

Ю.Ю. Бяловский, И.С. Ракитина

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ ВЕЛИЧИН ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РЕСПИРАТОРНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ НА АЭРОБНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика
И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации,
г. Рязань, Российская Федерация

Резюме. Исследования влияния тренировки дыхательных мышц с помощью дополнительного респираторного сопротивления (ДРС) на физическую работоспособность противоречивы. **Цель исследования** заключалась в изучении влияния тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на максимальную аэробную производительность и субмаксимальную выносливость к физической нагрузке у молодых людей с хорошей физической подготовленностью. **Методика.** 30 молодых людей мужского пола (средний возраст $21,3 \pm 2,2$ года) были отобраны и случайным образом распределены в группу с высокой интенсивностью ДРС ($80\%P_{m\max}$, 9 человек), низкой интенсивностью ДРС ($20\%P_{m\max}$, 10 человек) и контрольную группу (11 человек). В группе с высокой интенсивностью ДРС для тренировки использовалось ДРС величиной 80% от максимального давления вдоха ($80\%P_{m\max}$). В группе с низкой интенсивностью ДРС использовалось $20\%P_{m\max}$. Сформированные группы тренировались по 6 нагруженных вдохов за подход, 4 подхода в день в течение 6 недель. Показатели аэробной выносливости к физической нагрузке включали максимальную и субмаксимальную аэробную выносливость, измеряемые как максимальное потребление кислорода ($VO_{2\max}$) и расстояние в тесте шестиминутной ходьбы (6MWD). **Результаты:** после 6 недельной тренировки с ДРС отмечается увеличение $P_{m\max}$, $VO_{2\max}$ и 6MWD только в группе $80\%P_{m\max}$. При этом в этой группе $VO_{2\max}$ увеличивается в диапазоне от 43,0 (40,5–45,0) мл/кг/мин до тренировки до 53,0 (46,0–63,0) мл/кг/мин после тренировки ($p < 0,05$). 6MWD в группе $80\%P_{m\max}$ улучшается с 792,0 (737,5–818,0) до тренировки до 862,0 (798,5–953,5) м после тренировки ($p < 0,05$). Достоверной разницы показателей $P_{m\max}$, $VO_{2\max}$ и 6MWD между группой $20\%P_{m\max}$ и контрольной группой в ходе 6 недельной тренировки не обнаружено. **Заключение:** 6-недельная тренировка с ДРС величиной $80\%P_{m\max}$ увеличивает $P_{m\max}$, максимальную и субмаксимальную выносливость к физической нагрузке, при этом тренировка с ДРС $20\%P_{m\max}$ таких эффектов не обнаружила. Таким образом, тренировка с ДРС величиной $80\%P_{m\max}$ улучшает аэробную выносливость у молодых людей.

Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление, максимальная аэробная производительность, субмаксимальная выносливость к физической нагрузке

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Бяловский Юрий Юльевич

b_uu@mail.ru

Дата поступления: 08.01.2024

Образец цитирования:

Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С. Влияние разных величин дополнительного респираторного сопротивления на аэробную выносливость. [Электронный ресурс] Вестник уральской медицинской академической науки. 2024, Том 21, № 1, с. 50–61, DOI:10.22138/2500-0918-2024-21-1-50-61

Актуальность

Система дыхания не считается фактором, лимитирующим максимальную физическую нагрузку на уровне моря, поскольку напряжение кислорода в крови обычно поддерживается в допустимых пределах даже во время интенсивных тренировок [1]. Тем не менее показано, что дыхательная мускулатура утомляется после интенсивных физических упражнений [2]. Спортсмены, которым приходится тренироваться с относительно высокой интенсивностью в течение длительного периода времени, скорее всего, будут страдать от утомления дыхательных мышц. Доказано, что утомление диафрагмы вызывает симпатически опосредованное снижение кровотока в конечностях, что может еще больше снизить физическую выносливость [3]. Утомление дыхательных мышц обнаруживается во время высокоинтенсивных физических упражнений (более $85\%VO_{2max}$) и еще больше ограничивает работоспособность из-за увеличения оттока симпатических сосудосуживающих веществ к мышцам конечностей и ощущения одышки [4].

Тренировка дыхательных мышц с помощью дополнительного респираторного сопротивления (ДРС) применялась к различным группам людей: от лиц с низкой физической подготовкой, таких как пациенты с сердечно-легочными расстройствами, до добровольцев с высокой физической подготовкой, таких как элитные спортсмены. Утомление дыхательной мускулатуры определяется, если наблюдается снижение максимального трансдиафрагмального давления более чем на 15% и является результатом сочетания давления, создаваемого во время вдоха, и отношения времени вдоха к общей продолжительности дыхательного цикла [5]. Обоснование силового типа тренировки дыхательных мышц посредством ДРС основано на потребности в вентиляции, требующей более высокого трансдиафрагмального давления во время тренировки для создания увеличенного объема и воздушного потока. Использование ДРС для увеличения силы вдоха увеличивает сократительную способность диафрагмы [6] и аэробную производительность [7], а также облегчает ощущение одышки [8]. Однако данные о влиянии ДРС на физическую работоспособность неоднозначны.

Работа дыхательной мускулатуры в условиях ДРС имеет индивидуальные особенности, например, работа дыхания у женщин увеличивается быстрее, чем у мужчин, а у женщин кислородные затраты на дыхание выше при сопоставлении с относительным объемом вентиляции [9]. В этой связи, при оценке эффективности тренировки дыхательной мускулатуры необходимо учитывать гендерные особенности испытуемых.

Цель исследования заключалась в изучении влияния 6-недельной тренировки дыхательных мышц с помощью ДРС на максимальную аэробную производительность и субмаксимальную выносливость к физической нагрузке у молодых людей с хорошей физической подготовленностью.

Методика

В исследовании проведена оценка влияния 6-недельной программы тренировки дыхательных мышц посредством разных величин ДРС на производительность физических упражнений у молодых мужчин, находящихся в хорошей физической форме. Чтобы изучить разницу в тренировочном эффекте низких и высоких величин ДРС, применялись методы рандомизации и двойного слепого контроля. Все участники были случайным образом распределены в группу тренировок с высокой величиной ДРС ($80\%P_{mmax}$), группу тренировок с низкой величиной ДРС ($20\%P_{mmax}$) и контрольную группу без тренировок с ДРС (только физические тренировки). Все группы тренировались на протяжении 6 недель. Для основных групп с тренировками с ДРС применялся двойной слепой контроль, при котором величина используемой ДРС в группах была неизвестна участникам и оператору эксперимента. Испытуемые в обеих тренировочных группах использовали тренажер для формирования инспираторных беспороговых резистивных нагрузок, интенсивность которых была привязана к максимальному внутриротовому давлению (P_{mmax}). Во время тренировки испытуемые не знали об интенсивности действующего ДРС.

Участники. Были набраны молодые мужчины из спортивных секций Рязанского медицинского университета (30 человек, возраст $21,3 \pm 2,2$ года). Критерии включения были следующими: 1) опыт тренировок в секции не менее 2 лет; и 2) текущая минимальная продолжительность спортивных тренировок, которую получали участники, составляла 90 минут в день, по крайней мере, 5 дней в неделю. Все отобранные молодые люди-добровольцы не курили и имели нормальную функцию

легких ($ОФВ1 > 80\%$, $ФЖЕЛ > 80\%$ и $ОФВ1/ФЖЕЛ > 70\%$ от должного значения) [10]. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом Рязанского государственного медицинского университета.

Информированное согласие было получено от каждого испытуемого. С помощью таблиц случайных чисел 30 студентов были рандомизированы до начала реализации протокола исследования. Измеряли вес и рост, рассчитывали индекс массы тела (ИМТ). Состав тела оценивали с помощью электронных весов с модулем биоэмпидансометрии InnerScan 50V (Tanita Co., Япония) для определения процентного содержания жира в организме.

Максимальное внутриротовое давление ($P_{m\max}$) измеряли во рту с помощью манометра (WKA-2-75, Польша). Испытуемые сидели в удобном кресле вертикально с зажимами для носа. Выдохнув до остаточного объема, испытуемые обхватывали губами мундштук с трубкой манометра и вдыхали с максимальной силой. Повторные измерения проводились не менее пяти раз с перерывом между испытаниями от 60 до 120 с, пока не были получены 3 измерения с разницей в 10%. Среднее значение этих трех измерений определяли как $P_{m\max}$ испытуемых.

Максимальная аэробная производительность оценивалась по наибольшему потреблению кислорода ($VO_{2\max}$) при работе участников на велотренажере (Domyos VM-430, Франция). Велоэргометрическая нагрузка предъявлялась путем электромагнитного торможения маховика в виде бесступенчатой регулировки уровней нагрузки. Пробы газов, выдыхаемых при дыхании, собирались с помощью лицевой маски, к маске был прикреплен двухходовой дыхательный клапан, который закрывал нос и рот и использовался для сбора выдыхаемого воздуха. Воздух анализировался на предмет респираторных и метаболических показателей с использованием спироанализатора Spirolab III SpO_2 (Италия) и ультразвукового спирокапнометра Spiro Scout (Германия). Тест на максимальную нагрузку проводился из расчета прогнозируемой максимальной частоты сердечных сокращений ($ЧСС_{\max}$) по [11]. $VO_{2\max}$ определяли при достижении двух из следующих трех условий: 1) дыхательный коэффициент больше 1,0; 2) реальная частота сердечных сокращений больше 85% от $ЧСС_{\max}$; и 3) испытуемый отказывается продолжать исследование из-за утомления, несмотря на словесное поощрение [12]. $VO_{2\max}$ определялся как максимальное значение, достигнутое за последние 30 с перед пиком или выравниванием. Во время теста всем испытуемым настоятельно рекомендовали продолжать вращать педали с максимальной нагрузкой.

Субмаксимальная выносливость к физической нагрузке оценивалась с помощью теста шести-минутной ходьбы (6MWT), который проводился в соответствии с рекомендациями, описанными в официальном заявлении ATS [13]. Одышку параметрировали по модифицированной шкале Борга, периферическое насыщение кислородом (SpO_2) и частоту пульса измеряли с помощью пульсоксиметрии в начале и конце 6MWT. Модифицированная шкала Борга представляла собой горизонтальную линию длиной 100 мм, маркированную словесными дескрипторами «отсутствие одышки вообще» и «очень тяжелая одышка» на каждом конце. Испытуемым предлагалось отметить на линии точку, отражающую их восприятие своего состояния. Оценка по шкале Борга определялась путем измерения в миллиметрах от левого конца линии до точки, отмеченной испытуемым. Расстояние, которое испытуемые прошли за 6 минут, записывали как 6MWD. С диагностической точки зрения, 6MWD является функциональным показателем и представляет собой субмаксимальную выносливость к аэробной нагрузке.

Тренировка с ДРС как для группы 80% $P_{m\max}$, так и для группы 20% $P_{m\max}$ проводилась 5 дней в неделю в течение 6 недель. Каждая ежедневная тренировка по вдоху состояла из 4 подходов по 6 тренировочных вдохов. Каждый участник использовал дыхательный тренажер Int. Air. Medical (БУРГЕН Бресс, Франция), который представлял собой устройство, обеспечивающее аэродинамическую нагрузку по внутриротовому давлению вдоха, которое участники создавали во рту по шкале манометра. Прежде чем передавать тренажер испытуемому, проводился расчет должных значений внутриротового давления исходя из $P_{m\max}$. Две основные группы ежедневно выполняли дыхательную тренировку, выполняя 4 сеанса тренировки. В течение первой недели тот же исследователь, участвовавший в этом исследовании, контролировал обучение, чтобы убедиться, что не возникло никаких трудностей в тренировке. После того, как участники успешно освоили навык резистивного дыхания, руководство исследованием брал на себя тренер команды в секции. В конце каждой недели исследователь повторно измерял $P_{m\max}$ участников и корректировал значения вну-

триротового давления до 20% или 80% от P_{mmax} . Все участники были достаточно мотивированы на предстоящее исследование и сохраняли свой первоначальный ежедневный режим спортивных тренировок в течение всего периода эксперимента. Спортивные тренировки проводились два раза в день: за час до начала занятий в университете и спустя час после них.

Статистический анализ. Нашими испытуемыми были студенты примерно одного возраста, при этом размер выборки был небольшим ($n=30$). Большая часть физиологических показателей в этом исследовании не прошли тест Шапиро-Уилка по нормальности распределения, поэтому для анализа использовалась непараметрическая статистика. Внутригрупповые данные представлены в виде медианы с интерквартильным размахом. Сравнивались антропометрические данные (масса тела, рост, вес, ИМТ и процент жира в организме), данные о максимальном внутриротовом давлении (P_{mmax}), максимальная физическая нагрузка (VO_{2max}) и субмаксимальная физическая нагрузка (6MWD). Для оценки влияния организованных факторов на изменение признаков использовался ранговый дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса (ANOVA). При обнаружении существенных различий для попарного сравнения использовался критерий Данна. Межгрупповые различия до и после тренировок с ДРС оценивали с помощью знаково-рангового критерия Уилкоксона. Уровни значимости для всех тестов были установлены как значения $p<0,05$.

Полученные результаты

Характеристики исследовательской группы. 30 студентов мужского пола случайным образом были разделены на три группы (80% P_{mmax} — 9 человек; 20% P_{mmax} — 10 человек; контрольная группа — 11 человек). Оценивая демографические и антропометрические характеристики представителей разных групп испытуемых, мы убедились в отсутствии различий в исследуемых показателях при парном сравнении с использованием критерия Данна (табл. 1).

Таблица 1
Сравнение демографических и антропометрических характеристик
среди представителей исследуемых групп
Table 1
Comparison of demographic and anthropometric characteristics among representatives
of the study groups

Показатели Indicators	80% P_{mmax}	20% P_{mmax}	Контр. группа Control group	p
Кол-во испытуемых/ Number of subjects	9	10	11	
Возраст (лет)/ Age (years)	21,1 (18,7–23,2)	21,5 (19,2–23,6)	21,0 (18,6–22,8)	0,15
Рост (см)/ Height (cm)	176,2 (168,1–183,9)	175,4 (165,5–185,9)	177,9 (166,3–183,5)	0,18
Вес (кг)/ Weight (kg)	64,1 (56,4–71,4)	63,9 (59,3–72,2)	65,4 (55,7–82,6)	0,14
ИМТ (кг/м ²)/ BMI (kg/m ²)	20,7 (17,7–22,4)	20,9 (18,7–22,8)	20,5 (18,2–22,9)	0,19
Содержание жира (%)/Fat content (%)	16,7 (13,6–23,7)	14,4 (11,5–20,2)	17,5 (14,7–26,3)	0,42

Обозначения: данные представлены в виде медианы с интерквартильным размахом; ИМТ — индекс массы тела; p — достоверность ошибочного суждения о различиях показателей в группах по критерию Данна.

Legend: Data are presented as median with interquartile range; BMI — body mass index; p — reliability of erroneous judgments about differences in indicators in groups according to Dunn's criterion.

Влияние тренировки с ДРС на исследуемые показатели. Оценивая максимальное внутриротовое давление, максимальную аэробную производительность и субмаксимальную выносливость к физической нагрузке до начала тренировки с ДРС, результаты теста Крускала-Уоллиса показывают, что существует межгрупповая разница в показателях VO_{2max} и 6MWD ($p<0,05$). При использовании для парного сравнения апостериорного критерия Данна, VO_{2max} оказался выше у группы 20% P_{mmax} по сравнению с 80% P_{mmax} ($p<0,05$). Установлено, что 6MWD меньше у контрольной группы по сравнению с 80% P_{mmax} и 20% P_{mmax} (табл. 2).

Максимальное внутриротовое давление, максимальная аэробная производительность и субмаксимальная выносливость к физической нагрузке до и после тренировки с ДПС среди исследуемых групп

Table 2

Maximum intraoral pressure, maximum aerobic performance and submaximal exercise capacity before and after ARR training among study groups

Показатели Indicators	80%Pmmax	20%Pmmax	Контр. группа Control group	p
Pmmax, см H ₂ O				
До тренировки с ДПС/ Before training with ARR	108,7 (100,8–143,3)	114,3 (83,8–138,5)	137,0 (95,0–158,0)	0,49
После тренировки с ДПС/ After training with ARR	144,4 (130,0–175,6)	109,7 (96,3–135,7)	153,0 (105,0–207,0)	0,56
p внутри группы/ p within group	0,02	0,19	0,88	
VO ₂ max, мл/кг/мин/				
До тренировки с ДПС/ Before training with ARR	43,0 (40,5–45,0) *	49,5 (45,8–55,3)	49,0 (45,0–52,0)	0,05
После тренировки с ДПС/ After training with ARR	53,0 (46,0–63,0)	54,5 (49,7–58,3)	46,0 (42,8–50,3)	0,29
p внутри группы/ p within group	0,03	0,19	0,43	
6MWD, м				
До тренировки с ДПС/ Before training with ARR	792,0 (737,5–818,0)	834,5 (797,5–900,8) #	726,0 (626,0–750,0)	0,01
После тренировки с ДПС/ After training with ARR	862,0 (798,5–953,5)	847,5 (812,8–890,5)	713,0 (688,0–751,0)	0,32
p внутри группы/ p within group	0,02	0,79	0,76	

Обозначения: Pmmax — максимальное внутриротовое давление; VO₂max — максимальная аэробная производительность; 6MWD — тест 6-минутной субмаксимальной выносливости к физической нагрузке; данные представлены в виде медианы + интерквартильный размах. * — p < 0,05 по сравнению с 80%Pmmax; # — p < 0,05 по сравнению с 20%Pmmax.

Legend: Pmmax — maximum intraoral pressure; VO₂max — maximum aerobic performance; 6MWD — 6-minute submaximal exercise endurance test; Data are presented as median + interquartile range. * — p < 0.05 compared to 80%Pmmax; # — p < 0.05 compared to 20%Pmmax.

После завершения 6-недельной тренировки с ДПС, динамика исследуемых показателей была иной. Максимальная аэробная производительность VO₂max, увеличивается только в группе 80%Pmmax и остается неизменной как в группе 20%Pmmax, так и в контрольной группе. Ранговый критерий Уилкоксона показывает, что в группе 80%Pmmax значительно увеличивается VO₂max в диапазоне от 43,0 (40,5–45,0) мл/кг/мин до тренировки до 53,0 (46,0–63,0) мл/кг/мин после тренировки (p < 0,05). Уровень VO₂max в группе 20%Pmmax и контрольной группе не изменяются и варьируют от 49,5 (45,7–55,3) до тренировки с ДПС до 54,5 (49,7–58,3) мл/кг/мин после тренировки в группе 20%Pmmax; и 49,0 (45,0–52,0) до тренировки и 46,0 (42,8–50,3) мл/кг/мин после тренировки в контрольной группе.

Знаковый ранговый тест Уилкоксона свидетельствует, что в результате тренировки с ДПС показатель субмаксимальной выносливости к физической нагрузке 6MWD значительно улучшается в группе 80%Pmmax. 6MWD в группе 80%Pmmax повышается с 792,0 (737,5–818,0) до тренировки до 862,0 (798,5–953,5) м после тренировки (p < 0,05).

Таблица 3

Изменения частоты сердечных сокращений, насыщения гемоглобина кислородом и уровня одышки по шкале Борга при определении субмаксимальной выносливости к физической нагрузке (6MWT) до и после тренировки с ДРС в исследуемых группах

Table 3

Changes in heart rate, hemoglobin oxygen saturation and the level of dyspnea according to the Borg scale when determining submaximal exercise endurance (6MWT) before and after training with ARR in the study groups

Показатели Indicators	80%Pmmax			20%Pmmax			Контр. группа Control group		
	Начало/ start 6MWD	Окон- чание/ Ending 6MWD	p	Начало/ start 6MWD	Окон- чание/ Ending 6MWD	p	Начало/ start 6MWD	Окон- чание/ Ending 6MWD	p
До тренировки с ДРС/ Before training with ARR									
ЧСС мин-1 Heart rate min-1	96 (84–100)	134 (126- 164)*	0,002	89 (84–94)	151 (134–158)	0,001	98 (90–113)	123 (109–154)	0,004
SpO ₂ (%)	98 (98–99)	98 (98–99)	0,48	99 (98–99)	98 (98–98)	0,52	98 (98–100)	98 (98–98)	0,64
Шк.Борга (мм) Borg scale (mm)	0 (0–0)	20 (15–35)*	0,0001	0 (0–0)	30 (18–45)*	0,00001	0 (0–0)	40 (30–50)	0,00001
После тренировки с ДРС/ After training with ARR:									
ЧСС мин-1 Heart rate min-1	93 (90–97)	146 (136- 176)*	0,001	82 (71–91)	146 (137–166)	0,001	107 (105- 115)	133 (123–173)	0,02
SpO ₂ (%)	98 (98–98)	98 (97–98)	0,42	98 (98–99)	99 (97–99)	0,47	98 (98–98)	98 (97–99)	0,50
Шк.Борга (мм) Borg scale (mm)	0 (0–0)	35 (15–40)*	0,00003	0 (0–1,25)	40 (21–40)*	0,00001	0 (0–0)	40 (26–41)	0,00001
p ЧСС / p Heart rate	0,26	0,04		0,13	0,07		0,08	0,07	
p SpO ₂	0,32	0,68		0,47	0,52		0,60	0,68	
p шк.Борга / p Borg scale	0,78	0,024		0,68	0,04		0,64	0,40	

Обозначение: данные представлены в виде медианы + интерквартильный размах. * — $p < 0,05$ до и после тренировки с ДРС

Legend: Data are presented as median + interquartile range. * — $p < 0.05$ before and after training with ARR

При этом показатели 6MWD в группе 20%Pmmax и контрольной группе остаются неизменными ($p > 0,05$) и варьируют в диапазоне от 834,5 (797,5–900,8) до тренировки до 847,5 (812,8–890,5) м после тренировки (группа 20%Pmmax) и от 726,0 (626,0–750,0) до тренировки с ДРС и, соответственно, до 713,0 (688,0–751,0) м после тренировки (контрольная группа).

В таблице 3 приведены изменения частоты сердечных сокращений, насыщения гемоглобина кислородом и уровня одышки по шкале Борга при определении субмаксимальной выносливости к физической нагрузке (6MWT) до и после тренировки с ДРС в исследуемых группах.

Как следует из данных, приведенных в табл. 3, можно отметить высокую эффективность физической нагрузки при выполнении теста 6MWT как у испытуемых основных групп, так и контрольной группы по критерию роста ЧСС ($p < 0,05$) и увеличения уровня одышки по шкале Борга ($p < 0,001$), при этом, для SpO₂ изменения носили недостоверный характер ($p > 0.05$). Эти изменения наблюдались в ходе реализации 6MWT как до начала тренировки с ДРС (20 и 80%Pmmax), так и на фоне

тренировки. При анализе с использованием знакового рангового теста Уилкоксона у студентов после выполнения теста 6MWT были отмечены внутригрупповые отличия в основной группе до и после тренировки с ДРС 80%P_{max} в отношении ЧСС ($p < 0,05$) и уровня одышки по шкале Борга ($p < 0,05$). Для представителей основной группы 20%P_{max} после тренировки с ДРС достоверные различия были отмечены только для уровня одышки по шкале Борга ($p < 0,05$).

Таким образом, наши результаты показывают, что 6-недельная тренировка с ДРС 80%P_{max} достоверно повышает силу мышц вдоха, максимальную и субмаксимальную аэробную нагрузку, что видно по динамике P_{max}, VO_{2max} и 6MWD соответственно. При этом тренировка с высокой резистивной дыхательной нагрузкой 80%P_{max} на фоне теста 6MWD значимо увеличивает ЧСС и уровень одышки по Боргу. Напротив, 6-недельная тренировка с ДРС 20%P_{max} не оказывает достоверного влияния на динамику P_{max}, VO_{2max} и 6MWD.

Обсуждение полученных результатов

Это исследование было направлено на оценку влияния тренировки с ДРС на максимальную и субмаксимальную переносимость физической нагрузки. Для повышения доказательности эффекта применяли рандомизацию испытуемых и двойной слепой контроль. Полученные результаты показывают, что 6-недельная тренировка с ДРС 80%P_{max} повышает силу вдоха, а также максимальную и субмаксимальную способность к физической нагрузке у физически подготовленных студентов. Тренировка с ДРС 20%P_{max} достоверно не увеличивает силу вдоха и не обнаруживает различий в максимальной и субмаксимальной переносимости физической нагрузки.

Влияние тренировки дыхательных мышц на P_{max}. Максимальное внутриротовое давление P_{max} используется для оценки силы дыхательной мускулатуры. Однако методическая трудность заключается в том, что этот тест требует от испытуемых понимания задания и выполнения инструкций. Ключевое требование заключалось в том, что каждый испытуемый должен был выполнить тесты несколько раз с достаточным отдыхом между ними, а разница в трех наивысших баллах тестов должна была находиться в пределах 10%. Это было сделано для того, чтобы избежать противоречивых данных с высокими выбросами из-за случайного прикусывания мундштука. Значения P_{max}, обнаруженные в нами текущем исследовании, оказались выше, чем у молодых людей аналогичного возраста [14]. Возможная причина может заключаться в том, что наши испытуемые — физически подготовленные молодые люди.

Используемая нами 6-недельная тренировка с ДРС приводит к увеличению P_{max} в среднем на 35% в группе 80%P_{max}; при этом тренировка с низкой величиной резистивной нагрузки в группе с 20%P_{max} практически не влияет на P_{max}. Результаты повышения аэробной выносливости подтверждают теорию специфичности тренировки с ДРС, поскольку мышцы вдоха являются скелетными мышцами и реагируют на соответствующие физиологические стимулы. Тренировка, получаемая в группе с 80%P_{max}, представляет собой модель силовой тренировки, которая отличается высокой интенсивностью резистивной дыхательной нагрузки, при небольшой длительности резистивного дыхания (шесть вдохов за подход) и направлена на увеличение максимальной мышечной силы (P_{max}). Степень тренировочного эффекта аналогична отчетам о здоровых взрослых спортсменах в возрасте 27-30 лет [15], что позволяет предположить, что и молодые люди в 20-летнем возрасте реагируют на дыхательные тренировочные стимулы так же эффективно, как и более взрослые. Этот факт также согласуется с предыдущими исследованиями силовых тренировок для молодежи [16].

Влияние тренировки мышц вдоха на максимальную выносливость к физической нагрузке по критерию VO_{2max}. По данным Rowland T.W. [17], максимальный объем поглощенного кислорода у физически тренированных студентов выше, чем у их нетренированных сверстников, а максимальные значения поглощенного кислорода наблюдались на уровне 50 мл/кг/мин. По сравнению с приведенным выше обзором, наши участники имели похожий средний предтренировочный показатель максимального объема поглощенного кислорода на уровне 48,1 мл/кг/мин. Однако, если сравнивать с литературными данными о величине максимального объема поглощенного кислорода у нетренированных студентов-юношей [18], которые показывали средний результат VO_{2max} на уровне 30 мл/кг/мин, мы полагаем, что предварительная физическая тренировка у наших участников обуславливает более высокое значение поглощенного кислорода на уровне 48,1 мл/кг/мин.

Полученные в данном исследовании результаты, согласно которым тренировка с ДРС 80%P_{max}

обеспечивает увеличение максимального объема поглощенного кислорода, позволяют предположить повышение максимальной выносливости к аэробным нагрузкам на фоне регулярного действия интенсивной резистивной нагрузки. Максимальный объем поглощенного кислорода в группе 80%P_{max} составляет 43,0 (40,5–45,0) до тренировки и 53,0 (46,0–63,0) после тренировки, что представляет собой увеличение на 21%. Имеются убедительные доказательства того, что инспираторные мышцы утомляются во время интенсивных упражнений, учитывая значительную потребность в кислороде и высокую работу дыхания, возникающую во время тяжелых физических упражнений на выносливость [19]. Установлено, что утомление дыхательных мышц быстро возникает при физической нагрузке с интенсивностью не менее 85% от максимального потребления кислорода [20]. Результатом утомления инспираторных мышц является симпатически опосредованная вазоконстрикция нижних конечностей, что в дальнейшем приводит к утомлению периферических скелетных мышц. Данный феномен известен как метаблорефлекс инспираторных мышц [21]. Механизм метаблорефлекса включает в себя изменения нервной и сердечно-сосудистой систем, которые ухудшают работоспособность при физических нагрузках. Тренировка с ДРС вызывает задержку активации этого метаблорефлекса, уменьшая возникновение утомления периферических мышц [20] и ощущения одышки [11]. Улучшение максимальной выносливости к аэробным нагрузкам на фоне действия интенсивной резистивной нагрузки в нашем исследовании согласуется с выводом Holm et al. [22], который демонстрирует, что тренировка дыхательной мускулатуры повышает максимальное потребление кислорода в группе велосипедистов. Тренировка с ДРС укрепляет мышцы вдоха, что помогает отсрочить наступление утомления дыхательной мускулатуры и предотвращает возникновение метаблорефлекса, который может привести к снижению кровотока в периферических мышцах. Naj Ghanbari et al. [23] опубликовали системный обзор по тренировочным эффектам нагрузки респираторных мышц спортсменов разных видов спорта и пришли к выводу, что тренировка дыхательных мышц улучшает производительность скелетной мускулатуры. В своем заключении авторы предложили возможное объяснение противоречивых результатов исследований влияния тренировки дыхательных мышц — недостаточный уровень интенсивности тренировок.

Влияние тренировки дыхательных мышц на субмаксимальную физическую работоспособность. Тест 6MWD является надежным и валидным функциональным тестом для оценки толерантности и выносливости к физической нагрузке у здоровых людей. Мы выбрали его, поскольку он представляет собой наиболее подходящий и удобный метод оценки субмаксимального уровня функциональной способности к физической нагрузке [12]. Наши результаты показывают, что тренировка с ДРС 80%P_{max} улучшает результаты 6MWD без существенной разницы в изменении SpO₂, а это означает, что наши участники могут проходить большие расстояния с тем же уровнем насыщения кислородом. Полученные результаты оценки 6MWD несколько превышает опубликованные данные на людях сопоставимого возраста [24], что подтверждает лучшую физическую форму наших участников.

Ограничения. Первым ограничением этого исследования является недостаточное количество участников, из-за чего некоторые переменные не проходили тест на нормальность Шапиро-Уилка. Вследствие этого мы проводили непараметрический статистический анализ для всех зависимых переменных. Известно, что параметрические тесты более эффективны, чем непараметрические, но только в том случае, если все условия, лежащие в основе параметрического теста, выполняются [25]. Непрохождение теста на нормальность и небольшой размер выборки являются условиями для использования непараметрического анализа [26]. Во-вторых, рандомизация с небольшой выборкой приводит к возрастной разнице между группами. В-третьих, мы не анализировали тип вида спорта среди участников. В исследовании с небольшим количеством участников фоновые виды спорта на выносливость, например, бег или виды спорта прерывистого типа, например, теннис, возможно, могут привести к различным эффектам тренировки с помощью ДРС и повлиять на результаты выполнения упражнений. Таким образом, необходимы более масштабные исследования подгрупп, представляющих молодых людей с определенным спортивным опытом.

Практические рекомендации. Наряду с регулярными спортивными тренировками исследователи и тренеры могут использовать дополнительную тренировку дыхательной мускулатуры с помощью интенсивной резистивной нагрузки для улучшения аэробной выносливости. Это исследование показывает, что силовая тренировка мышц вдоха приводит к значительному увеличению как максимальной, так и субмаксимальной выносливости к физической нагрузке.

Заключение

Данное исследование показывает, что при регулярной спортивной подготовке дополнительная тренировка с помощью ДРС улучшает функцию дыхательных мышц, что сопровождается повышением физической выносливости. Шестинедельная тренировка с ДРС 80%Pmmax повышает максимальное внутриротовое давление, а также максимальную аэробную производительность и субмаксимальную выносливость к физической нагрузке. Аналогичная тренировка с 20%Pmmax не вызывает достоверных изменений силы дыхательной мускулатуры или аэробной выносливости к физической нагрузке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варламова, Н.Г., Логинова Т.П., Мартынов Н.А. и др. Кардиореспираторные предикторы завершения теста с максимальной нагрузкой у высококвалифицированных лыжников-гонщиков. Спортивная медицина: наука и практика. 2015; 2: 53-60.
2. Katayama, K., Iwamoto, E., Ishida, K., Koike, T., Saito, M. Inspiratory muscle fatigue increases sympathetic vasomotor outflow and blood pressure during submaximal exercise. *Am. J. Physiol.-Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2012; 302, R1167–R1175.
3. Harms, C.A., Wetter, T.J., Croix, C.M.S.; Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 2000; 89: 131–138.
4. Wells, G.D., Norris, S.R. Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. *Paediatr. Respir. Rev.* 2009; 10: 91–98.
5. Сегизбаева, М.О., Александрова Н.П. Оценка устойчивости разных групп инспираторных мышц к утомлению при физической нагрузке на фоне моделируемой обструкции дыхательных путей. *Физиология человека.* 2014; 40 (6): 114. – DOI 10.7868/S0131164614050130.
6. Enright, S.J., Unnithan, V.B., Heward, C., Withnall, L., Davies, D.H. Effect of High-Intensity Inspiratory Muscle Training on Lung Volumes, Diaphragm Thickness, and Exercise Capacity in Subjects Who Are Healthy. *Phys. Ther.* 2006; 86: 345–354.
7. Hartz, C.S., Sindorf, M.A., Lopes, C.R., Batista, J., Moreno, M.A. Effect of inspiratory muscle training on performance of handball athletes. *J. Hum. Kinet.* 2018; 63: 43–51.
8. Huang, C.H., Martin, A.D., Davenport, P.W. Effects of Inspiratory Strength Training on the Detection of Inspiratory Loads. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* 2009; 34: 17–26.
9. Archiza, B., Leahy, M.G., Kipp, S., Sheel, A.W. An integrative approach to the pulmonary physiology of exercise: When does biological sex matter? *Eur. J. Appl. Physiol.* 2021; 121: 2377–2391.
10. Murray, C.Ю., Foden, P., Lowe, L., Durrington, H., Custovic, A., Simpson, A. Diagnosis of asthma in symptomatic children based on measures of lung function: An analysis of data from a population-based birth cohort study. *Lancet Child Adolesc. Health* 2017; 1: 114–123.
11. Попкова, Е.Ю., Чемов В.В. Методические подходы к использованию гипоксических воздействий для оптимизации восстановительных процессов в тренировке бегунов-спринтеров. *Физическое воспитание и спортивная тренировка.* 2018;4(26): 77-86.
12. Li, A.M., Yin, J., Yu, C.C.W., Tsang, T., So, H.K., Wong, E., Chan, D., Hon, E.K.L., Sung, R. The six-minute walk test in healthy humans: Reliability and validity. *Eur. Respir. J.* 2005; 25: 1057–1060.
13. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2002; 166: 111–117.
14. Mellies, U., Stehling, F., Dohna-Schwake, C. Normal values for inspiratory muscle function in children. *Physiol. Meas.* 2014; 35: 1975.
15. Karsten, M., Ribeiro, G.S., Esquivel, M.S., Matte, D.L. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys. Ther. Sport* 2018; 34: 92–104.
16. Faigenbaum, A. State of the art reviews: Resistance training for children and adolescents: Are there health outcomes? *Am. J. Lifestyle Med.* 2007; 1: 190–200.
17. Rowland, T.W. Evolution of maximal oxygen uptake in students. *Pediatr. Fit.* 2007; 50: 200–209.
18. Wong, T.W., Yu, T.S., Wang, X.R., Robinson, P. Predicted maximal oxygen uptake in normal Hong Kong Chinese students and those with respiratory diseases. *Pediatr. Pulmonol.* 2001; 31: 126–132.
19. Perlovitch, R., Gefen, A., Elad, D., Ratnovsky, A.; Kramer, M.R., Halpern, P. Inspiratory muscles

experience fatigue faster than the calf muscles during treadmill marching. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2007; 156: 61–68.

20. Сегизбаева, М.О., Александрова Н.П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных. *Физиология человека.* 2019; 45 (2): 115–127. – DOI 10.1134/S0131164619010120. – EDN ZADHQL.

21. Wetter, T.J., Harms, C.A., Nelson, W.B., Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. Influence of respiratory muscle work on VO(2) and leg blood flow during submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1999; 87: 643–651.

22. Holm, P., Sattler, A., Fregosi, R.F. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol.* 2004; 4: 9.

23. Haj Ghanbari, 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.

24. Ulrich, S., Hildenbrand, F.F., Treder, U., Fischler, M., Keusch, S., Speich, R., Fasnacht, M. Reference values for the 6-minute walk test in healthy children and adolescents in Switzerland. *BMC Pulm. Med.* 2013; 13: 49.

25. Tomkins, C., Hall, C. An introduction to non-parametric statistics for health scientists. *Univ. Alta. Health Sci. J.* 2006; 3: 20–26.

26. Mishra, P., Pandey, C.M., Singh, U., Keshri, A., Sabaretnam, M. Selection of appropriate statistical methods for data analysis. *Ann. Card. Anaesth.* 2019; 22: 297.

Авторы

Бяловский Юрий Юльевич

Д.м.н., профессор, заведующий кафедрой патофизиологии

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6769-8277>

eLibrary SPIN: 6389-6643

b_uu@mail.ru

Ракитина Ирина Сергеевна

К.м.н., доцент, доцент кафедры патофизиологии

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9406-1765>

eLibrary SPIN: 8427-9471

rakitina62@gmail.com

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации
Рязань, Российская Федерация

Yu. Yu. Byalovsky, I.S. Rakitina

THE INFLUENCE OF DIFFERENT VALUES OF ADDITIONAL RESPIRATORY RESISTANCE ON AEROBIC ENDURANCE

Ryazan State Medical University named after Academician I.P. Pavlov of the Ministry of Health of the Russian Federation, Ryazan, Russian Federation

Abstract. Research on the effects of respiratory muscle training using supplemental respiratory resistance (ARR) on physical performance is controversial. *The aim* of the study was to examine the effects of respiratory muscle training using ARR on maximal aerobic performance and submaximal exercise capacity in young adults with good physical fitness. *Methodology.* 30 young males (mean age 21.3±2.2 years) were selected and randomly assigned to high intensity ARR (80%Pmmax, 9 people), low intensity ARR (20%Pmmax, 10 people) and control group (11 people). In the high-intensity ARR group, ARR of 80% of maximum inspiratory pressure (80%Pmmax) was used for training. In the low

intensity ARR group, 20%P_{max} was used. The formed groups trained 6 breaths per set, 4 sets per day for 6 weeks. Aerobic exercise capacity measures included maximal and submaximal aerobic endurance measured as maximum oxygen uptake (VO_{2max}) and six-minute walk distance (6MWD). **Results:** 6 weeks of ARR training showed an increase in P_{max}, VO_{2max} and 6MWD only in the 80%P_{max} group. VO_{2max} increases significantly in the 80%P_{max} group, ranging from 43.0 (40.5–45.0) ml/kg/min pre-exercise to 53.0 (46.0–63.0) ml/kg/min post-exercise ($p < 0.05$). 6MWD in the 80%P_{max} group improves from 792.0 (737.5–818.0) pre-training to 862.0 (798.5–953.5) m post-training ($p < 0.05$). There were no significant differences in P_{max}, VO_{2max} and 6MWD between the 20%P_{max} group and the control group during the 6-week training. **Conclusion:** 6 weeks of training at 80%P_{max} ARR increases P_{max}, maximal and submaximal exercise endurance, while training at 20%P_{max} ARR did not reveal such effects. Thus, training at 80%P_{max} improves aerobic endurance in young adults.

Keywords: additional respiratory resistance, maximum aerobic performance, submaximal exercise endurance

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Yury. Yu. Byalovsky

b_uu@mail.ru

Received 08.01.2024

For citation:

Byalovsky Yu.Yu., Rakitina I.S. The influence of different values of additional respiratory resistance on aerobic endurance. [Online] Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2024, Vol. 21, no. 1, pp. 50–61. DOI:10.22138/2500-0918-2024-21-1-50-61 (In Russ)

REFERENCES

1. Varlamova, N.G., Loginova T.P., Martynov N.A. et al. Cardiorespiratory predictors of completion of the test with maximum load in highly qualified cross-country skiers. *Sportivnaya medicina: nauka i praktika*. 2015; 2: 53-60. (in Russian).
2. Katayama, K., Iwamoto, E., Ishida, K., Koike, T., Saito, M. Inspiratory muscle fatigue increases sympathetic vasomotor outflow and blood pressure during submaximal exercise. *Am. J. Physiol.-Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2012; 302, R1167–R1175.
3. Harms, C.A., Wetter, T.J., Croix, C.M.S.; Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 2000; 89: 131–138.
4. Wells, G.D., Norris, S.R. Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. *Paediatr. Respir. Rev.* 2009; 10: 91–98.
5. Segizbaeva, M.O., Aleksandrova N.P. Assessment of the resistance of different groups of inspiratory muscles to fatigue during physical activity against the background of simulated airway obstruction. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40 (6): 114. (in Russian).
6. Enright, S.J., Unnithan, V.B., Heward, C., Withnall, L., Davies, D.H. Effect of High-Intensity Inspiratory Muscle Training on Lung Volumes, Diaphragm Thickness, and Exercise Capacity in Subjects Who Are Healthy. *Phys. Ther.* 2006; 86: 345–354.
7. Hartz, C.S., Sindorf, M.A., Lopes, C.R., Batista, J., Moreno, M.A. Effect of inspiratory muscle training on performance of handball athletes. *J. Hum. Kinet.* 2018; 63: 43–51.
8. Huang, C.H., Martin, A.D., Davenport, P.W. Effects of Inspiratory Strength Training on the Detection of Inspiratory Loads. *Appl. Psychophysiol. Biofeedback* 2009; 34: 17–26.
9. Archiza, B., Leahy, M.G., Kipp, S., Sheel, A.W. An integrative approach to the pulmonary physiology of exercise: When does biological sex matter? *Eur. J. Appl. Physiol.* 2021; 121: 2377–2391.
10. Murray, C.Ю., Foden, P., Lowe, L., Durrington, H., Custovic, A., Simpson, A. Diagnosis of asthma in symptomatic children based on measures of lung function: An analysis of data from a population-based birth cohort study. *Lancet Child Adolesc. Health* 2017; 1: 114–123.
11. Popkova, E.Yu., Chemov V.V. Methodological approaches to the use of hypoxic effects to optimize recovery processes in the training of sprinters. *Fizicheskoe vospitanie i sportivnaya trenirovka*. 2018;4(26):

77-86 (in Russian).

12. Li, A.M., Yin, J., Yu, C.C.W., Tsang, T., So, H.K., Wong, E., Chan, D., Hon, E.K.L., Sung, R. The six-minute walk test in healthy humans: Reliability and validity. *Eur. Respir. J.* 2005; 25: 1057–1060.
13. ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2002; 166: 111–117.
14. Mellies, U., Stehling, F., Dohna-Schwake, C. Normal values for inspiratory muscle function in children. *Physiol. Meas.* 2014; 35: 1975.
15. Karsten, M., Ribeiro, G.S., Esquivel, M.S., Matte, D.L. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Phys. Ther. Sport* 2018; 34: 92–104.
16. Faigenbaum, A. State of the art reviews: Resistance training for children and adolescents: Are there health outcomes? *Am. J. Lifestyle Med.* 2007; 1: 190–200.
17. Rowland, T.W. Evolution of maximal oxygen uptake in students. *Pediatr. Fit.* 2007; 50: 200–209.
18. Wong, T.W., Yu, T.S., Wang, X.R., Robinson, P. Predicted maximal oxygen uptake in normal Hong Kong Chinese students and those with respiratory diseases. *Pediatr. Pulmonol.* 2001; 31: 126–132.
19. Perlovitch, R., Gefen, A., Elad, D., Ratnovsky, A.; Kramer, M.R., Halpern, P. Inspiratory muscles experience fatigue faster than the calf muscles during treadmill marching. *Respir. Physiol. Neurobiol.* 2007; 156: 61–68.
20. Segizbaeva, M.O., Aleksandrova N.P. Assessment of the functional state of the respiratory muscles: methodological aspects and data interpretation. *Fiziologiya cheloveka.* 2019; 45(2): 115-127. (in Russian).
21. Wetter, T.J., Harms, C.A., Nelson, W.B., Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. Influence of respiratory muscle work on VO₂ and leg blood flow during submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 1999; 87: 643–651.
22. Holm, P., Sattler, A., Fregosi, R.F. Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol.* 2004; 4: 9.
23. Haj Ghanbari, 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.
24. Ulrich, S., Hildenbrand, F.F., Treder, U., Fischler, M., Keusch, S., Speich, R., Fasnacht, M. Reference values for the 6-minute walk test in healthy children and adolescents in Switzerland. *BMC Pulm. Med.* 2013; 13: 49.
25. Tomkins, C., Hall, C. An introduction to non-parametric statistics for health scientists. *Univ. Alta. Health Sci. J.* 2006; 3: 20–26.
26. Mishra, P., Pandey, C.M., Singh, U., Keshri, A., Sabaretnam, M. Selection of appropriate statistical methods for data analysis. *Ann. Card. Anaesth.* 2019; 22: 297.

Authors

Yury. Yu. Byalovsky

Prof., Dr. Sc. Med., Head of the Department of Pathophysiology

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6769-8277>

eLibrary SPIN: 6389-6643

b_uu@mail.ru

Irina S. Rakitina

PhD Med, Assoc. Prof. of the Department of Pathophysiology

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9406-1765>

eLibrary SPIN: 8427-9471

rakitina62@gmail.com

Ryazan State Medical University

Ryazan, Russian Federation