Дата публикации: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_33
УДК 613.735; 612.2

Publication date: 01.03.2023
DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_33
UDC 613.735; 612.2

ЭФФЕКТЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ТРЕНИРОВКИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕСПИРАТОРНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ДЛИТЕЛЬНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ

Ю.Ю. Бяловский, И.С. Ракитина
ФГОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения РФ, г. Рязань, Россия

Аннотация. Целью исследования являлась оценка физиологических эффектов комбинированной тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением (ДРС) и длительной физической нагрузкой. Выявлено, что в группе комбинированной тренировки с ДРС вентиляционный порог, максимальная велоэргометрическая нагрузка в нагрузочных тестах и максимальная произвольная вентиляция достоверно увеличились после тренировки ($p<0,05$). В контрольной группе ни одна из этих переменных существенно не изменилась ($p>0,05$). Таким образом, комбинированная тренировка с ДРС и продолжительной физической нагрузкой эффективна для повышения выносливости и функции дыхательных мышц.
Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление, физическая выносливость.

EFFECTS OF COMBINED TRAINING WITH ADDITIONAL RESPIRATORY RESISTANCE AND LONG-TERM PHYSICAL LOADS

Yu.Yu. Byalovskij, I.S. Rakitina
Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

Annotation. The aim of the study was to evaluate the physiological effects of combined training with additional respiratory resistance (ARR) and prolonged exercise. It was found that in the group of combined training with ARR and physical activity, the ventilation threshold, the maximum cycloergometric load in exercise tests and the maximum voluntary ventilation significantly increased after training ($p<0.05$). None of these variables changed significantly in the control group ($p>0.05$). Thus, combined training with ARR and sustained physical activity is effective in improving endurance and respiratory muscle function.
Keywords: additional respiratory resistance, physical endurance.

Введение. Максимальное потребление кислорода (VO_{2max}) и порог вентиляции (VT) отражают способность к выносливости к физическим нагрузкам [1-3], и их улучшение полезно для здоровья [4-6]. На сегодняшний день рекомендовано множество различных методов тренировок для повышения физической выносливости с изучением эффективности этих методов. Известно, что ритмичные физические упражнения, такие как бег или езда на велосипеде, приводят к улучшению VO_{2max} (максимальное потребление кислорода) и VT [3].

Выносливость мышц к физическим нагрузкам зависит от кардиореспираторной функции, и по этой причине в последнее время наблюдается значительный интерес к взаимосвязи между тренировкой дыхательной мускулатуры, направленной на улучшение дыхательной функции, и перфузионной деятельности сердечно-сосудистой системы. В некоторых исследованиях сообщается, что тренировка инспираторных мышц улучшает кардиореспираторную функцию у пациентов с ослабленными дыхательными мышцами и у здоровых взрослых [7-11], в то время как в других

исследованиях данный эффект не наблюдался [12-15]. Было показано, что физические упражнения в условиях гипоксии весьма эффективны для повышения выносливости [16], но во время этого типа тренировки на фоне возвратного дыхания технически сложно предъявлять дополнительное респираторное сопротивление (ДРС). Тренировочный метод, решающий эти проблемы и эффективно повышающий выносливость и функцию дыхательных мышц, был бы полезен не только для здоровых молодых людей, но и для пожилых и больных, страдающих некоторыми заболеваниями. Однако до настоящего времени не исследована возможная эффективность комбинированных тренировок с ДРС и длительной физической нагрузкой, при которых ритмичная физическая нагрузка сочетается с приложением резистивной дыхательной нагрузки.

Целью исследования являлась оценка физиологических эффектов комбинированной тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением и длительной физической нагрузкой.

Методы и организация исследований. В качестве испытуемых выступили 56 здоровых людей (30 мужчин, 26 женщин; средний возраст – 23,1±3,6 лет), разделенные случайным образом на две группы: основная группа комбинированной тренировки на велоэргометре с портативным дыхательным тренажером, обеспечивающим дозированное ДРС (18 мужчин, 17 женщин); и контрольная группа, проводившая занятия на велоэргометре без дыхательного тренажера ДРС (12 мужчин, 9 женщин). Все испытуемые выполняли тренировку в течение 6 недель, при этом до и после тренировочного периода проводились антропометрические измерения, тесты функции дыхания и тесты с физической нагрузкой. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета, и испытуемые дали информированное согласие на участие после изучения деталей исследования.

Обе группы испытуемых провели три двухнедельных курса тренировок, всего на протяжении 6 недель. Интенсивность тренировки устанавливалась с использованием метода резерва частоты сердечных сокращений ($ЧСС_{рез}$) [17]. Значение $ЧСС_{рез}$ рассчитывается путем вычитания частоты сердечных сокращений в состоянии покоя ($ЧСС_{покоя}$) из максимальной частоты сердечных сокращений ($ЧСС_{макс}$). Целевая частота сердечных сокращений ($ЧСС_{цел.}$) при физической нагрузке рассчитывалась по формуле:

$$ЧСС_{цел.} = [(ЧСС_{макс} – ЧСС_{покоя}) \times \% \text{ интенсивности}] + ЧСС_{покоя}$$

$ЧСС_{цел}$ составляла 75% ЧСС во время первого курса, 80% ЧСС во время второго курса и 85% ЧСС во время третьего курса. $ЧСС_{макс}$ рассчитывали по формуле $ЧСС_{макс} = 220 – возраст$ [3]. Кратность упражнений составляла три раза в неделю, при этом контрольная группа выполняла упражнения на велоэргометре в течение 30 минут с нагрузкой, которая поддерживала $ЧСС_{цел.}$ Частота вращения педалей составляла 60 об/мин. Основная группа для моделирования ДРС использовала дыхательный тренажер Int. Air. Medical (БУРГЕН Бресс, Франция, рис.) и тренировалась с той же $ЧСС_{цел}$, что и контрольная группа. Тренажер Int. Air. Medical представляет собой устройство, у которого вдох осуществляется через мундштук (1), при этом поток воздуха формируется клапаном «вдоха» (2) и регулятором (3). ДРС регулировалось с помощью положения регулятора (3) за счет изменения площади сечения канала вдоха [18]. В основной группе испытуемых ДРС предъявлялось в виде инспираторной резистивной дыхательной нагрузки величиной 40% P_{mmax}.

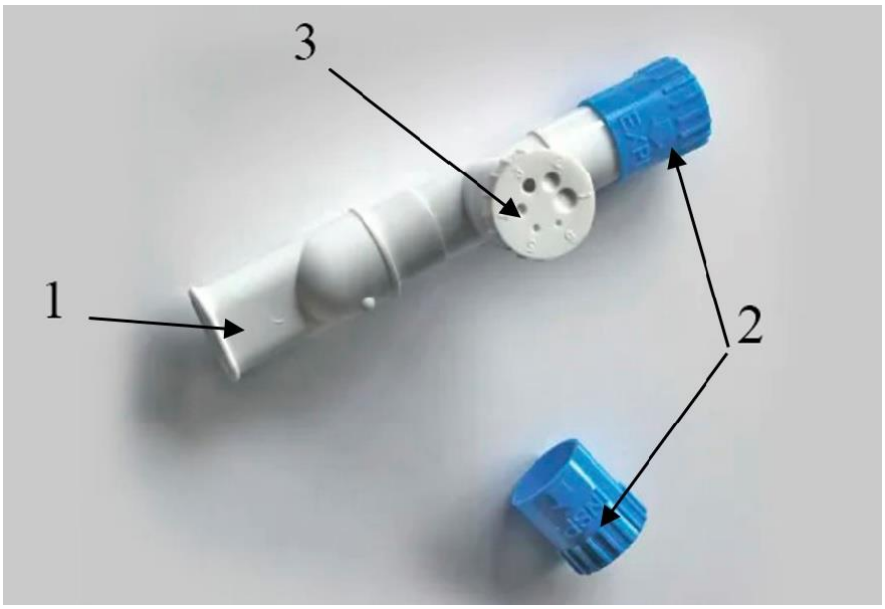


Рис. Портативный дозатор резистивных дыхательных нагрузок Int. Air. Medical

Примечание: 1 – мундштук; 2 – клапан вдоха; 3 – регулятор дополнительного респираторного сопротивления

Нагрузку на велоэргометре и величину ее субъективного восприятия регистрировали непосредственно после окончания тренировки. Для оценки величины воспринимаемой физической нагрузки использовали модифицированную шкалу Борга в диапазоне от 0 до 10 ед. [19]. Измерялись рост, вес, процентное содержание жира в организме, мышечная масса и окружность талии. Вес, процент телесного жира и мышечную массу измеряли с помощью электронных весов с модулем биоимпедансометрии InnerScan 50V (Tanita Co., Япония). Тесты максимальной физической нагрузки проводились с использованием велоэргометра Ритм-ВЭ-05 (Россия). Измерения дыхательного метаболизма с расчетом VO_{2max} осуществлялись с помощью спироанализатора Spirolab III SpO_2 (Италия). Измерение VCO_{2max} (максимальное выделение углекислого газа) осуществляли с помощью ультразвукового спирокапнометра Spiro Scout (Германия).

Для измерения максимального потребления кислорода испытуемые отдыхали в течение 3-х минут, а затем «разогревались» в течение 3-х минут на минимальной величине физической нагрузки (мужчины – 25 Вт, женщины – 15 Вт), после чего следовали упражнения с линейной нагрузкой (мужчины – 25 Вт/мин, женщины – 15 Вт/мин) до тех пор, пока либо не прекращалось дальнейшее увеличение потребления кислорода, либо испытуемый не достигал полного утомления и не мог продолжать нагрузку. После пробы с линейной нагрузкой испытуемые в течение 3 мин вновь работали на минимальной нагрузке (мужчины – 25 Вт, женщины – 15 Вт). Частота вращения педалей была постоянной и составляла 60 об/мин. Расчет VT определяли методом V-образного наклона [20].

Жизненную емкость легких (ЖЕЛ), форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ) и максимальную произвольную вентиляцию легких (МВЛ) измеряли с помощью спироанализатора Spirolab III SpO_2. ЖЕЛ и ФЖЕЛ измеряли дважды, значения проверяли, чтобы убедиться, что погрешность измерения между ними составляет менее 10%, и принимали большее значение. Если погрешность измерения превышала 10%, измерения повторялись до тех пор, пока погрешность не превышала 10%. МВЛ измеряли три раза, и принимали наибольшее

значение. Максимальное внутриротовое давление на вдохе (P_{Immax}) и максимальное ротовое давление на выдохе (P_{Emmax}) измеряли с помощью мановакуумметра WIKA-2-75 (Польша). Каждое измерение производилось трижды, бралось наибольшее значение.

Все статистические процедуры по обработке полученных данных проводились с использованием программного обеспечения SPSS (версия статистики SPSS 17). Данные были проверены на нормальность с использованием критерия Шапиро-Уилка и гомогенность дисперсии тестом Левена. Парный t-критерий Стьюдента или знаковый ранговый критерий Уилкоксона в случаях ненормальности использовались для сравнения исходных значений всех показателей до тренировки с их значениями через 6 недель в каждой группе. Непарный t-критерий или критерий Уилкоксона в случаях ненормальности использовали для сравнения результатов основной группы с ДРС и контрольной группы.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены исходные показатели испытуемых основной группы с ДРС и контрольной группы.

Таблица 1

Исходные показатели испытуемых основной группы с применением дополнительного респираторного сопротивления и контрольной группы

Показатель	Группа с ДРС (n=35)	Контрольная группа (n=21)	p-значение
Возраст (лет)	22,8±3,4	23,5±4,1	0,42
Пол (М/Ж)	18/17	12/9	0,18
Рост (см)	165,2±8,7	164,3±7,5	0,54
Вес (кг)	58,4±5,7	57,7±6,2	0,62
Индекс массы тела (кг/м^2)	21,4±1,0	21,7±0,7	0,47
Процент жира в организме (%)	21,5±3,4	20,9±2,8	0,52
Мышечная масса (кг)	43,4±4,8	42,8±3,9	0,61
Окружность талии (см)	71,2±4,3	70,8±3,9	0,68
Исходный VO_{2max} (мл/кг/мин)	34,3±3,1	33,6±3,6	0,46
Вентиляционный порог VT (мл/кг/мин)	20,3±2,1	20,1±2,6	0,59

Примечание: представлено среднее значение±ошибка средней

Как следует из результатов оценки межгрупповых различий исходных показателей между основной группой, тренировавшейся с ДРС, и контрольной группой обнаружено не было (табл. 1).

В таблице 2 приведена динамика объективных значений физической нагрузки (Вт) и ее субъективного ощущения у испытуемых основной и контрольной групп на протяжении трех курсов тренировки. Как следует из представленных данных, на первом курсе тренировок среднее значение физической нагрузки у испытуемых основной группы (107,2±5,9 Вт) было меньше, чем в контрольной группе (118,1±7,4 Вт; $p<0,05$), а ее субъективное восприятие по шкале Борга в основной группе, напротив, было больше, чем в контрольной группе (8,3±0,4 и 6,4±0,5 ед.; $p<0,05$). На третьем курсе тренировки соотношение объективных и субъективных показателей физической нагрузки в рассматриваемых группах изменялось: нагрузка в основной группе с ДРС (133,2±5,8 Вт) была достоверно выше, чем в контрольной (122,7±4,8 Вт; $p<0,05$), при этом различия в субъективном восприятии нагрузки по шкале Борга были недостоверны (8,8±0,3 и 7,3±0,3 ед.; $p>0,05$). Подобная динамика объективных и субъективных показателей нагрузки, по-видимому, обусловлена тренирующим эффектом ДРС. Средняя нагрузка во время тренировки для трех курсов составила 121,1±4,2 Вт в контрольной группе и 118,1±4,5 Вт в группе с ДРС ($p>0,05$). Среднее значение восприятия нагрузки

по шкале Борга составило 7,1±03 ед. в контрольной группе и 8,4±0,2 ед. в группе с ДРС (p>0,05, табл. 2).

Антропометрические и кардиореспираторные параметры в исходном состоянии и через 6 недель тренировки у испытуемых основной и контрольной группы представлены в таблице 3.

Таблица 2

Объективная и субъективная нагрузка испытуемых основной группы с применением дополнительного респираторного сопротивления и контрольной группы при проведении велоэргометрии

Показатель	Группа с ДРС (n=35)		Контрольная группа (n=21)		p-нагр.	p-Борга.
	Нагрузка, Вт	Шкала Борга, ед.	Нагрузка, Вт	Шкала Борга, ед.		
1 курс	107,2±5,9	8,3±0,4	118,1±7,4	6,4±0,5	0,04	0,03
2 курс	113,7±4,6	8,2±0,3	119,7±6,1	6,7±0,4	0,12	0,07
3 курс	133,2±5,8	8,8±0,3	122,7±4,8	7,3±0,3	0,03	0,12
среднее 1-3 курсов	118,1±4,5	8,4±0,2	121,1±4,2	7,1±03	0,23	0,13

Примечание: представлено среднее значение ± ошибка средней. Субъективная оценка воспринимаемой нагрузки по модифицированной шкале Борга (0-10) осуществлялась в отношении значения нагрузки непосредственно перед окончанием тренировки для каждого тренировочного курса

Таблица 3

Антропометрические и кардиореспираторные параметры в исходном состоянии и через 6 недель тренировки основной и контрольной группы

Показатель Index	Группа с ДРС (n=35)		Контрольная группа (n=21)	
	Исх.	6 нед.	Исх.	6 нед.
ИМТ (кг/м^2)	21,5±0,7	21,3±0,8	21,2±0,4	21,3±0,3
Вес (кг)	58,7±3,1	57,3±3,8	57,8±3,2	56,2±2,9
Процент жира в организме (%)	20,8±2,7	18,3±2,1	20,4±2,0	19,9±2,7
Мышечная масса (кг)	43,1±3,8	44,2±3,6	42,1±3,1	42,8±2,8
Окружность талии (см)	70,4±2,6	68,9±2,5	70,9±2,1	70,2±2,2
ЖЕЛ (л)	4,1±0,3	4,4±0,4	4,0±0,6	4,2±0,8
%ЖЕЛ (%)	113,0±4,2	116,1±4,0	110,2±4,9	116,3±4,2
ФЖЕЛ (л)	4,2±0,2	4,3±0,3	4,1±0,6	4,2±0,3
%ФЖЕЛ (%)	112,7±5,1	114,2±4,3	110,5±5,8	116,3±4,8
ОФВ$_1$ (л)	3,6±0,3	3,7±0,5	3,5±0,8	3,6±0,4
ОФВ$_{1\%}$ (%)	87,3±3,1	89,5±3,4	86,7±3,2	88,5±2,6
МВЛ (л/мин)	112,3±12,2	133,4±13,7*	140,2±16,5	132,6±16,4
P_{Immax} (см H_2O)	87,3±6,9	97,1±7,3	90,1±9,3	93,2±8,9
P_{Emmax} (см H_2O)	107,3±12,2	115,1±12,4	110,1±12,3	113,2±9,3
Максимальная нагрузка (Вт)	197,4±19,5	221,6±21,3**	188,2±22,0	205,2±19,4
VO_{2max} (мл/мин/кг)	34,1±3,4	43,2±4,2 *	30,2±2,7	38,4±3,2 *
VCO_{2max} (мл/мин/кг)	46,2±4,2	56,6±4,7 *	44,8±4,3	52,1±4,6 *
$VE_{пик}$ (л/мин)	105,8±20,7	114,1±21,3	97,7±16,3	105,3±18,6
ЧСС$_{макс}$ (уд/мин)	185,3±3,3	189,2±2,4	183,1±5,6	185,4±4,3
ЧДД$_{пик}$ (д/мин)	42,3±3,2	43,2±4,4	43,3±3,9	45,8±2,7
$Tv_{пик}$ (л)	2,21±0,26	2,39±0,29	2,03±0,34	2,08±0,30
$VE/VO_{2\ пик}$	47,5±4,7	48,2±3,8	46,4±2,4	48,8±2,8

Продолжение таблицы 3

$VE/VCO_{2\ пик}$	35,9±3,2	36,0±2,9	35,4±2,3	35,7±2,0
VT (мл/мин/кг)	21,1±1,6	28,6±2,2 ***	20,4±2,1	20,7±2,2***
RR_{Vt} (вд/мин)	26,3±2,2	27,9±1,9	28,3±1,8	31,2±3,3
Tv_{Vt} (л)	1,43±0,18	1,62±0,18	1,24±0,21	1,27±0,20
VE/VO_{2Vt}	28,4±1,7	29,3±2,9	30,2±1,9	32,5±2,1
VE/VCO_{2Vt}	29,2±2,2	28,3±2,2	30,5±1,8	31,4±2,3

Примечание: ЖЕЛ – жизненная емкость; ФЖЕЛ – форсированная жизненная емкость легких; $ОФВ_1$ – объем форсированного выдоха за 1 секунду; МВЛ – максимальная произвольная вентиляция легких; P_{Immax} – максимальное инспираторное ротовое давление; P_{Emmax} – максимальное ротовое давление на выдохе; Максимальная нагрузка – нагрузка в конце эксперимента с физической нагрузкой; VO_{2max} – максимальное потребление кислорода; VCO_{2max} – максимальное выделение углекислого газа; $VE_{пик}$ – пиковое значение вентиляции легких; $ЧСС_{макс}$ – максимальная частота сердечных сокращений; $ЧДД_{пик}$ – пиковое значение частоты дыхательных движений; RR – частота дыхания; Tv – дыхательный объем, Tv_{Vt} – дыхательный объем на вентиляционном пороге; VT – вентиляционный порог; переменные, выделенные курсивом, тестировались непараметрически; * – сравнение исходных значений и после 6 недель тренировки внутри групп (парный критерий Стьюдента $p<0,05$); ** – сравнение исходных значений и после 6 недель тренировки внутри групп (ранговый критерий Уилкоксона $p<0,05$); *** – сравнение между группами после 6 недель тренировки (непарный t-критерий Стьюдента $p<0,05$)

Как следует из данных, представленных в таблице 3, VO_{2max} в контрольной группе составлял 30,2±2,7 мл/мин/кг и достоверно увеличивался ($p<0,05$) до 38,4±3,2 мл/мин/кг после 6-недельной тренировки. VO_{2max} в исходном состоянии в основной группе с ДРС составлял 34,1±3,4 мл/мин/кг и значительно увеличивался ($p<0,05$) до 43,2±4,2 мл/мин/кг после 6-недельной тренировки. Исходное значение VCO_{2max} в контрольной группе было 44,8±4,3 мл/мин/кг и достоверно повышалось ($p<0,05$) до 52,1±4,6 мл/мин/кг после 6-недельной тренировки. Исходный VCO_{2max} в группе с ДРС имел значение 46,2±4,2 мл/мин/кг и значительно увеличивался ($p<0,05$) до 56,6±4,7 мл/мин/кг после тренировки. Исходное значение VT в группе с ДРС составило 21,1±1,6 мл/мин/кг и достоверно увеличивалось ($p<0,05$) до 28,6±2,2 мл/мин/кг после цикла тренировки. VT на 6-й неделе тренировки составлял 20,7±2,2 мл/мин/кг в контрольной группе и 28,6±2,2 мл/мин/кг в группе с ДРС, что достоверно выше ($p<0,05$). Исходная максимальная нагрузка на велоэргометре в основной группе с ДРС была на уровне 197,4±19,5 Вт и значительно увеличилась ($p<0,05$) до 221,6±21,3 Вт после 6 недель тренировки. Изначальное значение МВЛ в группе с ДРС было зафиксировано на уровне 112,3±12,2 л/мин и достоверно возрастало ($p<0,05$) до 133,4±13,7 л/мин после 6-недельной тренировки.

Полученные результаты показывают, что сочетание ритмичных физических упражнений с ДРС более эффективно для повышения выносливости, чем обычные тренировки. VO_{2max} в обеих группах был значительно выше после велоэргометрической тренировки, что указывает на то, что количество тренировочных курсов, выполненных в настоящем исследовании, было достаточным для увеличения физической выносливости. Максимальная нагрузка и VT не показали существенных изменений после тренировки в контрольной группе, но обе эти переменные были значительно выше после тренировки в группе с ДРС. Мы полагаем, что в комбинированной тренировке задействованы физиологические механизмы, отличные от тех, которые задействованы только в физических упражнениях без сопротивления дыханию.

При резистивном дыхании увеличивается Tv, вентиляция мертвого пространства уменьшается, а эффективность вентиляции увеличивается, так что этот тип дыхания снижает потребление кислорода, необходимое для дыхательного движения [18]. Хотя в настоящем исследовании дыхательный объем на вентиляционном пороге Tv_{Vt} в контрольной группе практически не изменился после тренировки, в группе ДРС он увеличился на 20% (p=0,06). Таким образом, ДРС формирует более глубокое (стенотическое) дыхание. В проведенном McMahon M.E. и соавт. исследовании здоровых людей установлено, что тренировка с инспираторным ДРС в состоянии покоя увеличивает выносливость [7], хотя в других исследованиях достоверного увеличения выносливости не отмечалось [14-15]. Инспираторное ДРС величиной 40% P_{mmax}, использованное в настоящем исследовании, применялось в условиях повышенной потребности в вентиляции, вызванной физическими упражнениями, что, по-видимому, повышало тренирующе-адаптационный эффект. Таким образом, комбинация двух тренирующих факторов – ДРС и ритмичных физических упражнений способствовала повышению максимальной работоспособности и физической выносливости, что будет актуально при выборе методов тренировки для занятий спортом или лечебной физкультурой.

Второй важный вывод настоящего исследования заключается в том, что ДРС улучшает функцию дыхательных мышц. В контрольной группе МВЛ существенно не изменилась после тренировки, но в группе с ДРС показала увеличение на 17% (p<0,05) после тренировки. Ранее было описано увеличение МВЛ примерно на 10% у здоровых людей в результате дыхательной резистивной тренировки в состоянии покоя [7, 21], но об увеличении МВЛ вследствие комбинации физической тренировки с ДРС не сообщалось. Настоящие результаты показывают, что ДРС на фоне физических нагрузок увеличивает МВЛ в большей степени, чем тренировка дыхания в состоянии покоя, что подчеркивает необходимость использования резистивных дыхательных нагрузок в комбинации с физическими упражнениями.

Интересным фактом настоящего исследования следует считать то, что P_{Immax} и P_{Emmax} существенно не изменились в группе испытуемых, тренировавшихся с ДРС; таким образом, возможно, что в увеличении максимальной легочной вентиляции помимо силы дыхательных мышц участвуют и другие факторы. Это указывает на существование механизмов взаимосвязи функции дыхательных мышц и физической выносливости.

Заключение. Комбинированная тренировка с ДРС и длительными физическими нагрузками обеспечивает большее увеличение максимальной работоспособности, физической выносливости и максимальной произвольной вентиляции, чем традиционные методы физической тренировки. Динамика тренировочного процесса с использованием резистивной дыхательной нагрузки характеризуется достоверным повышением физической выносливости на 5-6-й неделе комбинированной тренировки.

Конфликт интересов. Авторы сообщают отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить в связи с публикацией данной статьи.

Conflict of interest. The authors declare no actual and potential conflict of interest, which should be stated in connection with publication of the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титлов, А. Ю. Соотношение показателей аэробного и анаэробного квалифицированных конькобежцев / А. Ю. Титлов // Теория и практика физической культуры. – 2021. – № 2. – С. 36-39.

2. Ширковец, Е. А. Компонентный анализ функциональных показателей высококвалифицированных конькобежцев-спринтеров и многоборцев / Е. А. Ширковец, А. Ю. Титлов // Теория и практика физической культуры. – 2019. – № 6. – С. 87-89.
3. Medicine ACoS: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription / New York Lippincott Williams and Wilkins, 2011. – 176 p.
4. Валидация метода для оценки анаэробного порога в работающей мышце / Попов Д. В., Кузнецов С. Ю., Орлова Е. А. [и др.] // Физиология человека. – 2019. – Т. 45. – № 2. – С. 70-77.
5. Сочетанные гипоксические и физические тренировки - эффективное средство экстренного повышения физической выносливости специалистов с тяжелыми условиями труда / Скляров В. Н., Николаенко И. О., Дмитриев Г. В. [и др.] // Морская медицина. – 2019. – Т. 5. – № 3. – С. 41-48.
6. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men / Blair S. N., Kohl H. W., Barlow C. E. [et al] // JAMA. – 1995. – Vol. 273. – pp. 1093-1098.
7. Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance / M. McMahon, U. Boutellier, R. Smith, C. Spengler // J Exp Biol. – 2002. – Vol. 205. – pp. 3937-3943.
8. Enright, S. J. Effect of inspiratory muscle training intensities on pulmonary function and work capacity in people who are healthy: a randomized controlled trial / S. J. Enright, V. B. Unnithan // Phys Ther. – 2011. – Vol. 91 – pp. 894-905.
9. Feasibility of high-intensity, interval-based respiratory muscle training in COPD / Sturdy G., Hillman D., Green D. [et al] // Chest. – 2003. – Vol. 123 – pp. 142-150.
10.Benefits of short inspiratory muscle training on exercise capacity, dyspnea, and inspiratory fraction in COPD patients / B. Shahin, M. Germain, A. Kazem, G. Annat // Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis. – 2008. – Vol. 3. – pp. 423-427.
11.Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial / S. Sutbeyaz, F. Koseoglu, L. Inan, O. Coskun // Clin. Rehabil. – 2010. – Vol. 24. – pp. 240-250.
12.Inspiratory muscular training in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial / Britto R.R., Rezende N. R., Marinho K. C. [et al] // Arch. Phys. Med. Rehabil. – 2011. – Vol. 92. – pp. 184-190.
13.Effects of respiratory resistance training with a concurrent flow device on wheelchair athletes / Litchke L. G., Russian C. J., Lloyd L. K. [et al] // J. Spinal. Cord. Med. –2008. – Vol. 31 – pp. 65-71.
14.Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes / J. Williams, J. Wongsathikun, S. Boon, E. Acevedo // Med. Sci. Sports. Exerc. – 2002. – Vol. 34. – pp. 1194-1198.
15.Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes / Inbar O., Weiner P., Azgad Y. [et al] // Med. Sci. Sports. Exerc. – 2000. – Vol. 32. – pp. 1233-1237.
16. Попков, В. С. Повышение эффективности тренировочного процесса бегунов на 400 метров на основе использования условий искусственной гипоксии / В. С. Попков, В. В. Чемов // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2021. – № 3(37). – С. 55-61.
17. Попкова, Е. Ю. Методические подходы к использованию гипоксических воздействий для оптимизации восстановительных процессов в тренировке бегунов-спринтеров / Е. Ю. Попкова, В. В. Чемов // Физическое воспитание и спортивная тренировка. – 2018. – № 4(26). – С. 77-86.
18.Бяловский, Ю. Ю. Эффективность использования дополнительного респираторного сопротивления для оптимизации физической подготовки дзюдоистов / Ю. Ю. Бяловский, И. С. Ракитина // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2022. – № 4. – С. 128-138.
19.Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion / G. A. Borg // Med. Sci. Sports. Exerc. – 1982. – Vol. 14. – pp. 377-381.
10. Никифорова, О. Н. Скорость анаэробного порога у юных легкоатлетов как показатель тренированности в беге на выносливость / О. Н. Никифорова // Современные здоровьесберегающие технологии. – 2020. – № 4. – С. 49-55.
21.Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners / Leddy J. J., Limprasertkul A., Patel S. [et al] // Eur. J. Appl. Physiol. – 2007. – Vol. 99. – pp. 665-676.

REFERENCES

1. Titlov A.Yu. Ratio between aerobic and anaerobic thresholds in qualified speedskaters. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2021, no. 2, pp. 36-39. (in Russ.)
2. Shirkovets E.A. Titlov A.Yu. Component analysis of functional indicators of highly qualified sprint

skaters and all-rounders. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2019, no. 6, pp. 87-89. (in Russ.)
3. Medicine ACoS: ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. New York Lippincott Williams and Wilkins, 2011. 176 p.
4. Popov D.V., Kuznetsov S.Yu., Orlova E.A., Sharova A.P., Borovik A.S., Vinogradova O.L. Validity of a Muscle Specific Method to Evaluate the Anaerobic Threshold in Exercised Muscles. *Fiziologiya cheloveka*, 2019, vol. 45 (2), pp. 70-77. (in Russ.)
5. Sklyarov V.N., Nikolaenko I.O., Dmitriev G.V., Kochubejnik N.V., Bygayan S.E., Eroshenko A.Yu., Stepanov V.A., Kuz'min A.V. Combined hypoxic and physical trainings – effective means of emergency increase of physical endurance of specialists with difficult working conditions. *Marine Medicine*, 2019, vol. 5(3), pp. 41-48. (in Russ.)
6. Blair S.N., Kohl H.W., Barlow C.E., Paffenbarger Jr R.S., Gibbons L.W., Macera CA. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA*, 1995, vol. 273, pp. 1093-1098.
7. McMahon M.E., Boutellier U., Smith R.M., Spengler C.M. Hyperpnea training attenuates peripheral chemosensitivity and improves cycling endurance. *J Exp Biol*, 2002, vol. 205, pp. 3937-3943.
8. Enright S.J., Unnithan V.B. Effect of inspiratory muscle training intensities on pulmonary function and work capacity in people who are healthy: a randomized controlled trial. *Phys Ther*, 2011, vol. 91, pp. 894-905.
9. Sturdy G., Hillman D., Green D., Jenkins S., Cecins N., Eastwood P. Feasibility of high-intensity, interval-based respiratory muscle training in COPD. *Chest*, 2003, 123, pp. 142-150.
10. Shahin B., Germain M., Kazem A., Annat G. Benefits of short inspiratory muscle training on exercise capacity, dyspnea, and inspiratory fraction in COPD patients. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.*, 2008, vol. 3, pp. 423-427.
11. Sutbeyaz S.T., Koseoglu F., Inan L., Coskun O. Respiratory muscle training improves cardiopulmonary function and exercise tolerance in subjects with subacute stroke: a randomized controlled trial. *Clin. Rehabil.*, 2010, vol. 24, pp. 240-250.
12. Britto R.R., Rezende N.R., Marinho K.C., Torres J.L., Parreira V.F., Teixeira-Salmela L.F. Inspiratory muscular training in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 2011, vol. 92, pp. 184-190.
13. Litchke L.G., Russian C.J., Lloyd L.K., Schmidt E.A., Price L., Walker J.L. Effects of respiratory resistance training with a concurrent flow device on wheelchair athletes. *J Spinal Cord Med*, 2008, vol. 31, pp. 65-71.
14. Williams J.S., Wongsathikun J., Boon S.M., Acevedo E.O. Inspiratory muscle training fails to improve endurance capacity in athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 2002, vol. 34, pp. 1194-1198.
15. Inbar O., Weiner P., Azgad Y., Rotstein A., Weinstein Y. Specific inspiratory muscle training in well-trained endurance athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 2000, vol. 32, pp. 1233-1237.
16. Popkov V.S., Chemov V.V. Improvement of training process efficiency of 400m runners based on use of artificial hypoxia conditions. *Physical Education and Sports Training*, 2021, vol. 3(37), pp. 55-61 (in Russ.)
17. Popkova E.Yu., Chemov V.V. Methodical approaches to the use of hypoxic impact to optimize restorative processes in the training of sprinters. *Physical Education and Sports Training*, 2018, vol. 4(26), pp. 77-86 (in Russ.)
18. Byalovskij Yu.Yu., Rakitina I.S. The effectiveness of the use of additional respiratory resistance to optimize the physical fitness of judokas. *Ulyanovsk Medico-biological Journal*, 2022, vol. 4, pp. 128-138 (in Russ.)
19. Borg G.A. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 1982, vol. 14, pp. 377-381.
20. Nikiforova, O.N. The speed of the anaerobic threshold in young athletes as an indicator of fitness in running-endurance. *Modern Health-Saving Technologies*, 2020, vol. 4, pp. 49-55 (in Russ.)
21. Leddy J.J., Limprasertkul A., Patel S., Modlich F., Buyea C., Pendergast D.R., Lundgren C.E.G. Isocapnic hyperpnea training improves performance in competitive male runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2007, vol. 99, pp. 665-676.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Юрий Юльевич Бяловский – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии, ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Рязань, e-mail: b_uu@mail.ru.
Ирина Сергеевна Ракитина – кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии, ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России, Рязань.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Yurij Yul'evich Byalovskij – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University, Ryazan, e-mail: b_uu@mail.ru.
Irina Sergeevna Rakitina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Pathophysiology, Ryazan State Medical University, Ryazan.

Для цитирования: Бяловский, Ю. Ю. Эффекты комбинированной тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением и длительными физическими нагрузками / Ю. Ю. Бяловский, И. С. Ракитина // Современные вопросы биомедицины. – 2023. – Т. 7. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2023_07_01_33

For citation: Byalovskij Yu.Yu., Rakitina I.S. Effects of combined training with additional respiratory resistance and long-term physical loads. *Modern Issues of Biomedicine*, 2023, vol. 7, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_07_01_33