

УДК 616-092.6

# Изменения артериального давления в условиях дополнительного респираторного сопротивления

Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С.

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. 390000, Рязань, ул. Полонского, д. 13

**Актуальность.** В связи с устойчивым ростом сердечно-сосудистых заболеваний, существует необходимость в поиске и разработке вариантов образа жизни, эффективных для снижения артериального давления у людей среднего и пожилого возраста. К таким стратегиям следует отнести тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением.

**Целью исследования** являлось изучение изменений артериального давления у людей среднего и пожилого возраста в условиях систематического применения дополнительного респираторного сопротивления.

**Материалы и методы.** Были обследованы мужчины и женщины среднего и пожилого возраста, всего 60 человек, имевшие повышенное артериальное давление. Испытуемые составили 3 группы: контрольную группу; группу сравнения с использованием низкого дополнительного респираторного сопротивления (10% P<sub>тmax</sub>) и основную группу с использованием высокого дополнительного респираторного сопротивления (80% P<sub>тmax</sub>). Тренировки с дополнительным респираторным сопротивлением проводились 1 раз в день в течение 5 мин на протяжении 5 недель. Регистрировали профиль артериального давления. Оценка долговременного эффекта тренировок проводили через 2 месяца после их завершения.

**Результаты.** Показано, что ежедневные тренировки с использованием дополнительного респираторного сопротивления величиной 80% P<sub>тmax</sub> приводят к значимому снижению артериального давления, при этом устойчивый гипотензивный эффект сохранялся на протяжении 2 месяцев в отношении диастолического артериального давления. Ежедневные тренировки с использованием дополнительного респираторного сопротивления величиной 10% P<sub>тmax</sub> не вызывают значимого снижения артериального давления как в период тренировок, так и через 2 месяца после их завершения.

**Заключение.** Ежедневные тренировки высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления на протяжении 5 недель у людей среднего и пожилого возраста приводят к снижению артериального давления. Гипотензивный эффект тренировки высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления в отношении диастолического давления сохраняется в течение двух месяцев после окончания тренировок. Тренировки высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления хорошо переносятся людьми среднего и пожилого возраста, что повышает приверженность пациентов к данной форме гипотензивной терапии.

**Ключевые слова:** артериальное давление; дополнительное респираторное сопротивление; пожилые люди.

**Для цитирования:** Бяловский Ю.Ю., Ракитина И.С. Изменения артериального давления в условиях дополнительного респираторного сопротивления. Патогенез. 2021; 19(4): 53-59.

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2021.04.53-59

**Для корреспонденции:** Бяловский Юрий Юльевич, e-mail: b\_uu@mail.ru

**Финансирование.** Исследование не имеет спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила:** 16.10.2021

## Changes in blood pressure in the presence of additional respiratory resistance

Byalovsky Yu.Yu., Rakitina I.S.

Academician I.P. Pavlov Rязan State Medical University,  
Polonского St. 13, Rязan 390000, Russian Federation

**Background.** Due to the steady increase in cardiovascular diseases, there is a need for finding and developing lifestyle options that are effective for lowering blood pressure in middle-aged and elderly people. These strategies include training with additional respiratory resistance.

**The aim** of the study was to investigate changes in blood pressure in middle-aged and elderly people under the conditions of systematic use of additional respiratory resistance.

**Materials and methods.** Men and women of middle and elderly age (n=60) with high blood pressure were examined. The subjects were divided into 3 groups: a control group; a comparison group that used a low additional respiratory resistance (10% P<sub>тmax</sub>); and the main group using a high additional respiratory resistance (80% P<sub>тmax</sub>). Training with additional respiratory resistance was performed once a day for 5 minutes for 5 weeks. The blood pressure profile was recorded. The long-term effect of the training was assessed 2 months after the training completion.

**Results.** The daily training with an additional respiratory resistance of 80% P<sub>тmax</sub> led to a significant decrease in blood pressure; for diastolic blood pressure, a stable hypotensive effect remained for 2 months. The daily training with an additional respiratory resistance of 10% P<sub>тmax</sub> did not cause any significant decrease in blood pressure neither during the training period nor 2 months after its completion.

**Conclusions.** Daily training with high additional respiratory resistance for 5 weeks induced a decrease in blood pressure in middle-aged and elderly people. For diastolic blood pressure, the antihypertensive effect of training with high additional respiratory resistance remained for 2 months after the training completion. Training with high additional respiratory resistance was well tolerated by middle-aged and elderly people, which increases the adherence of patients to this form of antihypertensive therapy.

**Key words:** blood pressure; additional respiratory resistance; elderly people.

**For citation:** Byalovsky Yu.Yu., Rakitina I.S. [Changes in blood pressure in the presence of additional respiratory resistance]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2021; 19(4): 53-59 (in Russian)

**DOI:** 10.25557/2310-0435.2021.04.53-59

**For correspondence:** Yuri Yulievich Byalovsky, e-mail: b\_uu@mail.ru

**Financing.** The study is not sponsored.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflicts of interest.

**Received:** 16.10.2021

## Введение

Старение увеличивает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, которые являются основной причиной смерти в развитых странах [1]. Большая часть этого риска связана с повышенным артериальным давлением (АД), которое является очень высоким, распространенным и клинически значимым модифицируемым фактором риска сердечно-сосудистых заболеваний [2]. Более 65% людей среднего и старшего возраста в мире имеют АД выше нормы [3].

Аэробные упражнения — одно из наиболее научно обоснованных вмешательств, способствующих здоровому сердечно-сосудистому старению [4]. Однако соблюдение рекомендаций по аэробным упражнениям (150 мин в неделю аэробных упражнений средней интенсивности или 75 мин в неделю энергичных аэробных упражнений [5]) оставляет желать лучшего. Менее 40% людей среднего и пожилого возраста соблюдают данные рекомендации [6]. Столь низкий уровень соблюдения объясняется такими препятствиями, как нехватка времени, отсутствие доступа к спортивным объектам, проблемы с мобильностью и финансовые затраты на посещение фитнес-клубов для тренировок [7]. Следовательно, существует необходимость в разработке новых стратегий образа жизни, которые преодолевают эти препятствия для достижения высокой приверженности, а также демонстрируют свою эффективность для снижения АД у людей среднего и пожилого возраста [8].

Ранее нами было показано снижение уровня АД в условиях дополнительного респираторного сопротивления (ДРС) величиной 54–76 см вод.ст./л/с, предъявляемого в фазу вдоха [9]. Однако этот эффект был достигнут у практически здоровых испытуемых молодого возраста. Чтобы установить безопасность, приверженность и эффективность действия ДРС для снижения АД у людей среднего и пожилого возраста с исходным уровнем АД выше нормы, в настоящем исследовании мы изучали эффекты тренировки с ежедневным использованием ДРС на протяжении 5 недель у людей в возрасте от 50 до 79 лет с исходным АД больше 130/80 мм рт.ст.

**Целью исследования** являлось изучение изменений АД у людей среднего и пожилого возраста в условиях си-

стематического применения дополнительного респираторного сопротивления.

## Материалы и методы исследования

Были обследованы мужчины и женщины в постменопаузе, всего 60 человек (32 мужчины и 28 женщин, средний возраст  $67,1 \pm 3,6$  лет). Все процедуры были рассмотрены и одобрены локальным биоэтическим комитетом ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России. Добровольцам объяснили характер, преимущества и риски всех процедур исследования, и перед участием в исследовании было получено их письменное информированное согласие.

Все участники исследования имели АД выше нормы (более 130/80 мм рт.ст., измеренное дважды с интервалом более 24 часов [10]). Потенциальные участники были исключены, если у них фиксировался уровень глюкозы в плазме натощак больше 8,0 ммоль/л, неконтролируемое заболевание щитовидной железы, тяжелое ожирение (индекс массы тела больше  $40 \text{ кг/м}^2$ ), нестабильный вес (изменение больше 3 кг в массе тела в течение как минимум трех месяцев до включения в исследование), или они имели алкогольную зависимость. Исключались пациенты с артериальной гипертензией III степени тяжести. Участники, принимавшие гипотензивные или другие рецептурные препараты (например, статины), включались в исследование, если их схема лечения была стабильной более 3 месяцев и оставалась стабильной на протяжении всего исследования.

Эксперимент состоял из 5-недельного рандомизированного контролируемого исследования. Кроме того, всем участникам было предложено вернуться через 2 месяца после завершения исследования для дополнительной оценки функционального состояния, чтобы получить представление о долгосрочных эффектах влияния тренировок с ДРС на АД.

Испытуемые были рандомизированы в 3 группы: контрольную группу с использованием нулевого по интенсивности ДРС (группа 1); группу сравнения с использованием низкого ДРС (10% P<sub>max</sub> — максимального внутриротового давления, возникающего при полном перекрытии воздухоносных путей (группа 2),

и основную группу с использованием высокого ДРС – 80% P<sub>max</sub> (группа 3).

Для учета влияния степени физического развития на функциональное состояние трех групп участников исследования, использовался комплекс антропометрических измерений. Исследовались масса тела, индекс массы тела, пульс в покое, кистевая динамометрия (динамометр ДК-100, Россия), станочная динамометрия (динамометр ДС-200, Россия), жизненная ёмкость лёгких (спирометр Spirolab III с программным обеспечением Winspiro PRO, Италия). В табл. 1. приводятся конституционально-антропометрические показатели исследуемых групп испытуемых.

Как следует из табл. 1, конституционально-антропометрические характеристики участников исследования в трех группах статистически не различались ( $p > 0,05$  в попарных сравнениях по t-критерию Стьюдента для независимых измерений).

Испытуемые основной группы (группа 3) на протяжении 5 недель исследования 1 раз в день (в 10 часов утра) в течение 5 минут преодолевали инспираторное ДРС величиной 80% P<sub>max</sub>, предъявляемого с помощью портативного дозатора резистивных дыхательных нагрузок БВД-01. Максимальное внутриротовое давление P<sub>max</sub> измерялось в см вод.ст. на вдохе при полном перекрытии рта и носа (маневр Мюллера). Представители группы сравнения (группа 2) имели тот же алгоритм исследования, отличие заключалось в величине преодолеваемого ДРС – 10% P<sub>max</sub>. Наконец, испытуемые группы контроля (группа 1) проходили ту же процедуру нагрузочных тренировок с имитацией ДРС, т.е. на протяжении 5 недель исследования 1 раз в день (в 10 часов утра) в течение 5 минут дышали через БВД-01 без аэродинамического сопротивления.

АД измерялось участниками исследования на плечевой артерии с помощью автоматического измерителя артериального давления Omron M2 Basic каждые 60 минут в течение дня (с 9 утра до 21 вечера). На основании измерений составлялся усредненный профиль кровяного давления каждого испытуемого. После заверше-

ния исследований с использованием ДРС (5 недель), через 2 месяца испытуемые проходили заключительное обследование для определения устойчивости эффектов действия дыхательных сопротивлений.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета SPSS Statistics, версия 17.0.1. Для корректного использования параметрических методов обработки, проводили проверку нормальности распределения критерием Шапиро–Уилка, и равенства дисперсий тестом Левена. Методом вариационной статистики оценивались внутригрупповые показатели с определением средних арифметических и стандартные ошибки среднего ( $M \pm m$ ). Межгрупповые различия, оцениваемые с помощью t-критерия Стьюдента для независимых или для повторных измерений, считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## Результаты исследования

Среднее количество нагрузочных тренировок с ДРС, завершённых основной группой, составило  $33,7 \pm 4,2$ ; группой сравнения –  $34,4 \pm 4,8$ ; контрольной группой –  $32,8 \pm 4,6$  без значимой разницы в количестве тренировок между группами ( $p > 0,05$ ). Основная группа завершила 94,4% предписанных тренировок, группа сравнения – 93,5%, контрольная группа - 90,0%. Достоверной разницы в приверженности между группами не было ( $p > 0,05$ ).

Контроль эффективности действия ДРС осуществлялся с помощью оценки внутриротового давления (ВД). Как следует из рис. 1, среднее значение исходного ВД у представителей всех групп составляло  $1,3 \pm 0,4$  см вод.ст., что соответствовало средним популяционным значениям при незатрудненном дыхании [11]. При предъявлении ДРС величиной 10% P<sub>max</sub> у испытуемых 2-й группы отмечено существенное увеличение величины ВД (до  $12,7 \pm 4,8$  см вод.ст.,  $p < 0,01$ ) относительно исходных значений. Реализация ДРС величиной 80% P<sub>max</sub> у испытуемых 3-й группы сопровождалась ещё более выраженными изменениями ВД (до  $75,4 \pm 13,2$  см

Таблица 1

Характеристика конституционально-антропометрических показателей испытуемых.

Показатель	1 группа	2 группа	3 группа
Количество мужчин / женщин	12/9	10/9	10/10
Возраст, лет	$66,5 \pm 2,2$	$67,2 \pm 2,6$	$67,4 \pm 2,1$
Масса тела, кг	$81,8 \pm 4,2$	$80,3 \pm 5,2$	$78,6 \pm 6,9$
Индекс массы тела, кг / м <sup>2</sup>	$27,2 \pm 0,5$	$26,2 \pm 0,8$	$27,7 \pm 1,0$
Пульс в состоянии покоя, уд. / мин	$76,8 \pm 2,3$	$76,9 \pm 2,1$	$75,4 \pm 3,6$
Кистевая динамометрия (правая рука), кг	$17,4 \pm 2,6$	$16,8 \pm 2,3$	$16,9 \pm 1,9$
Кистевая динамометрия (левая рука), кг	$13,7 \pm 3,2$	$12,9 \pm 2,4$	$13,2 \pm 3,7$
Станочная динамометрия, кг	$47,1 \pm 5,4$	$49,3 \pm 4,8$	$48,7 \pm 6,2$
Жизненная ёмкость лёгких (л)	$4,1 \pm 0,7$	$4,3 \pm 0,5$	$4,2 \pm 0,4$

Примечания: данные представлены как среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка среднего.

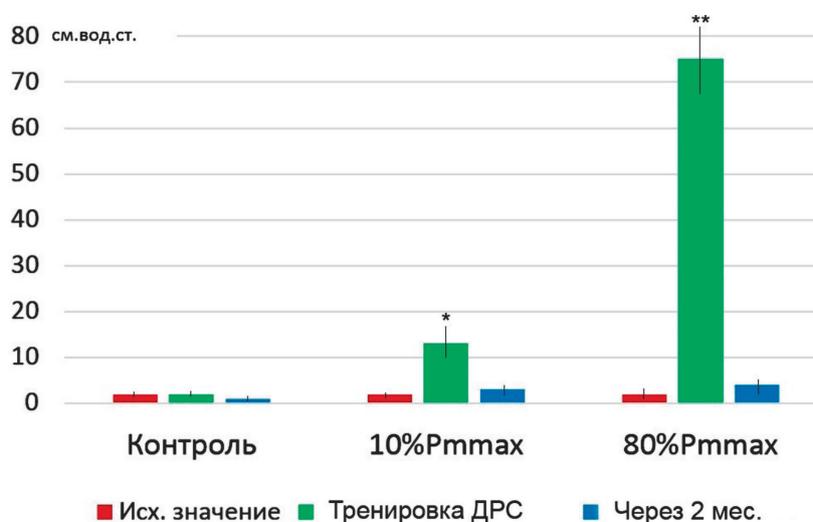
вод.ст.,  $p < 0,001$ ), что свидетельствует об эффективности проводимой резистивной тренировки.

При измерении через 2 месяца (без использования ДРС) величина ВД у представителей 3-й группы оказалась немного выше ( $4,3 \pm 0,5$  см вод.ст.) аналогичного значения у группы контроля ( $1,1 \pm 0,2$  см вод.ст.,  $p < 0,05$ , по t-критерию Стьюдента для независимых измерений), а у испытуемых 2 группы ( $2,9 \pm 0,4$  см вод.ст.) ВД достоверно не различалось с показателями ВД группы контроля ( $p > 0,05$ ).

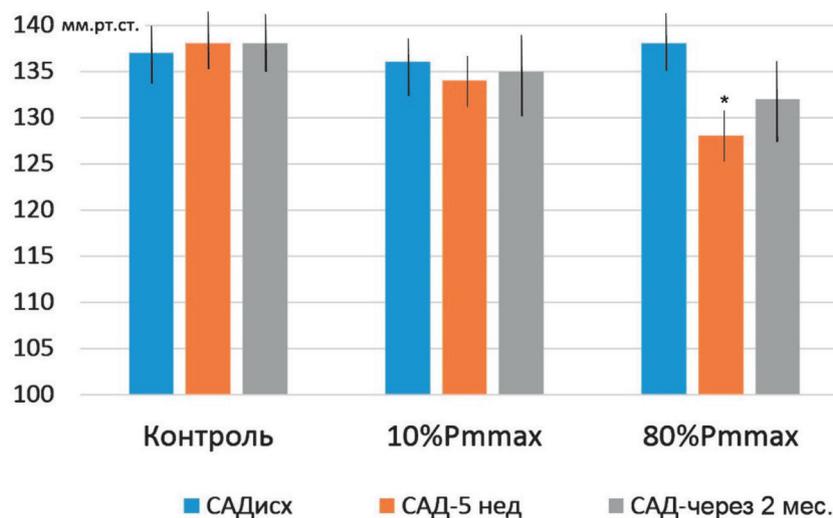
На рис. 2 приведены средние значения систолического артериального давления (САД) у испытуемых трёх исследуемых групп в исходном значении, на 5-й неделе тренировки разными величинами ДРС, и через 2 ме-

сяца после окончания тренировок. Как следует из приведенных данных, выявлено значимое ( $p < 0,05$ ) снижение САД у испытуемых после 5-недельной тренировки ДРС величиной 80% Pmmax (с  $136,2 \pm 7,3$  до  $128,3 \pm 6,1$  мм.рт.ст.). Однако этот эффект у испытуемых 3-й группы исчезал через 2 месяца после завершения тренировок ДРС (САД  $136,7 \pm 7,5$  и  $132,5 \pm 6,4$  мм рт.ст. соответственно,  $p > 0,05$ ).

В группе с использованием ДРС величиной 10% Pmmax (2-я группа) через 5 недель уровень САД не изменился ( $136,3 \pm 7,4$  и  $134,4 \pm 5,9$  мм рт.ст. соответственно,  $p > 0,05$ ). Через 2 месяца после тренировок ДРС величиной 10% Pmmax уровень САД также не изменился.



**Рис. 1.** Средние значения внутриротового давления (в см вод.ст.) у испытуемых 1-й группы (контроль), 2-й группы (10% Pmmax) и 3-й группы (80% Pmmax) в исходном значении, во время тренировки разными величинами ДРС и через 2 месяца после окончания тренировок. Статистическая значимость различий при сравнении внутри групп с показателями исходного тестирования: \* –  $p < 0,01$ ; \*\* –  $p < 0,001$ .



**Рис. 2.** Средние значения систолического артериального давления (САД, мм рт. ст.) у испытуемых 1-й группы (контроль), 2-й группы (10% Pmmax) и 3-й группы (80% Pmmax) в исходном значении, во время тренировки разными величинами ДРС и через 2 месяца после окончания тренировок. Статистическая значимость различий при сравнении внутри групп с показателями исходного тестирования: \* –  $p < 0,05$ .

На рис. 3 приводятся средние значения диастолического артериального давления (ДАД) у испытуемых исследуемых групп в исходном значении, на 5-й неделе тренировки разными величинами ДРС, и через 2 месяца после окончания тренировок. Как видно на рисунке, имеется значимое снижение ДАД у испытуемых 3-й группы после 5-недельной тренировки ДРС величиной 80% P<sub>max</sub> (с 83,1 ± 3,8 до 75,0 ± 4,0 мм рт.ст). Важной особенностью следует считать сохранение статистически значимого гипотензивного эффекта у испытуемых этой группы на протяжении 2 месяцев после завершения тренировок ДРС (спустя 2 мес величина ДАД составила 78,3 ± 4,1 мм рт.ст).

В группе с использованием ДРС величиной 10% P<sub>max</sub> (2 группа) через 5 недель тренировок тенденция к снижению ДАД (с 82,4 ± 4,2 до 80,5 ± 4,0 мм рт.ст) не достигла уровня статистической значимости ( $p > 0,05$ ). Через 2 месяца после тренировок ДРС величиной 10% P<sub>max</sub> отличий ДАД от исходного состояния не наблюдалось (ДАД исх – 82,0 ± 4,2; ДАД через 2 мес – 83,2 ± 4,0 мм рт.ст,  $p > 0,05$ ).

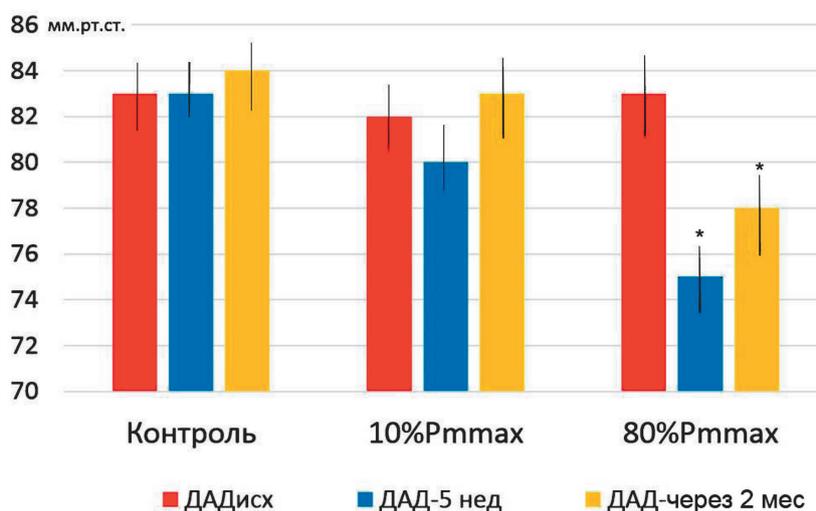
### Обсуждение

Полученные в настоящем исследовании результаты свидетельствуют о том, что ежедневные тренировки с ДРС величиной 80% P<sub>max</sub> (раз в день по 5 мин на протяжении 5 недель) являются эффективным вмешательством для снижения АД как у мужчин среднего и пожилого возраста, так и у женщин в постменопаузе.

Ряд клинических исследований, оценивающих потенциальную пользу для здоровья от ДРС, использовали тренировочную интенсивность с низким/умеренным сопротивлением вдоху (например, 30% P<sub>max</sub>), выполняемого в течение длительного времени (бо-

лее 30 мин за сеанс). При этом снижение АД (в состоянии покоя) отмечалось у молодых здоровых людей [12], а также у пациентов с обструктивным апноэ во сне [13]. Снижение АД при ДРС было связано со уменьшением системного сосудистого сопротивления при отсутствии изменений частоты сердечных сокращений [12], что предполагает адаптацию сосудистой функции. Однако описываемый тренировочный режим с несколькими занятиями в неделю, приводит к общим еженедельным затратам времени, аналогичным аэробным упражнениям средней интенсивности [14]. Более того, во многих таких исследованиях тренировки с ДРС проводились в условиях клинических исследовательских лабораторий, что требовало частых поездок для проведения занятий [15]. Указанные обстоятельства существенно сказывались на приверженности к тренировкам, что снижало их терапевтическую эффективность.

Рядом исследований было показано, что АД имеет тенденцию быстро повышаться после прекращения аэробных упражнений [16] или прекращения лечения антигипертензивными препаратами, [17], что позволяет предположить, что тренировки с ДРС 80% P<sub>max</sub> могут приводить к более длительному снижению АД по сравнению с другими формами физических тренировок или фармакотерапией. Это предположение согласуется с сообщениями о том, что обычные аэробные упражнения также оказывают аналогичное влияние на АД у мужчин и женщин [18]. Однако, в отличие от аэробных тренировок, в которых снижение АД связано с гипотонией после каждой тренировки с физической нагрузкой, недавнее исследование у молодых людей показывает, что АД остается немного повышенным по сравнению с исходными уровнями покоя после одного тренировочного сеанса ДРС, даже когда ЧСС возвращается к уровню покоя [19]. Эти результаты дополнительно подтверждают



**Рис. 3.** Средние значения диастолического артериального давления (ДАД, (мм. рт. ст.) у испытуемых 1-й группы (контроль), 2-й группы (10% P<sub>max</sub>) и 3-й группы (80% P<sub>max</sub>) в исходном значении, во время тренировки разными величинами ДРС и через 2 месяца после окончания тренировок. Статистическая значимость различий при сравнении внутри групп с показателями исходного тестирования: \* –  $p < 0,05$ .

идею о том, что тренировки с ДРС и аэробные упражнения по-разному влияют на регуляцию АД сразу после тренировки.

Предполагаемым механизмом, посредством которого ДРС 80% Pmтах снижает АД, по нашему мнению, является стимуляция метаболических функций легких. Баропривная гиперемия легких, возникающая на фоне интенсивных инспираторных резистивных нагрузок, приводит к выделению целого ряда биологически активных веществ (гепарин, гистамин, серотонин и др), имеющих преимущественно гипотензивное действие. В последующем, эти метаболические изменения могут закрепляться с помощью условнорефлекторных механизмов [9]. Потребуется дальнейшие исследования, чтобы понять все механизмы, лежащие в основе гипотензивных эффектов действия ДРС.

## Выводы

1. Ежедневные тренировки высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления на протяжении 5 недель у людей среднего и пожилого возраста приводят к снижению артериального давления.

2. Гипотензивный эффект тренировок высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления в отношении диастолического давления сохраняется в течение 2 месяцев после окончания тренировок.

3. Кратковременные тренировки высокими величинами дополнительного респираторного сопротивления хорошо переносятся людьми среднего и пожилого возраста, что повышает приверженность пациентов к данной форме гипотензивной терапии.

## Авторский вклад

Бяловский Ю.Ю. – концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование, окончательное утверждение версии для публикации. Ракитина И.С. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста.

## Список литературы

1. Joseph P., Leong D., McKee M., Anand S.S., Schwalm J.-D., Teo K., Mente A., Yusuf S. Reducing the global burden of cardiovascular disease, part 1: the epidemiology and risk factors. *Circ. Res.* 2017; 121(6): 677-694. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.117.308903
2. Whelton P.K., Carey R.M., Aronow W.S., Casey D.E., Collins K.J., Dennison Himmelfarb C., DePalma S.M., Gidding S., Jamerson K.A., Jones D.W., MacLaughlin E.J., Muntner P., Ovbigele B., Smith S.C.Jr., Spencer C.C., Stafford R.S., Taler S.J., Thomas R.J., Williams K.A.Sr., Williamson J.D., Wright J.T.Jr. ACC/AHA/AA-PA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension.* 2018; 71(6): 13-115. DOI: 10.1161/HYP.000000000000065
3. Virani S.S., Alonso A., Benjamin E.J., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P., Chamberlain A.M., Chang A.R., Cheng S., Deling F.N., Djousse L., Elkind M.S.V., Ferguson J.F., Fornage M.,

- Khan S.S., Kissela B.M., Knutson K.L., Kwan T.W., Lackland D.T., Lewis T.T., Lichtman J.H., Longenecker C.T., Loop M.S., Lutsey P.L., Martin S.S., Matsushita K., Moran A.E., Mussolino M.E., Perak A.M., Rosamond W.D., Roth G.A., Sampson U.K.A., Satou G.M., Schroeder E.B., Shah S.H., Shay C.M., Spartano N.L., Stokes A., Tirschwell D.L., VanWagner L.B., Tsao C.W., American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics-2020 update: a report from the American Heart Association. *Circulation.* 2020; 141(9): 139-596. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000757
4. Craighead D.H., Freeberg K.A., Seals D.R. The protective role of regular aerobic exercise on vascular function with aging. *Curr. Opin. Physiol.* 2019; 10: 55-63. DOI: 10.1016/j.cophys.2019.04.005
5. Piercy K.L., Troiano R.P., Ballard R.M., Carlson S.A., Fulton J.E., Galuska D.A., George S.M., Olson R.D. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA.* 2018; 320(19): 2020-2028. DOI: 10.1001/jama.2018.14854
6. Schoenborn C.A., Stommel M. Adherence to the 2008 adult physical activity guidelines and mortality risk. *Am. J. Prev. Med.* 2011; 40(5): 514-521. DOI: 10.1016/j.amepre.2010.12.029
7. Kelly S., Martin S., Kuhn I., Cowan A., Brayne C., Lafortune L. Barriers and facilitators to the uptake and maintenance of healthy behaviours by people at mid-life: a rapid systematic review. *PLoS One.* 2016; 11(1): 14-50. DOI: 10.1371/journal.pone.0145074
8. Craighead D.H., Heinbockel T.C., Hamilton M.N., Bailey E.F., MacDonald M.J., Gibala M.J., Seals D.R. Time-efficient physical training for enhancing cardiovascular function in midlife and older adults: promise and current research gaps. *J. Appl. Physiol.* 2019; 127(5): 1427-1440. DOI: 10.1152/jappphysiol.00381.2019
9. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. *Физиологические механизмы резистивного дыхания человека.* М.: РИТМ, 2018. 412 с.
10. Huang Y., Wang S., Cai X., Mai W., Hu Y., Tang H., Xu D. Prehypertension and incidence of cardiovascular disease: a meta-analysis. *BMC Med.* 2013; 11: 177. DOI: 10.1186/1741-7015-11-177
11. Ritz T., Meuret A.E., Bhaskara L., Petersen S. Respiratory muscle tension as symptom generator in individuals with high anxiety sensitivity. *Psychosom. Med.* 2013; 75(2): 187-195. DOI: 10.1097/PSY.0b013e31827d1072
12. DeLucia C.M., De Asis R.M., Bailey E.F. Daily inspiratory muscle training lowers blood pressure and vascular resistance in healthy men and women. *Exp. Physiol.* 2018; 103(2): 201-211. DOI: 10.1113/EP086641
13. Ramos-Barrera G.E., DeLucia C.M., Bailey E.F. Inspiratory muscle strength training lowers blood pressure and sympathetic activity in older adults with OSA: a randomized controlled pilot trial. *J. Appl. Physiol.* 2020; 129(3): 449-458. DOI: 10.1152/jappphysiol.00024.2020
14. Saglam M., Arikian H., Vardar-Yagli N., Calik-Kutukcu E., Inal-Ince D., Savci S., Akdogan A., Yokusoglu M., Kaya E.B., Tokgozoglu L. Inspiratory muscle training in pulmonary arterial hypertension. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* 2015; 35(3): 198-206. DOI: 10.1097/HCR.000000000000117
15. Adamopoulos S., Schmid J.-P., Dendale P., Poerschke D., Hansen D., Dritsas A., Kouloubinis A., Alders T., Gkouziouta A., Reyckers I., Vartela V., Plessas N., Doulaptis C., Saner H., Laoutaris I.D. Combined aerobic/inspiratory muscle training vs. aerobic training in patients with chronic heart failure: the Vent-HeFT trial: a European prospective multicentre randomized trial. *Eur. J. Heart Fail.* 2014; 16(5): 574-582. DOI: 10.1002/ejhf.70
16. Nolan P.B., Keeling S.M., Robitaille C.A., Buchanan C.A., Dalleck L.C. The effect of detraining after a period of training on cardiometabolic health in previously sedentary individuals. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018; 15(10): 2303. DOI: 10.3390/ijerph15102303
17. Van der Wardt V., Harrison J.K., Welsh T., Conroy S., Gladman J. Withdrawal of antihypertensive medication: a systematic review. *J. Hypertens.* 2017; 35(9): 1742-1749. DOI: 10.1097/HJH.0000000000001405
18. Cornelissen V.A., Buys R., Smart N.A. Endurance exercise beneficially affects ambulatory blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J. Hypertens.* 2013; 31(4): 639-648. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32835ca964
19. DeLucia C.M., DeBonis D.R., Schwyhart S.M., Bailey E.F. Acute cardiovascular responses to a single bout of high intensity inspiratory muscle strength training in healthy young adults. *J. Appl. Physiol.* 2021; 130(4): 114-1121. DOI: 10.1152/jappphysiol.01015.2020

## References

1. Joseph P., Leong D., McKee M., Anand S.S., Schwalm J.-D., Teo K., Mentz A., Yusuf S. Reducing the global burden of cardiovascular disease, part 1: the epidemiology and risk factors. *Circ. Res.* 2017; 121(6): 677-694. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.117.308903
2. Whelton P.K., Carey R.M., Aronow W.S., Casey D.E., Collins K.J., Dennison Himmelfarb C., DePalma S.M., Gidding S., Jamerson K.A., Jones D.W., MacLaughlin E.J., Muntner P., Ovbigele B., Smith S.C.Jr., Spencer C.C., Stafford R.S., Taler S.J., Thomas R.J., Williams K.A.Sr., Williamson J.D., Wright J.T.Jr. ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the Prevention, Detection, Evaluation, and Management of High Blood Pressure in Adults: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Hypertension.* 2018; 71(6): 13-115. DOI: 10.1161/HYP.0000000000000065
3. Virani S.S., Alonso A., Benjamin E.J., Bittencourt M.S., Callaway C.W., Carson A.P., Chamberlain A.M., Chang A.R., Cheng S., Delling F.N., Djousse L., Elkind M.S.V., Ferguson J.F., Fornage M., Khan S.S., Kissela B.M., Knutson K.L., Kwan T.W., Lackland D.T., Lewis T.T., Lichtman J.H., Longenecker C.T., Loop M.S., Lutsey P.L., Martin S.S., Matsushita K., Moran A.E., Mussolino M.E., Perak A.M., Rosamond W.D., Roth G.A., Sampson U.K.A., Satou G.M., Schroeder E.B., Shah S.H., Shay C.M., Spartano N.L., Stokes A., Tirschwell D.L., VanWagner L.B., Tsao C.W., American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee. Heart disease and stroke statistics-2020 update: a report from the American Heart Association. *Circulation.* 2020; 141(9): 139-596. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000757
4. Craighead D.H., Freeberg K.A., Seals D.R. The protective role of regular aerobic exercise on vascular function with aging. *Curr. Opin. Physiol.* 2019; 10: 55-63. DOI: 10.1016/j.cophys.2019.04.005
5. Piercy K.L., Troiano R.P., Ballard R.M., Carlson S.A., Fulton J.E., Galuska D.A., George S.M., Olson R.D. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA.* 2018; 320(19): 2020-2028. DOI: 10.1001/jama.2018.14854
6. Schoenborn C.A., Stommel M. Adherence to the 2008 adult physical activity guidelines and mortality risk. *Am. J. Prev. Med.* 2011; 40(5): 514-521. DOI: 10.1016/j.amepre.2010.12.029
7. Kelly S., Martin S., Kuhn I., Cowan A., Brayne C., Lafortune L. Barriers and facilitators to the uptake and maintenance of healthy behaviours by people at mid-life: a rapid systematic review. *PLoS One.* 2016; 11(1): 14-50. DOI: 10.1371/journal.pone.0145074
8. Craighead D.H., Heinbockel T.C., Hamilton M.N., Bailey E.F., MacDonald M.J., Gibala M.J., Seals D.R. Time-efficient physical training for enhancing cardiovascular function in midlife and older adults: promise and current research gaps. *J. Appl. Physiol.* 2019; 127(5): 1427-1440. DOI: 10.1152/jappphysiol.00381.2019
9. Byalovsky Yu.Yu., Bulatetsky S.V. [Physiological mechanisms of human resistive respiration]. M: Ritm, 2018. 412 p. (in Russian)
10. Huang Y., Wang S., Cai X., Mai W., Hu Y., Tang H., Xu D. Prehypertension and incidence of cardiovascular disease: a meta-analysis. *BMC Med.* 2013; 11: 177. DOI: 10.1186/1741-7015-11-177
11. Ritz T., Meuret A.E., Bhaskara L., Petersen S. Respiratory muscle tension as symptom generator in individuals with high anxiety sensitivity. *Psychosom. Med.* 2013; 75(2): 187-195. DOI: 10.1097/PSY.0b013e31827d1072
12. DeLucia C.M., De Asis R.M., Bailey E.F. Daily inspiratory muscle training lowers blood pressure and vascular resistance in healthy men and women. *Exp. Physiol.* 2018; 103(2): 201-211. DOI: 10.1113/EP086641
13. Ramos-Barrera G.E., DeLucia C.M., Bailey E.F. Inspiratory muscle strength training lowers blood pressure and sympathetic activity in older adults with OSA: a randomized controlled pilot trial. *J. Appl. Physiol.* 2020; 129(3): 449-458. DOI: 10.1152/jappphysiol.00024.2020
14. Saglam M., Arikan H., Vardar-Yagli N., Calik-Kutukcu E., Inal-Ince D., Savci S., Akdogan A., Yokusoglu M., Kaya E.B., Tokgozoglu L. Inspiratory muscle training in pulmonary arterial hypertension. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev.* 2015; 35(3): 198-206. DOI: 10.1097/HCR.000000000000117
15. Adamopoulos S., Schmid J.-P., Dendale P., Poerschke D., Hansen D., Dritsas A., Kouloubinis A., Alders T., Gkouziouta A., Reyckers I., Vartela V., Plessas N., Doulaptsis C., Saner H., Laoutaris I.D. Combined aerobic/inspiratory muscle training vs. aerobic training in patients with chronic heart failure: the Vent-HeFT trial: a European prospective multicentre randomized trial. *Eur. J. Heart Fail.* 2014; 16(5): 574-582. DOI: 10.1002/ejhf.70
16. Nolan P.B., Keeling S.M., Robitaille C.A., Buchanan C.A., Dalleck L.C. The effect of detraining after a period of training on cardiometabolic health in previously sedentary individuals. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2018; 15(10): 2303. DOI: 10.3390/ijerph15102303
17. Van der Wardt V., Harrison J.K., Welsh T., Conroy S., Gladman J. Withdrawal of antihypertensive medication: a systematic review. *J. Hypertens.* 2017; 35(9): 1742-1749. DOI: 10.1097/HJH.0000000000001405
18. Cornelissen V.A., Buys R., Smart N.A. Endurance exercise beneficially affects ambulatory blood pressure: a systematic review and meta-analysis. *J. Hypertens.* 2013; 31(4): 639-648. DOI: 10.1097/HJH.0b013e32835ca964
19. DeLucia C.M., DeBonis D.R., Schwyhart S.M., Bailey E.F. Acute cardiovascular responses to a single bout of high intensity inspiratory muscle strength training in healthy young adults. *J. Appl. Physiol.* 2021; 130(4): 114-1121. DOI: 10.1152/jappphysiol.01015.2020

### Сведения об авторах:

**Бяловский Юрий Юльевич** — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой патофизиологии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-6769-8277>

**Ракитина Ирина Сергеевна** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры патофизиологии Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; <https://orcid.org/0000-0002-9406-1765>