный процесс у всех спортсменов был стандартный и проходил по программе общефизической подготовки, включающей следующие упражнения: жим штанги лежа от груди, приседания со штангой, рывок штанги, прыжок в длину, бег 60 метров, бег 100 метров. Участники исследования были рандомизированы в основную группу (11 человек) и контрольную группу (9 человек). Основная группа проводила тренировки с ДРС два раза в день, 5 дней в неделю, в течение 4 недель, в то время как контрольная группа проводила имитацию тренировки с ДРС (плацебо). Участники были набраны путем поиска спортсменов, которые тренировались по бегу не менее трех раз в неделю в течение как минимум 60 минут и смогли завершить полный эксперимент. Кроме того, применялись три критерия исключения: 1) сердечно-сосудистые, легочные и неврологические заболевания в настоящее время или в прошлом; 2) курильщики; 3) аллергия на электропроводный гель. Все участники были проинформированы о процедуре исследования и перед началом эксперимента подписали форму информированного согласия. Настоящее исследование было одобрено локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета. В таблице 1 представлены антропометрические характеристики участников. Достоверных различий между основной группой, тренировавшейся с ДРС и контрольной группой обнаружено не было.

Таблица 1
Антропометрические характеристики испытуемых
Table 1
Anthropometric characteristics of the subjects

Показатели Indicators	Группа с ДРС (n = 11) ARR group (n = 11)	Контрольная группа (n = 9) Control group (n = 9)	p – значение p-value
Пол (М:Ж) / Gender (M:F)	7 : 4	5 : 4	0,12
Возраст, лет / Age, years	20,56±1,85	21,07±1,69	0,28
Рост, см / Height, cm	174,23±5,81	171,41±7,22	0,59
Вес, кг / Weight, kg	62,81±5,35	64,26±8,84	0,64

Обозначения: М – средняя арифметическая, SD – стандартное отклонение.

Designations: M – arithmetic mean, SD – standard deviation.

Для оценки функционального состояния испытуемых на разных этапах тренировочного процесса измерялись показатели внешнего дыхания (частота дыхательных движений — ЧДД, 1/мин; дыха-

тельный объем, ДО — мл; максимальное внутриротовое давление — $P_{m\max}$, см вод.ст.; жизненная емкость легких — ЖЕЛ, л), величина физической работоспособности (PWC-170, кгм/мин), показатель максимального потребления кислорода (МПК, мл). Для измерения объемно-временных показателей дыхания и потребления кислорода использовался спироанализатор Spirolab III SpO₂ (Италия), измерение PWC-170 проводилось с помощью велоэргометра Ритм-ВЭ-05 (Россия).

Исходные данные результатов оценки функционального состояния испытуемых, теста кровотока и теста на время бега на 800 м были собраны у всех участников до начала тренировочного процесса. После сбора исходных данных, основная группа начинала 4-недельную тренировку с ДРС, а контрольная группа — тренировку с плацебо. Обе группы занимались одинаковыми силовыми тренировками в течение 4 недель. Сразу после 4-недельной тренировки с ДРС (или плацебо), все участники повторно проходили тестирование функционального состояния кардиореспираторной системы, тест скорости кровотока и тест на время бега на 800 м.

Тренировка с ДРС разной интенсивности состояла из 30 нагруженных вдохов два раза в день, 5 дней в неделю, в течение 4 недель. В первую неделю использовалась ДРС величиной 40% $P_{m\max}$, во вторую — 60% $P_{m\max}$, в третью — 70% $P_{m\max}$ и в четвертую — 80% $P_{m\max}$. Дополнительное респираторное сопротивление вдоху предъявлялось с помощью портативного дозатора резистивных дыхательных нагрузок Int. Air. Medical (производитель — БУРГЕН Бресс Франция, рис.1). Со стороны испытуемого тренажер был оснащен мундштуком (1), с другой стороны — клапаном «вдоха» (2). ДРС регулировалось с помощью положения регулятора (3) путем изменения площади сечения канала вдоха. Каждому испытуемому основной группы величину ДРС подбирали исходя из максимального значения внутриротового давления, определяемого при полном перекрытии рта и носа (проба Мюллера). Для дозирования ДРС с помощью $P_{m\max}$, к корпусу тренажера Int. Air. Medical подключался моновакууметр WIKА-2-75 (Польша). Во время тренировки с помощью ДРС, носовое дыхание перекрывалось с помощью клипсы. Испытуемые группы контроля проходили ту же процедуру нагрузочных тренировок с имитацией ДРС, т.е. на протяжении 4 недель исследования 2 раза в день делали 30 вдохов через Int. Air. Medical без аэродинамического сопротивления.

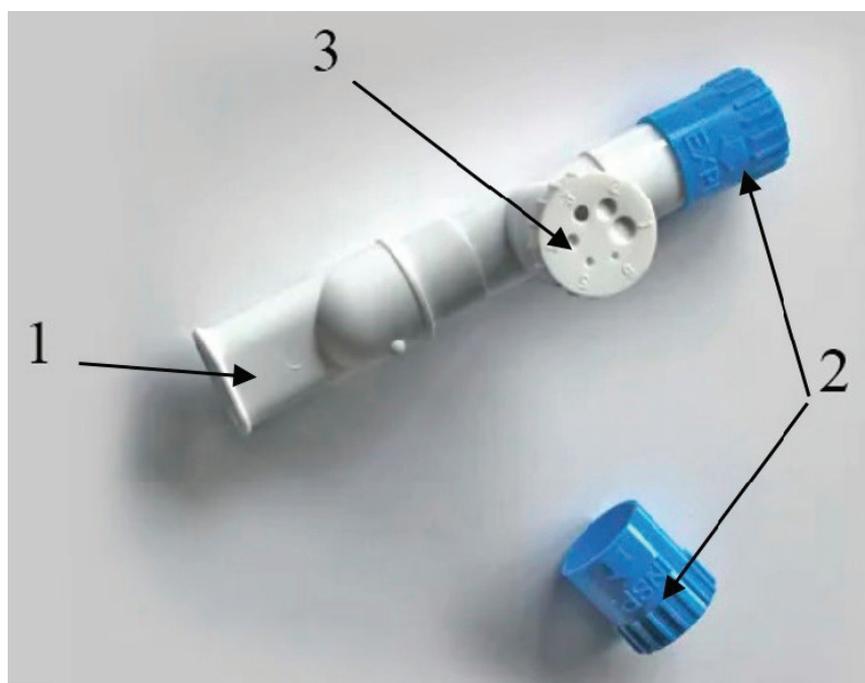


Рис. 1. Портативный дозатор резистивных дыхательных нагрузок Int. Air. Medical: 1 — мундштук; 2 — клапан вдоха; 3 — регулятор дополнительного респираторного сопротивления.

Fig. 1. Portable Respiratory Load Dispenser Int. Air. Medical: 1 — mouthpiece; 2 — inhalation valve; 3 — regulator of additional respiratory resistance.

Для оценки кровотока в конечностях использовали реоплетизмограф РПГ4-02 (Россия). Прибор был откалиброван и обеспечивал высокое качество регистрируемого сигнала, а также достаточную воспроизводимость [18]. В тесте оценки изменений кровотока использовалось измерение по четы-

рехэлектродной методике. Два внешних электрода использовались для подачи постоянного тока, а два внутренних электрода использовались для измерения импеданса тканей четырехглавых мышц (рис. 2).

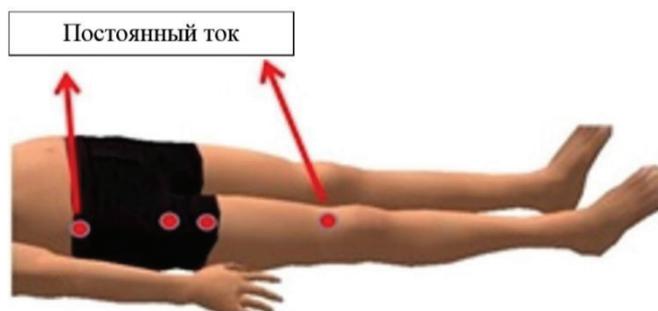


Рис. 2. Расположение электродов во время измерения кровотока в конечностях.
Rice. 2. The location of the electrodes during the measurement of blood flow in the extremities.

Скорость пульсаторного кровотока в конечностях у участников (ом/мин), измерялась до и после проведения 4-х недельной тренировки с ДРС. Скорость изменения кровотока в конечности рассчитывали в процентах как относительный прирост/снижение значений показателя в ходе тренировки.

Для оценки спортивных результатов использовался тест на время бега на 800 м, который проводился до и после четырехнедельной тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС. Согласно исследованиям Nanon C. et al. и Ohya T. et al., бег на 800 м создавал состояние дисбаланса в организме, снижение рН крови и чрезмерное функционирование определенных отделов, что приводит к истощению организма и утомлению дыхательных мышц [17, 19]. Таким образом, этот тест спортивных результатов можно использовать в качестве измеряемой эффективности тренировки дыхательных мышц. Перед бегом на 800 м участники разогревались в течение 5 минут, а затем выполняли бег на легкоатлетической дорожке в кампусе. Во время теста они пробежали по дорожке 800 м и зафиксировали время с помощью секундомера.

Для статистического анализа использовалось программное обеспечение Statistical Package for Social Sciences (SPSS 17, США). Нормальность выборок переменных оценивали с помощью критерия Шапиро-Уилка. При нормальном распределении межгрупповые различия исследовались с помощью t-критерия Стьюдента при учете гомогенности внутригрупповой дисперсии (тест Левена). Межгрупповые различия выборок с ненормальным распределением оценивались с использованием критерия Манна-Уитни. Статистическое влияние организованного фактора определялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа (one-way ANOVA); при $F > F_{\text{крит}}$ с $p < 0,05$ отклоняли нулевую гипотезу об отсутствии влияния организованного фактора.

Результаты

На рис. 3. представлены относительные изменения показателей функционального состояния (исходный уровень показателей принят за 100%) после четырехнедельной тренировки с ДРС (синие столбики) по отношению к результатам тренировочного процесса у контрольной группы (коричневые столбики). К завершению цикла тренировки у испытуемых основной группы отмечалось достоверное ($p < 0,05$) увеличение дыхательного объема (ДО) — 734 ± 43 мл и 674 ± 46 мл у контрольной. Улучшение функционального состояния испытуемых основной группы отражает динамика $P_{\text{тmax}}$ ($p < 0,05$): $131,09 \pm 11,20$ см вод.ст. у основной группы и $117,1 \pm 10,3$ см вод.ст. у контрольной. У спортсменов основной группы зафиксировано достоверное повышение PWC-170 ($p < 0,05$): $872 \pm 38,4$ кгм/мин (основная группа) и $810 \pm 34,8$ кгм/мин (группа контроля). Динамика максимального потребления кислорода выявила достоверный рост ($p < 0,05$) у представителей основной группы (3104 ± 68 мл/мин) относительно более низких значений МПК у контрольной (2303 ± 72 мл/мин). Частота дыханий (ЧД) у спортсменов основной группы к 4-й неделе цикла тренировки была ниже ($14,3 \pm 3,0$ мин⁻¹), нежели у представителей группы контроля ($16,1 \pm 2,9$ мин⁻¹), но это различие недостоверно ($p > 0,05$). Недостоверно отличались показатели жизненной емкости легких, хотя ис-

пытуемые основной группы демонстрировали более высокие значения ($3,52 \pm 0,32$ л) относительно значений ЖЕЛ группы контроля ($3,40 \pm 0,36$ л, $p > 0,05$).

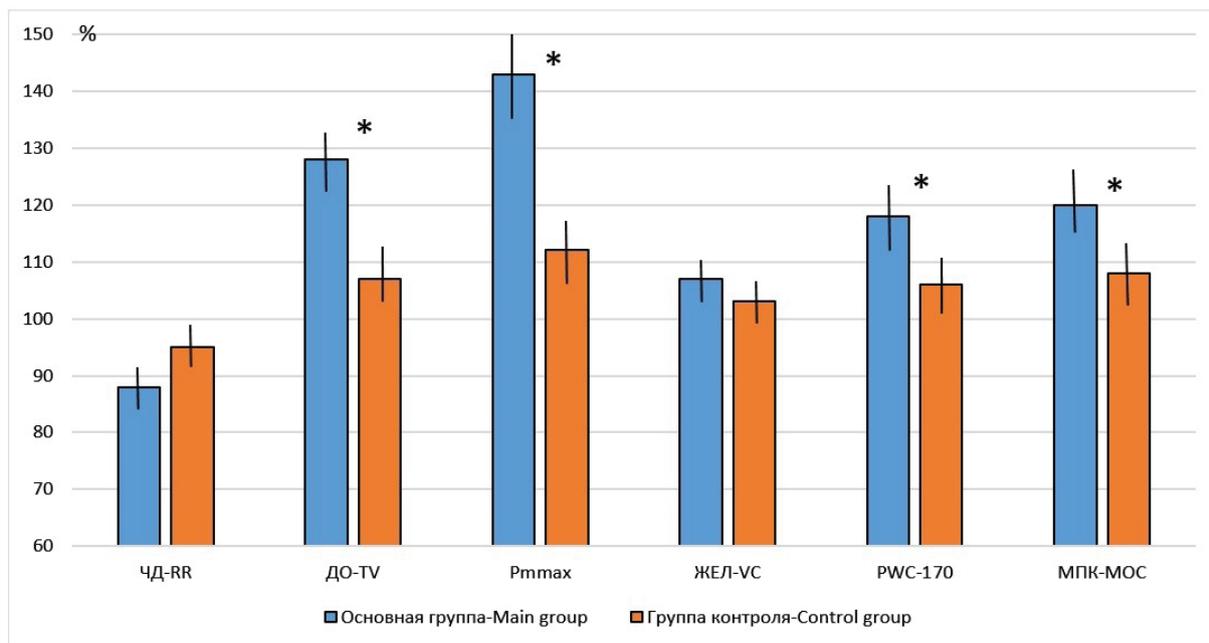


Рис. 3. Относительные изменения функционального состояния испытуемых после тренировок с использованием (синие столбики) и без использования (коричневые столбики) дополнительного респираторного сопротивления. Обозначения функциональных показателей в тексте. Показатели, обозначенные * — $p < 0,05$.

Fig. 3. Relative changes in the functional state of the subjects after training with (blue bars) and without (brown bars) additional respiratory resistance. Designations of functional indicators in the text. Indicators marked * — $p < 0.05$.

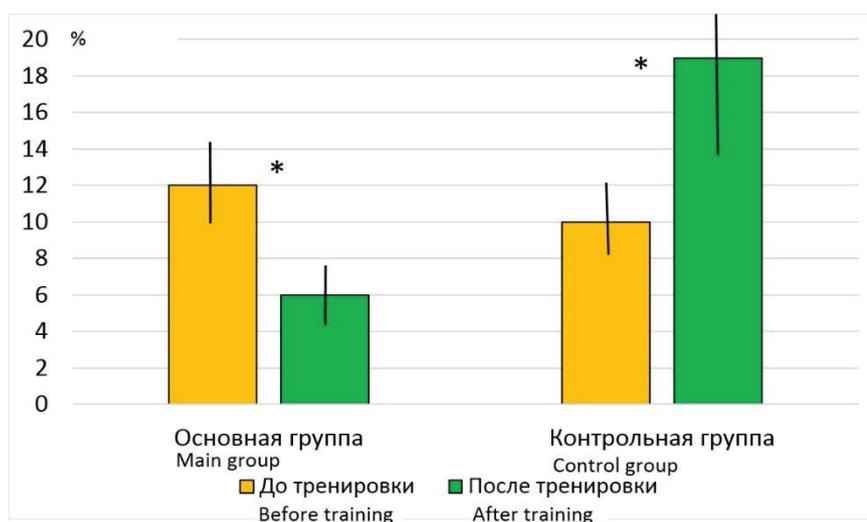


Рис. 4. Динамика скорости изменения кровотока в нижних конечностях (%) у представителей основной и контрольной групп до и после 4-недельной тренировки дыхательной мускулатуры с помощью дополнительного респираторного сопротивления (* — $p < 0,05$).

Fig. 4. Dynamics of the rate of change in blood flow in the lower extremities (%) in representatives of the main and control groups before and after a 4-week training of the respiratory muscles with the help of additional respiratory resistance (* — $p < 0.05$).

На рис. 4. приведены средние значения ($M \pm m$) скорости изменения кровотока (%) у представителей основной и контрольной групп до и после тренировки. Как следует из рисунка 4, скорость изменения кровотока у представителей основной группы на фоне тренировки с ДРС претерпевала

достоверное ($p < 0,05$) снижение с $12,21 \pm 2,14\%$ до $5,97 \pm 2,09\%$. В группе контроля скорость изменения кровотока в нижних конечностях испытывала противоположные изменения в виде увеличения с $10,15 \pm 3,14\%$ до $18,4 \pm 4,43\%$ ($p < 0,05$).

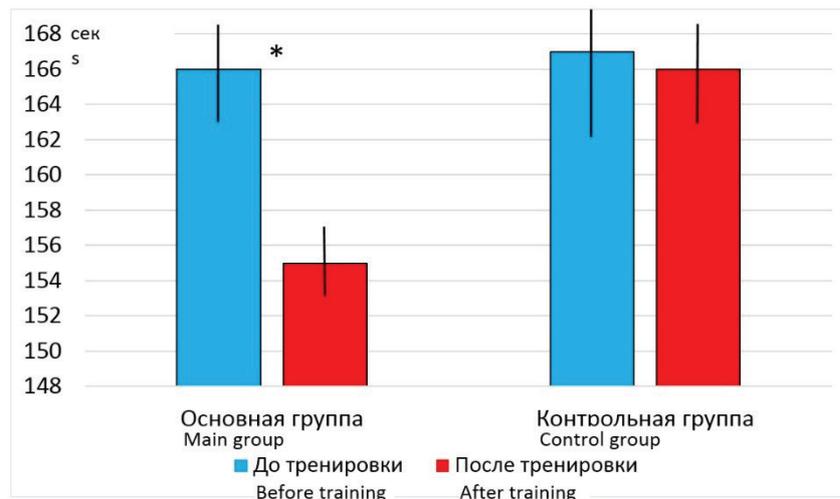


Рис. 5. Изменения времени бега на 800 метров (сек) у представителей основной и контрольной групп до и после 4-недельной тренировки дыхательной мускулатуры с помощью дополнительного респираторного сопротивления (*- $p < 0,05$).

Fig. 5. Dynamics of the rate of change in blood flow in the lower extremities (%) in representatives of the main and control groups before and after a 4-week training of the respiratory muscles with the help of additional respiratory resistance (* - $p < 0.05$).

На рис. 5. представлены показатели времени бега ($M \pm m$) на 800 метров (с) у представителей основной и контрольной групп до и после тренировки дыхательной мускулатуры с помощью дополнительного респираторного сопротивления. Как следует из данных рисунка, у представителей основной группы на фоне тренировки с ДРС отмечалось достоверное ($p < 0,05$) снижение времени бега с $165,97 \pm 6,96$ до $154,75 \pm 5,7$ сек. В группе контроля изменения времени бега на 800 метров до и после тренировки были недостоверны ($p > 0,05$): $166,67 \pm 7,83$ сек до тренировки и $167,60 \pm 8,73$ сек после.

Расчёты статистических показателей влияния организованного фактора «Тренировка дыхательной мускулатуры с помощью ДРС» при проведении однофакторного дисперсионного анализа показали достоверный факторный отклик ряда изучаемых параметров (табл. 2).

Как следует из данных, представленных в табл. 2, получено значительное и статистически достоверное влияние организованного фактора «Тренировка дыхательной мускулатуры с помощью ДРС» на максимальное внутриротовое давление ($F=50,05$; $p=0,000006$), при этом сила влияния организованного фактора на $65,8\%$ определяла изменения измеряемого признака. Этот факт подтверждает существенное влияние тренировки с ДРС на силу дыхательных мышц при проведении теста P_{max} . Несколько меньший факторный отклик наблюдался в отношении скорости изменения кровотока ($F=24,09$; $p=0,000004$), но сила влияния организованного фактора почти наполовину ($48,7\%$) определяла изменение этого показателя. Основной исследуемый нами показатель — время бега на 800 метров, в ходе 4-х недельной тренировки дыхательной мускулатуры с помощью ДРС достоверно изменялся под влиянием организованного фактора — ($F=17,7$; $p=0,0002$), при этом сила влияния организованного фактора на $40,2\%$ определяла изменения измеряемого признака. Полученные результаты заставляют предположить, что тренировка дыхательной мускулатуры с помощью ДРС оказывает существенное влияние на силу дыхательных мышц, скорость изменения кровотока в конечностях и спортивные результаты у бегунов-любителей на 800 м.

Однофакторный дисперсионный анализ влияния организованного фактора «Тренировка дыхательной мускулатуры с помощью ДРС» на ряд изучаемых показателей

Table 2

One-way analysis of variance of the influence of the organized factor «Training of the respiratory muscles with the help of ARR» on a number of studied parameters

Изучаемый показатель Study indicator	Источник вариации Source of Variation	MS	F	P_F	η_F
P _{max} (см H ₂ O)	Между группами / Between groups	3001,293289	50,05449338	0,000006346	65,8
	Внутри групп / Within groups	59,96051676			
Скорость изменения кровотока (%) / Rate of change in blood flow (%)	Между группами/ Between groups	0,166628571	24,09342973	0,00000427	48,7
	Внутри групп/ Within groups	0,006915934			
800-м бег (с) / 800th run (sec)	Между группами/ Between groups	6300,09443	17,76297444	0,000266621	40,5
	Внутри групп/ Within groups	354,6703297			

Обозначения: MS — математическое ожидание факторного отклика; F — критерий Фишера; P_F — вероятность ошибочного суждения о достоверности критерия Фишера; η_F — сила влияния организованного фактора (%).

Designations: MS — mathematical expectation of the factorial response; F — Fisher's criterion; P_F — is the probability of an erroneous judgment about the reliability of the Fisher criterion; η_F — is the power of influence of the organized factor (%).

Обсуждение результатов

Цель этого исследования заключалась в изучении влияния 4-недельной тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на силу дыхательных мышц, скорость изменения кровотока в конечностях и спортивные результаты у бегунов-любителей на 800 м. Наши результаты показали, что 4-недельная тренировка с помощью ДРС значительно увеличивает P_{max} и улучшает показатели бега на 800 м, а также снижает скорость изменения кровотока в конечностях.

Согласно нашим результатам, опытная группа повышала P_{max} с 112,95±8,13 см. вод. ст. до 131,09±11,20 см. вод. ст. ($p<0,05$), в то время как в контрольной группе достоверных изменений не отмечалось. В одном из метаанализов было установлено, что тренировка дыхательных мышц повышает P_{max}, особенно при упражнениях на выносливость [20]. Дистанция 800 м — это вид спорта, который включает в себя как аэробные, так и анаэробные упражнения [14]. Достаточно подробный обзор [20] показал, что период от 4 до 12 недель является наиболее оптимальной продолжительностью для тренировки дыхательных мышц. В нашем исследовании 4 недели тренировок с ДРС величиной 40, 60, 70 и 80% P_{max} вызывали устойчивые улучшения P_{max}. Данные результаты согласуются с некоторыми предыдущими исследованиями. В работе [21] исследовались высококвалифицированные спортсмены, которые могли быстро освоить навыки тренировки дыхательных мышц и для достижения спортивного прогресса требовалась градация ДРС на уровне 50%P_{max} и 4 недели тренировок. В других исследованиях бегунам-любителям для улучшения результата потребовалось 6–8 недель, при этом тренировочный эффект достигался при интенсивности ДРС выше 80% P_{max} [1, 15]. Этот факт может указывать на то, что бегуну-любителю, в отличие от профессионала высокой квалификации, требуется больше времени и интенсивности тренировок, чтобы освоить навык тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС.

Настоящим исследованием установлен факт уменьшения изменений скорости кровотока в конечностях с 12,21±2,14% до 5,97±2,09% ($p<0,05$) в основной группе после тренировочной программы с ДРС. Напротив, в контрольной группе этот показатель увеличился с 10,15±3,14% до 18,4±4,43% ($p<0,05$). Этот факт является свидетельством того, что тренировка с помощью ДРС увеличивает

ет функцию дыхательных мышц и стабилизирует объемную скорость кровотока нижних конечностях. Известно, что интенсивные мышечные нагрузки могут привести к сужению сосудов в двигательных мышцах [22] и усугубить их утомление. Сопутствующая двигательная активность дыхательных мышц обеспечивает увеличение венозного оттока из системы нижней полой вены, тем самым формируя повышенную скорость кровотока в мышцах нижних конечностей, и определяя более высокие спортивные результаты [8]. Таким образом, мы обнаружили, что возрастающая интенсивность тренировки дыхательных мышц оказывала стабилизирующий эффект на величину кровотока нижних конечностей.

Во время бега задействованы основные дыхательные мышцы, в том числе диафрагма [17]. При тренировке дыхательных мышц с помощью ДРС величиной от 40 до 80% P_{max} , диафрагма может увеличить вертикальное движение в грудной клетке, что способствует венозному оттоку из сосудов нижних конечностей и снижает негативное влияние феномена метаболического рефлекса с дыхательных мышц [23]. Это означает, что тренировка с возрастающей интенсивностью ДРС ослабляла метаболический рефлекс и стабилизировала величину кровотока в нижних конечностях у бегунов-любителей.

Достоверное улучшение показателей бега на 800 метров с $162,97 \pm 24,96$ с до $156,75 \pm 20,73$ с наблюдалось только в основной группе испытуемых, проводивших тренировки с ДРС. Аналогичные данные получены другими исследователями. В частности, Nicks, C.R. et al. [24], провели 5-недельную тренировку дыхательных мышц с помощью ДРС у футболистов и проверили их физическую форму с помощью теста прерывистого восстановления. При этом производительность основных эффекторов была значительно улучшена. Аналогичные результаты были получены при 4-недельной и 6-недельной тренировке дыхательных мышц с помощью ДРС [25, 26]. Проведенный нами обзор также продемонстрировал положительное влияние тренировки дыхательной мускулатуры с помощью ДРС на физическую работоспособность [27]. Таким образом, результаты настоящего исследования показали, что тренировка дыхательных мышц с помощью ДРС эффективна не только для упражнений на выносливость, но и для смешанных форм упражнений (как аэробных, так и анаэробных).

Выводы

1. Тренировка дыхательной мускулатуры с помощью дополнительного респираторного сопротивления оказывает существенное влияние на силу дыхательных мышц, скорость изменения кровотока в конечностях и спортивные результаты у бегунов-любителей на 800 м.
2. Четырехнедельная тренировка с помощью дополнительного респираторного сопротивления вызывает достоверное увеличение дыхательного объема, максимального внутриротового давления, физической работоспособности, максимального потребления кислорода.
3. Скорость изменения кровотока у испытуемых, тренировавших дыхательную мускулатуру с помощью дополнительного респираторного сопротивления претерпевала достоверное снижение, в то время как в группе контроля скорость изменения кровотока увеличивалась.
4. Четырехнедельная тренировка с помощью дополнительного респираторного сопротивления вызывает достоверное снижение времени бега на дистанции 800 метров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mickleborough, T.D.; Stager, J.M.; Chatham, K.; Lindley, M.R.; Ionescu, A.A. Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2008; 103:635–646.
2. West, J.B. *Respiratory Physiology: The Essentials*, 7th ed.; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2004.
3. St. Croix, C.M.; Morgan, B.J.; Wetter, T.J.; Dempsey, J.A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J. Physiol.* 2000; 529:493–504.
4. Dempsey, J.A.; Romer, L.; Rodman, J.; Miller, J.; Smith, C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2006; 151:242–250.
5. Sheel, A.W.; Derchak, P.A.; Morgan, B.J.; Pegelow, D.F.; Jacques, A.J.; Dempsey, J.A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J. Physiol.* 2001; 537:277–289.

6. Markus, A. Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Exp. Physiol.* 2012; 93:311–318.
7. Romer, L.M.; Lovering, A.T.; Haverkamp, H.C.; Pegelow, D.F.; Dempsey, J.A. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J. Physiol.* 2006; 571:425–439.
8. Romer, L.M.; Haverkamp, H.C.; Lovering, A.T.; Pegelow, D.F.; Dempsey, J.A. Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr Comp. Physiol.* 2006; 290:365–375.
9. Powers, S.K.; Howley, E.T. *Exercise Physiology: Theory and Application To fitness and Performance*, 10th ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 2017.
10. Johnson, M.A.; Sharpe, G.R.; Brown, P.I. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007; 101:761–770.
11. Romer, L.M.; McConnell, A.K.; Jones, D. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: Effects of inspiratory muscle training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002; 34:785–792.
12. Kilding, A.E.; Brown, S.; McConnell, A.K. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010; 108:505–511.
13. Volianitis, S.; McConnell, A.K.; Koutedakis, Y.; McNaughton, L.; Backx, K.; Jones, D.A. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001; 33:803–809.
14. Brown, S.; Kilding, A.E. Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: The effect of race distance. *J. Strength Cond. Res.* 2011; 25:1204–1209.
15. Kwok, T.M.K.; Jones, A.Y.M. Target-flow Inspiratory Muscle Training Improves Running Performance in Recreational Runners: A Randomized Controlled Trial. *Hong Kong Physiother. J.* 2009; 27:48–54.
16. Brown, E. Running strategy of female middle distance runners attempting the 800 m and 1500 m “Double” at a major championship: A performance analysis and qualitative investigation. *Int. J. Perform. Anal. Sport* 2005; 5:73–88.
17. Ohya, T.; Yamanaka, R.; Hagiwara, M.; Oriishi, M.; Suzuki, Y. The 400- and 800-m Track Running Induces Inspiratory Muscle Fatigue in Trained Female Middle-Distance Runners. *J. Strength Cond. Res.* 2016; 30:1433–1437.
18. Васенков Н.В., Мухаметсафин Р.С., Сунгатуллин Р.И. Насосная функция сердца при резко усиленной двигательной активности. *Успехи современной науки.* 2017, 5(1):18–21.
19. Hanon, C.; Thomas, C.; Chevalier, J.-M.L.; Gajer, B.; Vandewalle, H. How does VO₂ evolve during the 800 m? *New Studies in Athletics. IAAF* 2002; 17:61–68.
20. HajGhanbari, B.; Yamabayashi, C.; Buna, T.R.; Coelho, J.D.; Freedman, K.D.; Morton, T.A.; Palmer, S.A.; Toy, M.A.; Walsh, C.; Sheel, A.W.; et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *J. Strength Cond. Res.* 2013; 27:1643–1663.
21. Bailey, S.J.; Romer, L.M.; Kelly, J.; Wilkerson, D.P.; DiMenna, F.J.; Jones, A.M. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *J. Appl. Physiol.* 2010; 109:457–468.
22. Harms, C.A.; Babcock, M.A.; McClaran, S.R.; Pegelow, D.F.; Nিকেle, G.A.; Nelson, W.B.; Dempsey, J.A. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1997; 82:1573–1583.
23. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Физиологические механизмы резистивного дыхания человека. 2018; 412. - ISBN 978-5-6041754-4-6.
24. Nicks, C.R.; Morgan, D.W.; Fuller, D.K.; Caputo, J.L. The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *Int. J. Sports Med.* 2009; 30:16–21.
25. Tong, T.K.; Fu, F.H.; Chung, P.K.; Eston, R.; Lu, K.; Quach, B.; Nie, J.; So, R. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2008; 33:671–681.
26. Tong, T.K.; Fu, F.H.; Eston, R.; Chung, P.K.; Quach, B.; Lu, K. Chronic and acute inspiratory muscle loading augment the effect of a 6-week interval program on tolerance of high-intensity intermittent bouts of running. *J. Strength Cond. Res.* 2010; 24:3041–3048.

27. Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С. Влияние дополнительного респираторного сопротивления на толерантность к физической нагрузке. Технологии живых систем. 2022; 19 (2):57-69.

Авторы

Бяловский Юрий Юльевич
Доктор медицинских наук, профессор
Заведующий кафедрой патофизиологии
b_uu@mail.ru

Ракитина Ирина Сергеевна
Кандидат медицинских наук
Доцент кафедры патофизиологии

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Рязань, Российская Федерация

Yu. Yu. Byalovsky, I.S. Rakitina

THE EFFECT OF TRAINING WITH ADDITIONAL RESPIRATORY RESISTANCE ON THE RESULTS OF MIDDLE DISTANCE RUNNING

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russian Federation

Abstract. Fatigue of the respiratory muscles is one of the important factors that limit athletic performance due to reduced blood flow to the extremities. Additional respiratory resistance (ARR) can effectively improve respiratory muscle endurance and reduce fatigue during long-term exercise or aerobic exercise, thereby enhancing athletic performance. *The aim of the study* was to study the effect of 4-week respiratory muscle training using ARR on the strength of the respiratory muscles, the rate of change in blood flow in the limbs, and athletic performance in 800 m amateur runners. **Methods.** Twenty healthy 800m runners were randomized into an experimental group (11 people) and a control group (9 people). ARR training consisted of 30 breaths twice a day, 5 days a week, at an intensity of 40%, 60%, 70%, and 80% of maximum inspiratory pressure (P_{imax}) for 4 weeks, while the control group trained with ARR was not used. The initial measured variables were the 800 m running test, the rate of change in blood flow in the limbs, external respiration, physical performance, and maximum oxygen consumption. All measured variables were assessed before and after 4 weeks of training with ARR. Statistical analysis was performed using a one-way ANOVA test of variance. **Results:** after completing the training program with ARR, the experimental group significantly reduced the rate of change in blood flow in the limbs from 12.21±2.14% to 5.97±2.09% (p<0.05). An increase in tidal volume was noted — 734±43 ml in the main group and 674±46 ml in the control group; increase in maximum intraoral pressure — 131.09±11.20 cm w.g. in the main group and 117.1±10.3 cm w.g. at the control; a significant increase in PWC-170 — 872±38.4 kGm/min (main group) and 810±34.8 kGm/min (control group), as well as an increase in maximum oxygen consumption in representatives of the main group (3104±68 ml/min) relatively lower values in the control (2303±72 ml/min). The 800 m running test showed the acceleration of running from 165.97±6.96 to 154.75±5.7 sec. But the control group did not undergo significant changes in the 800 m running test. **Conclusion:** our results showed that 4-week training with ARR (twice a day, 5 days a week) significantly increased tidal volume, maximum intraoral pressure, physical performance, maximum oxygen consumption, 800m running efficiency and reduces the rate of change in blood flow in the limbs.

Keywords: additional respiratory resistance, respiratory muscle strength, 800 run

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Yury Yu. Byalovsky

b_uu@mail.ru

Received 13.01.2023

For citation:

Byalovsky Yu.Yu., Rakitina I.S. The effect of training with additional respiratory resistance on the results of middle distance running. [Online] *Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science*. 2023, Vol. 20, no. 1-2, pp. 75–87. DOI: 10.22138/2500-0918-2023-20-1-75-87 (In Russ)

REFERENCES

1. Mickleborough, T.D.; Stager, J.M.; Chatham, K.; Lindley, M.R.; Ionescu, A.A. Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2008; 103:635–646.
2. West, J.B. *Respiratory Physiology: The Essentials*, 7th ed.; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2004.
3. St. Croix, C.M.; Morgan, B.J.; Wetter, T.J.; Dempsey, J.A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *J. Physiol.* 2000; 529:493–504.
4. Dempsey, J.A.; Romer, L.; Rodman, J.; Miller, J.; Smith, C. Consequences of exercise-induced respiratory muscle work. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2006; 151:242–250.
5. Sheel, A.W.; Derchak, P.A.; Morgan, B.J.; Pegelow, D.F.; Jacques, A.J.; Dempsey, J.A. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *J. Physiol.* 2001; 537:277–289.
6. Markus, A. Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Exp. Physiol.* 2012; 93:311–318.
7. Romer, L.M.; Lovering, A.T.; Haverkamp, H.C.; Pegelow, D.F.; Dempsey, J.A. Effect of inspiratory muscle work on peripheral fatigue of locomotor muscles in healthy humans. *J. Physiol.* 2006; 571:425–439.
8. Romer, L.M.; Haverkamp, H.C.; Lovering, A.T.; Pegelow, D.F.; Dempsey, J.A. Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr Comp. Physiol.* 2006; 290:365–375.
9. Powers, S.K.; Howley, E.T. *Exercise Physiology: Theory and Application To fitness and Performance*, 10th ed.; McGraw-Hill: New York, NY, USA, 2017.
10. Johnson, M.A.; Sharpe, G.R.; Brown, P.I. Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2007; 101:761–770.
11. Romer, L.M.; McConnell, A.K.; Jones, D. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: Effects of inspiratory muscle training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2002; 34:785–792.
12. Kilding, A.E.; Brown, S.; McConnell, A.K. Inspiratory muscle training improves 100 and 200 m swimming performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 2010; 108:505–511.
13. Volianitis, S.; McConnell, A.K.; Koutedakis, Y.; McNaughton, L.; Backx, K.; Jones, D.A. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 2001; 33:803–809.
14. Brown, S.; Kilding, A.E. Exercise-induced inspiratory muscle fatigue during swimming: The effect of race distance. *J. Strength Cond. Res.* 2011; 25:1204–1209.
15. Kwok, T.M.K.; Jones, A.Y.M. Target-flow Inspiratory Muscle Training Improves Running Performance in Recreational Runners: A Randomized Controlled Trial. *Hong Kong Physiother. J.* 2009; 27:48–54.
16. Brown, E. Running strategy of female middle distance runners attempting the 800 m and 1500 m “Double” at a major championship: A performance analysis and qualitative investigation. *Int. J. Perform. Anal. Sport* 2005; 5:73–88.
17. Ohya, T.; Yamanaka, R.; Hagiwara, M.; Oriishi, M.; Suzuki, Y. The 400- and 800-m Track Running

Induces Inspiratory Muscle Fatigue in Trained Female Middle-Distance Runners. *J. Strength Cond. Res.* 2016; 30:1433–1437.

18. Vasenkov N.V., Mukhametsafin R.S., Sungatullin R.I. Pumping function of the heart with a sharply increased motor activity. *Uspekhi sovremennoj nauki.* 2017, 5(1):18–21(in Russian).

19. Hanon, C.; Thomas, C.; Chevalier, J.-M.L.; Gajer, B.; Vandewalle, H. How does VO₂ evolve during the 800 m? *New Studies in Athletics. IAAF 2002;* 17:61–68.

20. HajGhanbari, B.; Yamabayashi, C.; Buna, T.R.; Coelho, J.D.; Freedman, K.D.; Morton, T.A.; Palmer, S.A.; Toy, M.A.; Walsh, C.; Sheel, A.W.; et al. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *J. Strength Cond. Res.* 2013; 27:1643–1663.

21. Bailey, S.J.; Romer, L.M.; Kelly, J.; Wilkerson, D.P.; DiMenna, F.J.; Jones, A.M. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *J. Appl. Physiol.* 2010; 109:457–468.

22. Harms, C.A.; Babcock, M.A.; McClaran, S.R.; Pegelow, D.F.; Nickle, G.A.; Nelson, W.B.; Dempsey, J.A. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1997; 82:1573–1583.

23. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V. Physiological mechanisms of human resistive respiration. 2018; p.412. - ISBN 978-5-6041754-4-6 (in Russian).

24. Nicks, C.R.; Morgan, D.W.; Fuller, D.K.; Caputo, J.L. The influence of respiratory muscle training upon intermittent exercise performance. *Int. J. Sports Med.* 2009; 30:16–21.

25. Tong, T.K.; Fu, F.H.; Chung, P.K.; Eston, R.; Lu, K.; Quach, B.; Nie, J.; So, R. The effect of inspiratory muscle training on high-intensity, intermittent running performance to exhaustion. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2008; 33:671–681.

26. Tong, T.K.; Fu, F.H.; Eston, R.; Chung, P.K.; Quach, B.; Lu, K. Chronic and acute inspiratory muscle loading augment the effect of a 6-week interval program on tolerance of high-intensity intermittent bouts of running. *J. Strength Cond. Res.* 2010; 24:3041–3048.

27. Byalovsky Yu.Yu., Rakitina I.S. Influence of additional respiratory resistance on exercise tolerance. *Tekhnologii zhivyyh sistem* 2022; 19 (2): 57-69 (In Russian).

Authors

Yury. Yu. Byalovsky

Dr. Sc. Med., Professor

Head of the Department of Pathophysiology

b_uu@mail.ru

Irina S. Rakitina

PhD Med

Assistant professor

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov» of the Ministry of Health of the Russian Federation
Ryazan, Russian Federation