



УДК 612.217

<https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>

Влияние силовых и аэробных тренировок на функцию внешнего дыхания и силу респираторных мышц спортсменов

М. О. Сегизбаева^{✉1}

¹ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

Сведения об авторе

Марина Оразовна Сегизбаева,
SPIN-код: 6801-1219,
Scopus AuthorID: 6603138129,
e-mail: segizbaevamo@infran.ru

Для цитирования:

Сегизбаева, М. О. (2021)
Влияние силовых и аэробных тренировок на функцию внешнего дыхания и силу респираторных мышц спортсменов.
Интегративная физиология, т. 2, № 2, с. 165–172.
<https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>

Получена 31 января 2021; прошла рецензирование 14 февраля 2021; принята 22 февраля 2021.

Права: © Автор (2021).

Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. Проведено комплексное исследование динамических показателей функции внешнего дыхания и максимальной силы дыхательных мышц у спортсменов, тренирующих силу ($n = 22$) и выносливость ($n = 24$), а также 20 контрольных участников, не имеющих специальной физической подготовки. Наиболее высокие значения максимального инспираторного (MIP) и экспираторного давления (MEP), отражающие суммарную силу сокращений инспираторной и экспираторной мускулатуры, а также величины динамических показателей функции внешнего дыхания наблюдались у атлетов, тренирующих выносливость, — их показатели значительно превосходили результаты контрольной группы. Между MIP/MEP и максимальной произвольной вентиляцией легких показана тесная корреляционная зависимость как в контрольной группе ($r = 0,64$ и $r = 0,6$ для MIP и MEP соответственно ($p < 0,01$)), так и в группе спортсменов-силовиков ($r = 0,57$ и $r = 0,58$ ($p < 0,001$)). В группе спортсменов, тренирующих выносливость, зависимость между указанными параметрами была незначительной и недостоверной. Полученные результаты позволяют заключить, что адаптация системы внешнего дыхания к физическим нагрузкам зависит от специфики спортивной тренировки. Наиболее высокие значения динамических показателей функции внешнего дыхания и повышение функциональных резервов дыхательных мышц наблюдаются у спортсменов, в тренировке которых преобладают интенсивные аэробные нагрузки.

Ключевые слова: спирометрия, максимальное инспираторное давление, максимальное экспираторное давление, максимальная произвольная вентиляция легких, аэробные тренировки, силовые тренировки.

The effect of endurance and power training on ventilatory function and respiratory muscle strength

М. О. Segizbaeva^{✉1}

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Author

Marina O. Segizbaeva,
SPIN: 6801-1219,
Scopus AuthorID: 6603138129,
e-mail: segizbaevamo@infran.ru

For citation: Segizbaeva, M. O. (2021) The effect of endurance and

Abstract. The aim of the study was to compare the respiratory muscle strength and ventilatory function variables in power and endurance athletes and their age-matched and sex-matched control group. The study showed that maximal inspiratory pressure (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP) as well as the dynamic ventilatory variables in endurance athletes were superior to those in power athletes and controls. MIP was shown to have greater positive correlations with maximal voluntary ventilation (MVV) for both control and power athletes ($r = 0.64$ & $r = 0.57$ respectively, $p < 0.01$ for both). Similarly, MEP was positively and significantly correlated with MVV in both control and power athletes ($r = 0.6$ & $r = 0.58$ respectively, $p < 0.01$). However,

power training on ventilatory function and respiratory muscle strength. *Integrative Physiology*, vol. 2, no. 2, pp. 165–172. <https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2021-2-2-165-172>

Received 31 January 2021;
reviewed 14 February 2021;
accepted 22 February 2021.

Copyright: © The Author (2021).
Published by Herzen State
Pedagogical University of Russia.
Open access under [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)
License 4.0.

MIP and MEP showed weak and statistically insignificant correlation with MVV in endurance athletes ($p > 0.05$). It is possible that intense endurance training leads to the maximal improvement of respiratory muscle strength and may contribute to the improvement of certain functional reserves of respiratory muscles. We conclude that the adaptation of the respiratory system to the exercise depends on the training routine. The biggest changes in the ventilatory function variables and an increase in the functional reserves of the respiratory muscles are observed in athletes whose training routine is dominated by intense aerobic exercise.

Keywords: ventilatory function, maximal inspiratory pressure, maximal expiratory pressure, maximal voluntary ventilation, endurance athletes, power athletes.

Введение

Адаптация организма человека к регулярным физическим нагрузкам — предмет многолетних исследований и важнейший вопрос физиологии спорта. В процесс спортивной тренировки в первую очередь вовлекаются скелетно-мышечная и сердечно-сосудистая системы, структурно-функциональные адаптивные изменения со стороны этих систем достаточно подробно изучены (McKenzie 2012). На протяжении многих лет считалось, что максимальная физическая работоспособность спортсмена ограничивается исключительно функциональными возможностями сердечно-сосудистой системы, а система внешнего дыхания обладает настолько мощным потенциальным резервом, что не может являться фактором, лимитирующим предельную работоспособность. В последние годы с появлением новых экспериментальных методик такой подход был пересмотрен. Исследованиями последних лет установлено, что система дыхания, а именно ее моторная часть, может быть одним из лимитирующих звеньев, которые определяют выносливость спортсмена (Amann 2012; Romer, Dempsey 2006; Romer, Polskey 2008; Segizbaeva et al. 2013; Wells, Norris 2009). Согласно современным данным, важным механизмом, обуславливающим ограничение физической нагрузки, является метаболический рефлекс дыхательных мышц. Метаболический рефлекс инициируется аккумуляцией метаболитов в дыхательных мышцах и развитием их утомления и через активацию метаболических рецепторов приводит к симпатически опосредованной вазоконстрикции локомоторных мышц (Janssens et al. 2013; Romer, Dempsey 2006). Вследствие этого происходит перераспределение кровотока от работающих мышц конечностей к мышцам дыхательным, увеличивая их оксигенацию. Снижение кровоснабжения локомоторных мышц способствует ускорению их утомления и ограничению работоспособности при выполнении

мышечных нагрузок тяжелой интенсивности (Janssens et al. 2013; Romer, Dempsey 2006; Wüthrich et al. 2013). Поэтому сила и выносливость дыхательной мускулатуры спортсменов является важным показателем функции системы дыхания, а ее оценка имеет значение при разработке программ тренировки спортсменов. Вместе с тем степень влияния регулярных мышечных нагрузок на функцию внешнего дыхания и силу дыхательных мышц у спортсменов, занимающихся различными видами спорта, исследована пока недостаточно. Практически нет данных о взаимосвязи между силой дыхательной мускулатуры и показателями функции внешнего дыхания. Основной задачей данного исследования явился сравнительный анализ показателей функции внешнего дыхания в комплексе с оценкой силы дыхательной мускулатуры у спортсменов, занимающихся аэробными и силовыми видами спорта.

Материалы и методы

Исследование проведено с участием 66 молодых мужчин-спортсменов, представителей аэробных (24) и силовых (22) видов спорта. В группу спортсменов, тренирующих выносливость, входили пловцы (10), легкоатлеты (бег на средние и длинные дистанции) (3), лыжники (6), футболисты (3), велогонщики (2). Группу спортсменов, тренирующих силу, составили представители разных видов борьбы (самбо (4), дзюдо (4), вольная борьба (5), армейский рукопашный бой (3), каратэ (1), армреслинг (3), кикбоксинг (2)). Все спортсмены имели квалификационные категории от первого спортивного разряда до мастера спорта. Контрольную группу составили 20 физически активных молодых мужчин — студентов вуза, не вовлеченных в занятия определенным видом спорта и не имеющих специальной спортивной подготовки. Критериями исключения из программы исследований являлись табачная зависимость, прием

фармацевтических препаратов, острые респираторные вирусные инфекции в течение предшествующих двух месяцев, наличие бронхолегочных, сердечно-сосудистых и нейромышечных заболеваний в анамнезе. Для стандартизации полученных результатов все приглашенные к участию в исследовании были одной возрастной категорией, имели сходные антропометрические данные, вели однотипный образ жизни. Обследуемые были подробно проинформированы о применяемых методиках, последовательности проведения исследований и дали письменное согласие на участие в них. Исследования проведены в соответствии с положениями Хельсинкской Декларации об исследованиях с участием человека.

Оценка функции внешнего дыхания проводилась с помощью спирометра MicroLoop (FusionCare, UK) с использованием индивидуальных антибактериальных одноразовых фильтров (FusionCare, UK). Все измерения выполнялись в соответствии с рекомендациями ATS/ERS (Miller et al. 2005). Определяли функциональную жизненную емкость легких (FVC), объем форсированного выдоха в первую секунду (FEV_1), пиковую скорость выдоха (PEF), пиковую скорость вдоха (PIF), а также измеряли максимальную произвольную вентиляцию легких (MVV). Эти параметры зависят от функциональных возможностей респираторной мускулатуры, что позволяет косвенно оценить ее функциональный резерв.

Сила сокращений дыхательных мышц оценивалась по величине ротового давления, генерируемого во время максимальных произвольных инспираторных (MIP) или экспираторных усилий (MEP) при перекрытых воздухоносных путях. Поскольку при выполнении таких маневров не происходит изменения легочного объема, величина измеряемого давления не зависит от свойств легких и отражает исключительно суммарную силу сокращений всех мышц, участвующих в инспираторном или экспираторном усилии. Маневр выполнялся от уровня остаточного объема легких для измерения максимального инспираторного давления (MIP) и от уровня общей емкости легких для измерения максимального экспираторного давления (MEP) (Segizbaeva, Aleksandrova 2019; Trooster 2005). Измерения MIP и MEP проводили с помощью портативного прибора RPM (FusionCare, Великобритания) в соответствии с рекомендациями по тестированию дыхательных мышц, разработанными совместно Американским торакальным и Европейским респираторным обществами (American Thoracic Society / European Respiratory

Society 2002). Использовались мягкие латексные загубники, соединенные с одноразовыми антибактериальными фильтрами от производителя оборудования (FusionCare, UK). Именно такие загубники плотно облегают ротовую полость и предотвращают даже минимальную утечку воздуха при выполнении форсированных инспираторных и экспираторных маневров (Troosters 2005). Измерения производили не менее пяти раз с перерывами в одну минуту, в расчет принимали максимальное из достигнутых величин MIP и MEP.

Статистический анализ данных производился с использованием пакета статистических программ Microsoft Excel. Данные представлены как среднее \pm ошибка среднего $m \pm SE$ с указанием диапазона минимально-максимальных значений. При сравнении межгрупповых различий показателей использовали *t*-критерий Стьюдента. Степень корреляционной связи между силой дыхательных мышц и максимальной произвольной вентиляцией легких оценивали по значениям коэффициента корреляции Пирсона. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследований

В таблице 1 представлены антропометрические данные испытуемых. Среди групп испытуемых не было статистически значимых различий в возрасте, весе, росте и индексе массы тела.

Рисунок 1 демонстрирует значения максимального инспираторного и экспираторного давления у спортсменов аэробных и силовых видов спорта и контрольной группы. Максимальная сила инспираторных и экспираторных мышц была значимо выше контроля во всех группах спортсменов, причем наибольшие значения MIP и MEP были отмечены в группе спортсменов, тренирующих выносливость, и достигали 163 и 172 см H₂O соответственно, что на 41% и 40% выше контроля ($p < 0,001$). В группе спортсменов-силовиков значения MIP и MEP также были выше контроля на 20% и 18%, но меньше, чем у спортсменов, тренирующих выносливость.

В таблице 2 приведены средние фоновые данные показателей функции внешнего дыхания спортсменов и контрольной группы. Значения всех исследованных динамических показателей внешнего дыхания у спортсменов, в тренировке которых преобладают аэробные нагрузки, также превосходили как должные величины, так и результаты контрольной группы. Средняя величина FVC в этой группе спортсменов пре-

Табл. 1. Антропометрические характеристики спортсменов и контрольной группы участников

Table 1. Anthropometric characteristics of experimental groups

Показатели	Спортсмены		Контрольная группа
	тренирующие выносливость	тренирующие силу	
Возраст, лет	19,4 ± 0,4 (18–20)	19,6 ± 0,5 (18–20)	19,7 ± 0,4 (18–20)
Масса тела, кг	73,8 ± 6,2 (58–91)	76,4 ± 7,1 (64–105)	74,25 ± 8,1 (56–104)
Рост, см	179,8 ± 5,8 (163–193)	176,1 ± 5,9 (163–185)	178,8 ± 6,7 (167–188)
ИМТ, кг/м ²	22,6 ± 1,4 (20,2–26,1)	24,8 ± 2,7 (20,5–32,2)	22,6 ± 2,6 (19,1–29,2)

Данные представлены в виде «среднее ± SE», в скобках указан разброс данных в группе обследуемых. ИМТ — индекс массы тела

The data is given as “an average ± SE”. The variation of data in the experimental group is indicated in brackets. ИМТ (BMI) — body mass index

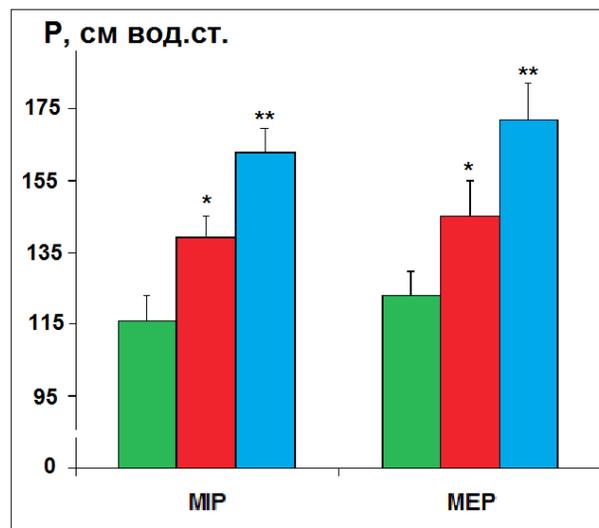


Рис. 1. Максимальное инспираторное (MIP) и экспираторное (MEP) давление у спортсменов, тренирующих силу (красные столбики) и выносливость (синие столбики), а также контрольной группы испытуемых (зеленые столбики). * — $p < 0,05$, ** — $p < 0,01$ по сравнению с контролем

Fig. 1. Maximal inspiratory (MIP) and maximal expiratory pressure (MEP) in power athletes (red bars) and endurance athletes (blue bars) as well as in the control group (green bars). * — $p < 0.05$, ** — $p < 0.01$ compared with the control group

вышла контроль на 15%, FEV₁ на 16%, MVV достигала 178 л/мин, что было выше на 13% и 22% по сравнению с результатами силовой группы и контролем соответственно.

Менее выраженный прирост показателей функции внешнего дыхания отмечен в группе спортсменов, тренировка которых направлена на развитие силы.

На рисунках 2 и 3 представлены корреляционные зависимости между величиной максимального инспираторного и экспираторного

ротового давления и значениями максимальной произвольной вентиляции легких.

Результаты показали тесную корреляционную зависимость этих показателей как в контрольной группе ($r = 0,64$ и $r = 0,6$) для MIP и MEP соответственно ($p < 0,01$), так и в группе спортсменов-силовиков ($r = 0,57$ и $r = 0,58$ ($p < 0,01$)), однако в группе представителей аэробных видов спорта эта зависимость была незначительной и недостоверной.

Табл. 2. Максимальное инспираторное и экспираторное давление и динамические показатели функции внешнего дыхания спортсменов и контрольной группы испытуемых

Table 2. Lung function variables in power and endurance athletes and the control group

Показатели	Контроль (n = 20)	Спортсмены	
		тренирующие выносливость (n = 22)	тренирующие силу (n = 24)
FVC, л	4,8 ± 0,17 (3,73–5,7)	5,53 ± 0,15* (4,76–7,4)	5,3 ± 0,19 (3,65–6,69)
FEV ₁ , л	4,25 ± 0,17 (2,6–4,88)	4,95 ± 0,16* (4,23–6,31)	4,51 ± 0,15 (3,67–5,55)
PIF, л/с	6,63 ± 0,37 (3,74–9,03)	7,2 ± 0,37* (5,97–10,14)	6,77 ± 0,27 (4,25–8,67)
PEF, л/с	8,2 ± 0,40 (6,09–11,3)	9,2 ± 0,29* (7,85–11,29)	8,42 ± 0,26 (6,84–11,44)
MVV, л/мин	145,76 ± 5,95 (97–171)	178,4 ± 4,65** (145–225)	157,86 ± 6,22* (119–187)

Данные представлены в виде «среднее ± SE», в скобках указан разброс данных в группе обследуемых. FVC — форсированная жизненная емкость легких; FEV₁ — объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; PIF — пиковая скорость выдоха; PEF — пиковая скорость вдоха; MVV — максимальная произвольная вентиляция легких. * p < 0,05; ** p < 0,01 относительно контроля.

The data is given as “an average ± SE”. The variation of data in the experimental group is indicated in brackets. FVC — forced vital capacity; FEV₁ — forced expiratory volume per second; PIF — peak inspiratory flow; PEF — peak expiratory flow; MVV — maximal voluntary ventilation. * p < 0.05; ** p < 0.01 against the control group.

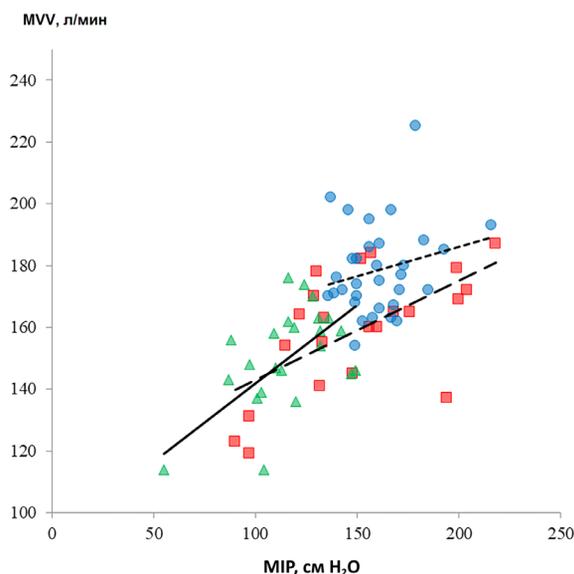


Рис. 2. Корреляционная зависимость между максимальным инспираторным давлением (MIP) и максимальной произвольной вентиляцией легких (MVV) у спортсменов, занимающихся силовыми и аэробными видами спорта, и контрольной группы. Условные обозначения: зеленые треугольники и сплошная линия тренда — контроль; красные квадраты и пунктирная линия тренда — спортсмены, тренирующие силу; синие кружки и штриховая линия тренда — спортсмены, тренирующие выносливость

Fig. 2. Correlation between the maximum inspiratory pressure (MIP) and the maximum voluntary ventilation (MVV) in power athletes, endurance athletes and the control group. Symbols: green triangles and a solid trend line — control group; red squares and a dotted trend line — power athletes; blue circles and a dashed trend line — endurance athletes

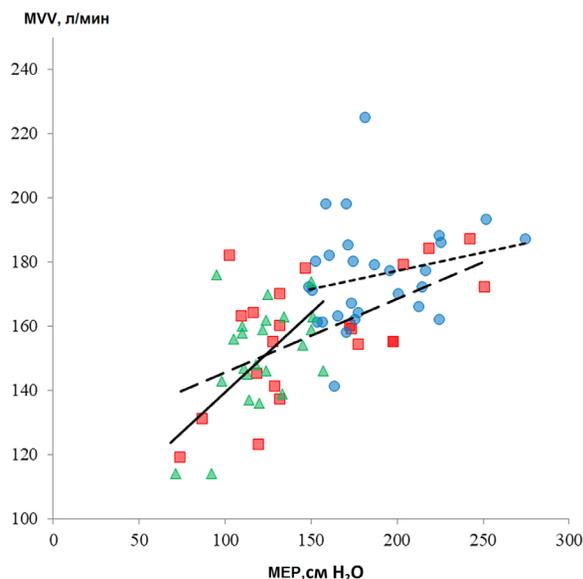


Рис. 3. Корреляционная зависимость между максимальным экспираторным давлением (MEP) и максимальной произвольной вентиляцией легких (MVV) у спортсменов, занимающихся силовыми и аэробными видами спорта, и контрольной группы. Условные обозначения: зеленые треугольники и сплошная линия тренда — контроль; красные квадраты и пунктирная линия тренда — спортсмены, тренирующие силу; синие кружки и штриховая линия тренда — спортсмены, тренирующие выносливость

Fig. 3. Correlation between the maximum expiratory pressure (MEP) and the maximum voluntary ventilation (MVV) in power athletes, endurance athletes and the control group. Symbols: green triangles and a solid trend line — control group; red squares and a dotted trend line — power athletes; blue circles and a dashed trend line — endurance athletes

Обсуждение результатов

Результаты проведенного исследования показали, что наиболее высокие значения показателей функции внешнего дыхания наблюдаются у спортсменов, в тренировке которых преобладают интенсивные аэробные нагрузки. Сходные данные были получены при обследовании спортсменов, занимающихся плаванием (Lazovic-Popovic et al. 2016; Sable et al. 2012), конькобежным спортом и лыжными гонками (Chernyak et al. 2019), футболом (Ozmen et al. 2017), греблей (Klusiewicz et al. 2008). Было показано, что значения FEV_1 на 20% выше у спортсменов высокого уровня по сравнению с данными общей популяции (Cheng et al. 2003). В нашем исследовании эта разница составила 15%. Разница в достигнутых значениях МВЛ составила 23% между спортсменами, тренирующими выносливость, и контрольной группой. Такие адаптивные изменения могут быть связаны с повышением эластичности легких, увеличением объема наполнения альвеол воздухом, снижением сопротивления воздухоносных путей вследствие регулярных и продолжительных аэробных нагрузок (Durmic et al. 2017). Более того, аэробные физические нагрузки также

повышают силу сокращений дыхательных мышц, которая хорошо поддается тренировке «рабочим гиперпноэ» (HajGhanbari et al. 2013), а это определенно способствует улучшению динамических показателей функции внешнего дыхания, особенно максимальной произвольной вентиляции легких. Значительное превышение величин MVV в группе спортсменов аэробных видов спорта по сравнению с группой силовых и контролем может быть обусловлено как большими легочными объемами, так и высоким уровнем тренированности и выносливости дыхательной мускулатуры. Вероятно, что высокоинтенсивные аэробные нагрузки приводят к значительному повышению силы дыхательных мышц и могут вносить вклад в достижение определенных функциональных пределов. Слабая корреляция между значениями максимальной силы респираторной мускулатуры и максимальной вентиляции легких позволяет предположить, что функциональные ресурсы спортсменов аэробных видов спорта высокой квалификации близки к их потенциальным предельным возможностям. Поэтому дополнительная специальная тренировка дыхательной мускулатуры не будет способствовать значимому повышению их силы.

В то же время у спортсменов, тренирующих силу, динамические показатели функции внешнего дыхания были незначительно выше по сравнению с данными общей популяции мужчин соответствующего возраста ($p > 0,05$). Аналогичные результаты были получены в работе Т. Дармич (Durmic et al. 2017). Кроме того, в недавно опубликованной работе Д. А. Хэкетта также обнаружено, что значения показателей функции внешнего дыхания ниже у спортсменов, тренирующих силу, чем у тренирующих выносливость (Hackett 2020). Среднее значение максимальной силы дыхательных мышц в группе спортсменов-силовиков в нашем исследовании достоверно превышало значения контрольной группы, но было ниже, чем у представителей аэробных видов спорта. Специфика тренировки спортсменов, занимающихся силовыми видами спорта, направлена на развитие мышечной силы и не оказывает столь выраженного эффекта на адаптивные изменения в системе внешнего дыхания.

При анализе корреляционной зависимости между силой дыхательных мышц и MVV нами была продемонстрирована тесная достоверная связь именно в контрольной группе испытуемых и группе спортсменов силовых видов (рис. 1, 2). Эти данные позволяют предположить, что у спортсменов-силовиков, как и у контрольной группы испытуемых, сохраняются потенциальные резервные возможности для повышения как силы дыхательной мускулатуры, так и для улучшения динамических показателей функции внешнего дыхания. Дополнительная специальная тренировка дыхательной мускулатуры будет наиболее эффективна и полезна для спортсме-

нов — представителей силовых видов для повышения ее силы и выносливости. А улучшение функции дыхательных мышц, в свою очередь, будет способствовать повышению общей выносливости и максимальной работоспособности спортсмена, обеспечивая замедление развития их утомления и проявления метаболического рефлекса при выполнении интенсивных и длительных мышечных нагрузок.

Заключение

На основании результатов исследования и литературных данных можно заключить, что аэробные и силовые тренировки вызывают различные адаптивные изменения в системе внешнего дыхания. Адаптация системы дыхания к физическим нагрузкам зависит от специфики спортивной тренировки. Спортсмены, тренирующие выносливость, имеют более высокие значения силы дыхательных мышц и динамических показателей функции внешнего дыхания по сравнению с представителями силовых видов спорта и общей популяцией. В этой группе спортсменов не выявлена корреляционная зависимость между силой дыхательных мышц и максимальной произвольной вентиляцией легких, в отличие от спортсменов, тренирующих силу, и нетренированных представителей общей популяции. В связи с этим эффективность специфической тренировки дыхательных мышц будет выше у спортсменов, тренирующих силу, спортсменов с низкими значениями MIP и MEP, а также у здоровых физически активных людей по сравнению с атлетами, в тренировке которых преобладают интенсивные аэробные нагрузки.

References

- Amann, M. (2012) Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans. *Experimental Physiology*, vol. 97, no. 3, pp. 311–318. <https://www.doi.org/10.1113/expphysiol.2011.058800> (In English)
- American Thoracic Society / European Respiratory Society. (2002) ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *American Journal Respiratory Critical Care Medicine*, vol. 166, no. 4, pp. 518–624. <https://www.doi.org/10.1164/rccm.166.4.518> (In English)
- Cheng, Y. J., Macera, C. A., Addy, C. L. et al. (2003) Effects of physical activity on exercise tests and respiratory function. *British Journal Sports Medicine*, vol. 37, no. 6, pp. 521–528. <https://www.doi.org/10.1136/bjism.37.6.521> (In English)
- Chernyak, A. V., Neklyudova, G. V., Naumenko, Zh. K., Pashkova, T. L. (2019) Funktsiya vneshnego dykhaniya u sportmenov, zanimayushikhsya lyzhnymi gonkami i kon'kobezhnym sportom [Lung function in athletes involved in skiing and speed skating]. *Pul'monologiya — Russian Pulmonology*, vol. 29, no. 1, pp. 62–69. <https://www.doi.org/10.18093/0869-0189-2019-29-1-62-69> (In Russian)
- Durmic, T., Lazovic Popovic, B., Zlatkovic Svenda, M. et al. (2017) The training type influence on male elite athletes' ventilatory function. *British Medical Journal Open Sport & Exercise Medicine*, vol. 3, no. 1, article e000240. <https://www.doi.org/10.1136/bmjsem-2017-000240> (In English)
- Hackett, D. A. (2020) Lung function and respiratory muscle adaptations of endurance- and strength-trained males. *Sports*, vol. 8, no. 12, article 160. (In English)

- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R. et al. (2013) Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, vol. 27, no. 6, pp. 1643–1663. <https://www.doi.org/10.1519/JSC.0b013e318269f73f> (In English)
- Janssens, L., Brumagne, S., McConnell, A. K. et al. (2013) The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: A systematic review. *Respiratory Medicine*, vol. 107, no. 3, pp. 331–346. <https://www.doi.org/10.1016/j.rmed.2012.11.019> (In English)
- Klusiewicz, K. (2008) Characteristics of the inspiratory muscle strength in the well-trained male and female athletes. *Biology of Sport*, vol. 25, no. 1, pp. 13–22. (In English)
- Lazovic-Popovic, B., Zlatkovic-Svenda, M., Durmic, T. et al. (2016) Superior lung capacity in swimmers: Some questions, more answers! *Revista Portuguesa de Pneumologia*, vol. 22, no. 3, pp. 151–156. <https://www.doi.org/10.1016/j.rppnen.2015.11.003> (In English)
- McKenzie, D. C. (2012) Respiratory physiology: Adaptations to high-level exercise. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 46, no. 6, pp. 381–384. <https://www.doi.org/10.1136/bjsports-2011-090824> (In English)
- Miller, M. R., Crapo, R., Hankinson, J. et al. (2005) General considerations for lung function testing. *European Respiratory Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 153–161. <https://www.doi.org/10.1183/09031936.05.00034505> (In English)
- Ozmen, T., Gunes, G. Y., Ucar, I. et al. (2017) Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players. *Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*, vol. 57, no. 5, pp. 507–513. <https://www.doi.org/10.23736/S0022-4707.16.06283-6> (In English)
- Romer, L. M., Dempsey, J. A. (2006) Legs play out for the cost of breathing! *Physiology News Magazine*, vol. 65, pp. 25–29. <https://www.doi.org/10.36866/pn.65.25> (In English)
- Romer, L. M., Polkey, M. I. (2008) Exercise-induced respiratory muscle fatigue: Implications for performance. *Journal of Applied Physiology*, vol. 104, no. 3, pp. 879–888. <https://www.doi.org/10.1152/jappphysiol.01157.2007> (In English)
- Sable, M., Vaidya, S. M., Sable, S. S. (2012) Comparative study of lung functions in swimmers and runners. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, vol. 56, no. 1, pp. 100–104. PMID: 23029972. (In English)
- Segizbaeva, M. O., Aleksandrova, N. P. (2019) Assessment of the functional state of respiratory muscles: Methodological aspects and data interpretation. *Human Physiology*, vol. 45, no. 2, pp. 213–224. <https://doi.org/10.1134/S0362119719010110> (In English)
- Segizbaeva, M. O., Donina, Zh. A., Timofeev, N. N. et al. (2013) EMG Analysis of human inspiratory muscle resistance to fatigue during exercise. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, vol. 788, pp. 197–205. https://www.doi.org/10.1007/978-94-007-6627-3_29 (In English)
- Troosters, T., Gosselink, R., Decramer, M. (2005) Respiratory muscle assessment. In: R. Gosselink, H. Stam (eds.). *Lung function testing. Vol. 31*. Sheffield: European Respiratory Society Journals Ltd, pp. 57–71. (In English)
- Wells, G. D., Norris, S. R. (2009) Assessment of physiological capacities of elite athletes & respiratory limitations to exercise performance. *Pediatric Respiratory Reviews*, vol. 10, no. 3, pp. 91–98. <https://www.doi.org/10.1016/j.prrv.2009.04.002> (In English)
- Wüthrich, T. U., Notter, D. A., Spengler, C. M. (2013) Effect of inspiratory muscle fatigue on exercise performance taking into account the fatigue-induced excess respiratory drive. *Experimental Physiology*, vol. 98, no. 12, pp. 1705–1717. <https://www.doi.org/10.1113/expphysiol.2013.073635> (In English)