ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2021, том 47, № 5, с. 87–94

УДК 612.21

АДАПТАЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ

© 2021 г. М. О. Сегизбаева[1], *, Н. П. Александрова[1]

[1]*ФГБУН Институт физиологии имени И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail: segizbaevamo@infran.ru*

Поступила в редакцию 24.02.2021 г.
После доработки 23.03.2021 г.
Принята к публикации 26.05.2021 г.

Проведено комплексное исследование показателей функции внешнего дыхания (ФВД) и максимального инспираторного (*MIP*) и экспираторного давления (*MEP*) у спортсменов, тренирующих выносливость или силу. Обследовано 36 спортсменов, занимающихся плаванием ($n = 12$), игровыми видами спорта ($n = 12$) и борьбой ($n = 12$). Контрольную группу составили 14 сопоставимых по возрасту, полу и антропометрическим параметрам мужчин, не имеющих специальной физической подготовки. Наиболее выраженное превышение значений *MIP* и *MEP*, отражающих суммарную силу сокращений мышц вдоха или выдоха, а также динамических показателей функции внешнего дыхания наблюдалось у спортсменов-пловцов – они значительно превосходили как должные величины, так и результаты контрольной группы. Между максимальной силой дыхательных мышц и максимальной произвольной вентиляцией легких показана тесная корреляционная зависимость как в контрольной группе ($r = 0.86$ и $r = 0.81$ для *MIP* и *MEP* соответственно ($p < 0.01$)), так и в группе спортсменов-борцов ($r = 0.87$ ($p < 0.01$) и $r = 0.66$ ($p < 0.05$)). Слабая зависимость выявлена в группе представителей игровых видов спорта, а в группе пловцов эта зависимость была совершенно незначительной и не достоверной. Эти данные позволяют заключить, что динамические нагрузки у спортсменов, тренирующих выносливость и статические нагрузки у спортсменов, тренирующих силу, вызывают различные адаптационные изменения в системе внешнего дыхания. Наиболее выраженные изменения и повышение функциональных резервов в респираторной системе наблюдаются у спортсменов, тренирующих выносливость, в особенности у пловцов. Минимальные изменения наблюдаются у спортсменов, занимающихся разными видами борьбы. В связи с этим эффективность специфической тренировки дыхательных мышц будет выше у представителей силовых и игровых видов спорта по сравнению с атлетами, занимающимися плаванием.

Ключевые слова: спирометрия, дыхательные мышцы, максимальное инспираторное давление, максимальное экспираторное давление, максимальная произвольная вентиляция легких, плавание, борьба, игровые виды сорта.

DOI: 10.31857/S0131164621050106

В процессе регулярных физических нагрузок у спортсменов развиваются адаптивные изменения со стороны сердечно-сосудистой и скелетно-мышечной систем, которые активно вовлечены в процесс спортивной тренировки, и эти изменения достаточно подробно изучены [1]. В тоже время, адаптация системы внешнего дыхания спортсменов исследована недостаточно, и практически отсутствуют данные, оценивающие силу дыхательных мышц и ее связь с показателями функции внешнего дыхания, особенно в отношении спортсменов различных специализаций и разного уровня мастерства. Традиционно считалось, что система дыхания здорового человека обладает значительным функциональным резервом и не является определяющим фактором в ограничении максимальной работоспособности спортсмена. Действительно, потенциальные возможности моторного и бронхо-легочного компонентов респираторной системы человека значительно превышают потребности для обеспечения адекватного газообмена в покое и имеют существенный “запас прочности” для поддержания высоких уровней альвеолярной вентиляции легких при интенсивных физических нагрузках в соответствии с метаболическими запросами [2]. Тем не менее, многочисленные современные исследования убедительно доказали, что система дыхания спортсменов, а именно ее моторный компонент, может стать лимитирующим звеном в достижении максимального спортивного результата при высокоинтенсивных и длительных мышечных нагрузках [3–5]. В условиях “рабочего гиперпноэ” значительно возрастает нагрузка на дыха-

тельные мышцы спортсмена, увеличивается работа дыхания по преодолению эластического и резистивного (аэродинамического) сопротивления дыханию, многократно возрастает усилие респираторных мышц, необходимое для создания и обеспечения высоких скоростей воздушных потоков в дыхательных путях. Длительная работа респираторной мускулатуры в столь напряженных режимах, вызывает развитие ее утомления, снижение сократительной способности и, в конечном итоге, способствует ограничению предельной работоспособности спортсмена [6, 7]. Основным механизмом, лежащем в основе ограничения переносимости физической нагрузки тяжелой интенсивности, является метаборефлекс дыхательных мышц [4, 8, 9]. Триггером для его активации является развитие утомления респираторной мускулатуры, в результате чего возникает симпатически опосредованная вазоконстрикция активно работающих мышц конечностей и перераспределение кровотока в пользу мышц дыхательных, требующих увеличенного кислородного обеспечения. Такое перераспределение кровотока и ограничение энергоснабжения сокращающихся локомоторных мышц усиливает их утомление и интенсифицирует тягостное ощущение усилия, тем самым способствуя отказу от продолжения работы.

Регулярные спортивные тренировки определенно должны способствовать улучшению и развитию дыхательной функции. Тем не менее, некоторые исследования показали отсутствие адаптационных изменений функции внешнего дыхания у спортсменов [10, 11]. Влияние специфики тренировки спортсменов различных видов спорта на функцию внешнего дыхания изучено в немногочисленных работах [11–14]. А степень влияния спортивных нагрузок на функцию внешнего дыхания и силу дыхательных мышц исследована совершенно недостаточно, особенно в отношении специфики различных видов спорта. При выполнении форсированных дыхательных маневров для измерения объемно-скоростных показателей активно вовлекаются все основные и вспомогательные инспираторные и экспираторные мышцы, резко изменяя перепады внутригрудного давления [15]. Поэтому для наиболее полного и объективного анализа влияния разных видов тренировки на функцию внешнего дыхания спортсменов необходимо учитывать также и индивидуальные значения максимальной силы инспираторных и экспираторных мышц.

Целью настоящей работы явилось исследование особенностей адаптации системы внешнего дыхания и сравнительная оценка максимальной силы сокращений респираторных мышц у спортсменов, тренирующих силу (разные виды борьбы) и выносливость (плавание и командные игровые виды спорта).

МЕТОДИКА

В исследовании принимали участие 36 молодых мужчин-спортсменов. Участники были разделены на 3 группы по 12 чел. в соответствии с их спортивной специализацией. В группы спортсменов, тренирующих выносливость, вошли пловцы и представители игровых видов спорта (волейбол, баскетбол, футбол, хоккей), в группу спортсменов, тренирующих силу – представители разных видов борьбы (самбо, дзю-до, вольная борьба, армейский рукопашный бой, армреслинг). Все спортсмены имели квалификационные категории от 1 спортивного разряда до мастера спорта. В контрольную группу вошли 14 физически активных молодых мужчин – студентов ВУЗа, не имеющих специальной спортивной подготовки. Все обследуемые не имели бронхо-легочных, сердечно-сосудистых и нейро-мышечных заболеваний и не были подвержены острым респираторным вирусным инфекциям в течение предшествующих 2 мес. Для того, чтобы стандартизировать получаемые результаты, все приглашенные к участию в исследовании были одной возрастной категории, имели сходные антропометрические данные, вели однотипный образ жизни и получали одинаковое питание (табл. 1). Все обследуемые не имели табачной зависимости и на момент проведения исследования не принимали каких-либо фармацевтических препаратов. Всем участникам исследования была проведена оценка функции внешнего дыхания (ФВД) с помощью спирометра *MicroLoop* (*Fusion Care*, Великобритания) с использованием индивидуальных антибактериальных одноразовых фильтров (*Fusion-Care*, Великобритания). Измерения проводили в соответствии с рекомендациями *ATS/ERS* [16]. Определяли функциональную жизненную емкость легких (*FVC*), объем форсированного выдоха в 1-ю 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.

Силу сокращений дыхательных мышц оценивали 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 акте вдоха или выдоха. Маневр выполнялся от уровня остаточного объема легких для измерения максимального инспираторного давления (*MIP*) и от

Таблица 1. Антропометрические характеристики спортсменов и контрольной группы участников

Параметры	Контроль (n = 14)	Пловцы (n = 12)	Игровики (n = 12)	Борцы (n = 12)
Возраст, л.	19.6 ± 0.59 (18.9–20.6)	19.3 ± 0.45 (19.2–20.2)	19.5 ± 0.52 (18.9–20.1)	19.8 ± 0.62 (19.4–20.8)
Рост, см	181.29 ± 3.29 (172–194)	182.15 ± 5.60 (169–194)	180.58 ± 6.33 (173–194)	176.92 ± 7.40 (165–187)
Вес, кг	73.07 ± 10.43 (60–102)	76.69 ± 6.19 (64–85)	75.58 ± 6.47 (64–90)	76.17 ± 7.33 (65–88)
BMI	22.22 ± 2.28 (19.7–28)	23.08 ± 0.93 (21.5–24.7)	23.13 ± 0.97 (20.7–24.5)	24.03 ± 1.97 (20–28.4)

Примечание: данные представлены в виде среднее ± *SD*, в скобках указан разброс данных в группе обследуемых. *BMI* – индекс массы тела.

уровня общей емкости легких для измерения максимального экспираторного давления (*MEP*). Измерения *MIP* и *MEP* проводили с помощью портативного прибора *RPM* (*FusionCare*, Великобритания) в соответствии с рекомендациями по тестированию дыхательных мышц, разработанными совместно с Американским Торакальным и Европейским Респираторным Обществами (*ATS*/*ERS*) в 2002 г. [17]. В соответствии с этими рекомендациями максимальное давление регистрируется в самом начале маневра и должно поддерживаться, по крайней мере, 1 с (плато давления) в 3–4-секундном усилии. Использовали мягкие латексные загубники, соединенные с одноразовыми антибактериальными фильтрами от производителя оборудования (*FusionCare*, Великобритания). Именно такие загубники плотно облегают ротовую полость и предотвращают даже минимальную утечку воздуха при выполнении форсированных инспираторных и экспираторных маневров [18, 19]. Измерения производили не менее 5 раз с перерывами в 1 мин, в расчет принимали максимальное из достигнутых величин *MIP* и *MEP*.

Статистический анализ данных проводили с использованием пакета статистических программ *Microsoft Excel* и *Statistica* 7.0 для *Windows*. Данные представлены как среднее ± стандартное отклонение $m \pm SD$ с указанием диапазона минимально-максимальных значений. Тест Колмогорова-Смирнова использовали для оценки нормальности распределения данных. Уровень значимости $p > 0.2$ указывал на нормальное распределения данных. 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 считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Антропометрические характеристики участников исследования представлены в табл. 1. Все участники были одной возрастной категории и не имели значимых различий в антропометрических параметрах. Табл. 2 демонстрирует средние фоновые данные показателей функции внешнего дыхания и значения максимального инспираторного и экспираторного давления у спортсменов-пловцов, борцов, представителей игровых 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 пловцов и достигали 164.9 и 175.7 см H_2O соответственно, что на 44 и 50% выше контроля ($p < 0.001$). Значения всех исследованных показателей функции внешнего дыхания у пловцов также превосходили как должные величины, рассчитанные с учетом возраста, роста и веса, так и результаты других групп спортсменов и контрольной группы (табл. 2). Важно отметить, что средняя величина *MVV* в группе пловцов достигала 193 л/мин, что составляло 125.1% от должной величины, и была значительно выше по сравнению с другими группами спортсменов и контролем. Представители игровых видов спорта, специфика тренировки которых также направлена на развитие выносливости, показали не столь высокие, как у пловцов, значения силы дыхательных мышц и динамические параметры функции внешнего дыхания, но их величины также превышали как показания контрольной группы ($p < 0.05$), так и группы спортсменов-борцов, хотя это превышение не было статистически значимым (табл. 2). На рис. 1 и 2 представлены корреляционные зависимости величины максимальной произвольной вентиляции легких от значений максимального инспираторного и экспираторного ротового давления. Результаты показывают тесную корреляционную зависимость этих показателей как в контрольной

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

Параметры	Контроль	Пловцы	Игровики	Борцы
MIP, см H_2O	114.57 ± 24.12 (60–142)	164.92 ± 18.48**, # (140–216)	140.0 ± 19.55* (118–183)	129.33 ± 23.95* (90–168)
MEP, см H_2O	116.79 ± 24.53 (68–150)	175.69 ± 29.55**, # (140–252)	149.85 ± 35.78* (116–226)	134.25 ± 31.21* (74–198)
FVC, л.	4.69 ± 0.64 (4.06–5.97)	5.79 ± 0.66*, # (4.71–7.39)	5.44 ± 0.59* (4.63–6.66)	5.05 ± 0.76 (3.91–6.3)
% долж.	98.1 ± 8.49 (86–107)	113.54 ± 11.76*, # (88–136)	104.4 ± 9.38* (86–121)	100.67 ± 9.10 (84–114)
FEV_1, л.	4.21 ± 0.67 (3.48–5.18)	4.94 ± 0.52*, # (4.31–6.31)	4.8 ± 0.48* (3.77–5.61)	4.45 ± 0.55 (3.57–5.35)
%, долж.	96.43 ± 10.43 (82–115)	115 ± 12.35*, # (90–138)	108.75 ± 6.95* (87–117)	102.83 ± 7.89 (92–115)
PEF, л/с	8.62 ± 1.50 (6.53–9.76)	10.18 ± 0.93*, # (8.16–11.33)	9.32 ± 1.00* (7.63–10.7)	9.14 ± 1.01 (6.92–10.44)
% долж.	86.12 ± 0.78 (69–98)	106.38 ± 9.48*, # (88–112)	102.7 ± 23.45* (78–108)	101.83 ± 9.93 (82–110)
PIF, л/с	6.69 ± 1.38 (3.78–9.03)	7.94 ± 1.63# (5.49–10.22)	6.86 ± 1.48 (4.06–9.26)	6.76 ± 1.28 (4.25–8.87)
MVV, л/мин	151.01 ± 20.34 (99–174)	193.15 ± 12.18**, ## (182–225)	169.75 ± 16.61* (136–202)	156.53 ± 16.36 (131–175)
% долж.	100.02 ± 21.51 (78–110)	125.08 ± 21.24**, ## (93–141)	109.5 ± 14.49* (89–120)	103.75 ± 24.64 (88–140)

Примечание: данные представлены в виде среднее ± *SD*, в скобках указан разброс данных в группе обследуемых. *MIP* – максимальное инспираторное давление; *MEP* – максимальное экспираторное давление; *FVC* – форсированная жизненная емкость легких; FEV_1 – объем форсированного выдоха за 1-ю секунду; *PEF* – пиковая скорость выдоха; *PIF* – пиковая скорость вдоха; МВЛ – максимальная произвольная вентиляция легких; % долж. – процент от должных значений. * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$ относительно контроля; # – $p < 0.05$; ## – $p < 0.01$ относительно группы борцов.

группе ($r = 0.86$ и $r = 0.81$ для *MIP* и *MEP* соответственно ($p < 0.01$)), так и в группе спортсменов-борцов ($r = 0.87$ ($p < 0.01$) и $r = 0.66$ ($p < 0.05$)). Слабая зависимость выявлена в группе представителей игровых видов спорта, а в группе пловцов эта зависимость была совершенно незначительной и не достоверной.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные подтверждают, что показатели функции внешнего дыхания и максимальная сила сокращений дыхательных мышц спортсменов, тренирующих выносливость, существенно выше, чем в общей популяции мужчин соответствующего возраста и антропометрических параметров. Причем наибольшие отличия относительно контроля отмечены у пловцов, в меньшей степени – у представителей спортивных командных игр. Действительно, специфика подготовки спортсменов, тренирующих выносливость, направлена на повышение аэробных возможностей организма, которые обеспечивает кардио-респираторная система. “Рабочее гиперпноэ” также является важнейшим механизмом тренировки, в первую очередь, дыхательной мускулатуры, а кроме того, способствует морфо-функциональным адаптивным изменениям в системе внешнего дыхания, обеспечивая улучшение показателей ее функции. Вероятно, хорошо развитые и мощные дыхательные мышцы атлетов вносят вклад в обеспечение высоких значений динамических показателей функции внешнего дыхания, особенно *MVV*, которые значительно превышают должные величины, что согласуется с ранее полученными данными [20]. Вполне логично, что

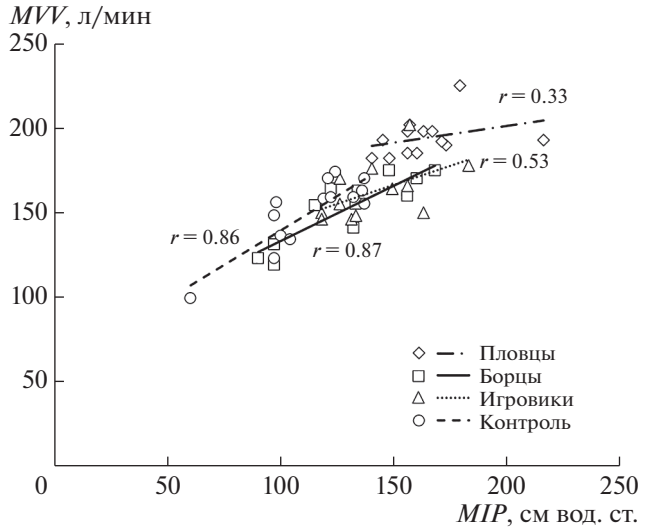

Рис. 1. Корреляционная зависимость между максимальным инспираторным давлением (*MIP*) и максимальной произвольной вентиляцией легких (*MVV*) у спортсменов, занимаюшихся плаванием, командными игровыми видами спорта, разными видами борьбы и контрольной группы.
Ромбы и штриховая линия тренда – пловцы; треугольники и пунктирно-штриховая линия тренда – игровики; квадраты и пунктирная линия тренда – борцы; кружки и прямая линия тренда – контроль. Коэффициенты корреляции указаны рядом с линией тренда.

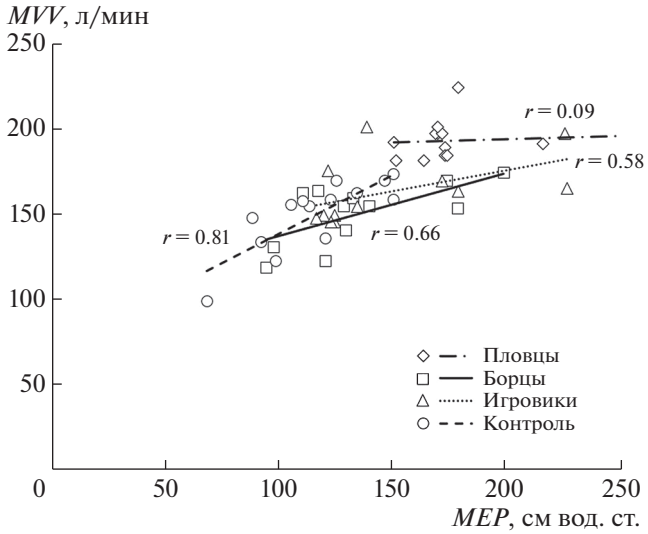

Рис. 2. Корреляционная зависимость между максимальным экспираторным давлением (*MEP*) и максимальной произвольной вентиляцией легких (*MVV*) у спортсменов, занимаюшихся плаванием, командными игровыми видами спорта, разными видами борьбы и контрольной группы.
Обозначения см. рис. 1.

наиболее высокие показатели ФВД демонстрируют спортсмены, занимающиеся водными видами спорта – плаванием и водным поло [21–26]. Специфика тренировки пловцов обеспечивает дополнительную нагрузку на дыхательную мускулатуру при преодолении гидростатического давления во время вдоха, а также выдоха с повышенным резистивным сопротивлением дыханию. Такая тренировка способствует повышению максимальной силы сокращений как основных дыхательных, так и вспомогательных мышц, обеспечивающих движения грудной клетки, а также улучшает ее подвижность, изменяет геометрию, увеличивает эластичность и растяжимость легких [24, 27]. Вследствие этого, именно у спортсменов водных видов спорта в процессе регулярных тренировок развиваются наиболее выраженные адаптивные изменения системы дыхания, которые обеспечивают значительное повышение максимальной силы респираторных мышц и показателей ФВД. Очевидно, что функциональные резервы спортсмена имеют определенные пределы и ограничены индивидуальными физиологическими и физическими возможностями. Отсутствие существенной корреляции между максимальной силой респираторной мускулатуры и значениями достигнутой *MVV* (рис. 1 и 2), позволяет предположить, что функциональные ресурсы спортсменов-пловцов высокой квалификации близки к их потенциальным предельным возможностям, а дальнейшая таргетированная тренировка дыхательных мышц не приведет к значимому повышению их силы и выносливости. Сходные результаты были показаны также в исследовании *T.D. Mickleborough et al.*, в котором авторы не обнаружили существенной разницы в улучшении функции дыхательных мышц в группах спортсменов-пловцов высокой квалификации, тренирующихся в интенсивном режиме с дополнительной специальной тренировкой дыхательных мышц или без нее [28]. Также было продемонстрировано, что спортсмены-пловцы с высоким уровнем подготовки действительно достигают максимальных значений силы дыхательных мышц, а дальнейшая их тренировка не приводит к ее повышению [29]. В то же время есть данные о повышении силы дыхательных мышц и улучшении выносливости у пловцов с более низкой квалификацией [30], у юных спортсменов подводного плавания после курса их специфической тренировки [31], а также у параспортсменов-пловцов [27]. Вполне возможно, что наиболее выраженный позитивный эффект от сочетания спортивных тренировок и специфической тренировки дыхательной мускулатуры может быть достигнут при подготовке спортсменов юного возраста, в период интенсивного роста, но это требует проведения дополнительных исследований. В любом случае, при включении курсов тренировки дыхательных мышц в планы подготовки спортсмена всегда

следует учитывать его исходные данные и уровень спортивного мастерства. Как показывают результаты проведенного исследования и литературные данные, дополнительная специальная тренировка дыхательных мышц у спортсменов, занимающихся водными видами спорта, не будет столь эффективной для увеличения *MVV*, как косвенного критерия оценки функциональных возможностей дыхательных мышц, по сравнению со спортсменами, тренирующими силу, представителями игровых видов спорта, а также физически активными людьми без специальной физической подготовки.

Результаты проведенного исследования показали, что у спортсменов, занимающихся силовыми и игровыми командными видами спорта, адаптационные изменения функции дыхания выражены в меньшей степени, чем у пловцов. Самые слабые изменения наблюдаются в группе борцов. Вероятно, что специфика тренировки спортсменов, занимающихся разными видами борьбы, направлена на развитие мышечной силы и не оказывает столь выраженного эффекта на адаптивные изменения в системе внешнего дыхания. Эти результаты согласуются с ранее опубликованными данными об отсутствии существенных различий показателей ФВД у спортсменов, занимающихся тяжелой атлетикой, по сравнению с контрольной группой испытуемых [11]. Следует обратить внимание, что сила дыхательных мышц у борцов была меньше, чем у других групп спортсменов, тренирующих выносливость. Соответственно величины *MVV* у представителей разных видов борьбы также оказались наименьшими среди всех групп спортсменов и достоверно не отличались от контрольной группы (табл. 2). Причем при анализе корреляционной зависимости между силой дыхательных мышц и *MVV* была продемонстрирована тесная достоверная связь именно в контрольной группе испытуемых и группе спортсменов, занимающихся разными видами борьбы (рис. 1 и 2). Эти данные позволяют предположить, что у спортсменов борцов, как и у контрольной группы испытуемых, сохраняются потенциальные резервные возможности для повышения как силы дыхательной мускулатуры, так и для улучшения динамических показателей ФВД. Дополнительная специальная тренировка дыхательной мускулатуры будет наиболее эффективна и полезна для спортсменов – представителей разных видов борьбы, а также игровых видов спорта, для повышения ее силы и выносливости. Соответственно, эффективность такой тренировки у спортсменов-пловцов высокой квалификации по всей вероятности будет низкой в связи с достижением определенных функциональных пределов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные проведенного исследования позволяют заключить, что у спортсменов, тренирующих выносливость, динамические показатели функции внешнего дыхания значительно выше, чем у спортсменов, тренирующих силу, а также у представителей общей популяции соответствующего пола и возраста. Анализ полученных результатов и литературных данных дает основания сделать вывод, что непроизвольная тренировка дыхательной мускулатуры в процессе специфической тренировки пловцов в водной среде оказывает позитивный эффект на динамические показатели функции внешнего дыхания и силовые характеристики дыхательных мышц, обеспечивая достижение высоких значений и приближая их к максимально возможным. Улучшение функции дыхательных мышц будет способствовать повышению общей выносливости и максимальной работоспособности спортсмена, обеспечивая замедление развития их утомления и проявления метаборефлекса, при выполнении интенсивных и длительных мышечных нагрузок [20, 32–34].

У спортсменов, занимающихся разными видами борьбы и игровыми видами спорта, наблюдаются гораздо менее выраженные изменения функциональных резервов респираторной системы, чем у пловцов. Наличие тесной корреляционной зависимости между значениями максимального ин- и экспираторного давления и максимальной произвольной вентиляцией легких в группах спортсменов-борцов, представителей игровых видов спорта и активных молодых людей без специальной физической подготовки указывает на существование потенциального резерва для повышения как силы респираторной мускулатуры, так и роста динамических показателей функции внешнего дыхания. В связи с этим можно предполагать, что эффективность тренировки дыхательных мышц будет выше у представителей силовых и игровых видов спорта по сравнению с атлетами, занимающимися плаванием. При разработке планов подготовки спортсменов высокой квалификации целесообразно дифференцировать спортсменов на этапе скрининга, определять *MIP*/*MEP* и оценивать потенциальный полезный эффект от включения тренировки дыхательных мышц в программы общей тренировки спортсменов.

Этические нормы. Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Института физиологии имени И.П. Павлова РАН (Санкт-Петербург).

Информированное согласие. Каждый участник исследования представил добровольное пись-

менное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

Финансирование работы. Исследование выполнено за счет средств федерального бюджета, выделяемых на выполнение Государственного задания.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *McKenzie D.C.* Respiratory physiology: Adaptations to high-level exercise // Br. J. Sports Med. 2012. V. 46. № 6. P. 381.
2. *Romer L.M., Polkey M.I.* Exercise-induced Respiratory Muscle Fatigue: Implications for Performance // J. Appl. Physiol. 2008. V. 104. № 3. P. 879.
3. *Johnson B.D., Babcock M.A., Suman O.E., Dempsey J.A.* Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans // J. Physiol. 1993. V. 460. P. 385.
4. *Romer L., Dempsey J.* Legs play out for the cost of breathing! // Physiol. News. 2006. V. 65. P. 25.
5. *Segizbaeva M.O., Donina Zh.A., Timofeev N.N. et al.* EMG Analysis of Human Inspiratory Muscle Resistance to Fatigue During Exercise // Adv. Exp. Med. Biol. 2013. V. 788. P. 197.
6. *Johnson B.D., Aaron E.A., Babcock M.A., Dempsey J.A.* Respiratory muscle fatigue during exercise: implications for performance // Med. Sci. Sport Exerc. 1996. V. 28. № 9. P. 1129.
7. *Wells G.D., Norris S.R.* Assessment of Physiological Capacities of Elite Athletes & Respiratory Limitations to Exercise Performance // Pediatr. Respir. Rev. 2009. V. 10. № 3. P. 91.
8. *Janssens L., Brumagne S., McConnell A.K. et al.* The assessment of inspiratory muscle fatigue in healthy individuals: a systematic review // Respir. Med. 2013. V. 107. № 3. P. 331.
9. *Wüthrich T.U., Notter D.A., Spengler C.M.* Effect of Inspiratory Muscle Fatigue on Exercise Performance Taking Into Account the Fatigue-Induced Excess Respiratory Drive // Exp. Physiol. 2013. V. 98. № 12. P. 1705.
10. *Amann M.* Pulmonary system limitations to endurance exercise performance in humans // Exp. Physiol. 2012. V. 97. № 3. P. 311.
11. *Brown P.I., Venables H.K., Liu H. et al.* Ventilatory muscle strength, diaphragm thickness and pulmonary function in world-class powerlifters // Eur. J. Appl. Physiol. 2013. V. 113. № 11. P. 2849.
12. *Черняк А.В., Неклюдова Г.В., Науменко Ж.К., Пашкова Т.Л.* Функция внешнего дыхания у спортсменов, занимающихся лыжными гонками и конькобежным спортом // Пульмонология. 2019. Т. 29. № 1. С. 62.
13. *Durmic T., Lazovic B., Djelic M. et al.* Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes // J. Bras Pneumol. 2015. V. 41. № 6. P. 516.
14. *Durmic T., Lazovic Popovic B., Zlatkovic Svenda M. et al.* The training type influence on male elite athletes' ventilatory function // BMJ Open Sport Exerc. Med. 2017. V. 3. № 1. P. e000240.
15. *Tiller N.B., Simpson A.J.* Effect of spirometry on intrathoracic pressures // BMC Res. Notes. 2018. V. 11. № 1. P. 110.
16. *Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al.* General Considerations for Lung Function Testing // Eur. Respir. J. 2005. V. 26. № 1. P. 153.
17. American Thoracic Society/European Respiratory Society / ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing // Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2002. V. 166. № 4. P. 518.
18. *Troosters T., Gosselink R., Decramer M.* Respiratory muscle assessment / Lung function testing (European respiratory monograph) // Eds. Gosselink R., Stam H. Wakefield/Sheffield: European Respiratory Society J. Ltd., 2005. V. 31. P. 57.
19. *Сегизбаева М.О., Александрова Н.П.* Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 2. С. 115.
Segizbaeva M.O., Aleksandrova N.P. Assessment of the Functional State of Respiratory Muscles: Methodological Aspects and Data Interpretation // Human Physiology. 2019. V. 45. № 2. P. 213.
20. *HajGhanbari B., Yamabayashi C., Buna T.R. et al.* Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses // J. Strength Cond. Res. 2013. V. 27. № 6. P. 1643.
21. *Doherty M., Dimitriou L.* Comparison of lung volume in Greek swimmers, land based athletes, and sedentary controls using allometric scaling // Br. J. Sports Med. 1997. V. 31. № 4. P. 337.
22. *Cordain L., Stager J.* Pulmonary structure and function in swimmers // Sports Med. 1988. V. 6. № 5. P. 271.
23. *Lazovic-Popovic B., Zlatkovic-Svenda M., Durmic T. et al.* Superior lung capacity in swimmers: Some questions, more answers! // Rev. Port. Pneumol 2016. V. 22. № 3. P. 151.
24. *Sable M., Vaidya S.M., Sable S.S.* Comparative study of lung functions in swimmers and runners // Ind. J. Physiol. Pharmacol. 2012. V. 56. № 1. P. 100.
25. *Clanton T., Dixon G.F., Drake J., Gadek J.E.* Effects of swim training on lung volumes and inspiratory muscle conditioning // J. Appl. Physiol. 1987. V. 62. № 1. P. 39.
26. *Rong C., Bei H., Yun M. et al.* Lung function and cytokine levels in professional athletes // J. Asthma. 2008. V. 45. № 4. P. 343.
27. *Okrzymowska P., Kurzaj M., Seidel W., Rozek-Piechura K.* Eight weeks of inspiratory muscle training improves pulmonary function in disabled swimmers – a randomized trial // Int. J. Environ. Res. Public Health. 2019. V. 16. № 10. P. 1747.
28. *Mickleborough T.D., Stager J.M., Chatham K. et al.* Pulmonary adaptations to Swim and Inspiratory Muscle Training // Eur. J. Appl. Physiol. 2008. V. 103. № 6. P. 635.
29. *Klusiewicz K.* Characteristics of the inspiratory muscle strength in the well-trained male and female athletes // Biol. Sport. 2008. V. 25. № 1. P. 13.

30. *Shei R.J., Lindley M., Chatham K., Mickleborough T.D.* Effect of flow-resistive inspiratory loading on pulmonary and respiratory muscle function in sub-elite swimmers // J. Sports Med. Phys. Fitness. 2016. V. 56. № 4. P. 392.
31. *Vašíčková J., Neumannová K., Svozil Z.* The Effect of Respiratory Muscle Training on Fin-Swimmers' Performance // J. Sports Sci. Med. 2017. V. 16. № 4. P. 521.
32. *Segizbaeva M.O., Timofeev N.N., Donina Zh.A. et al.* Effects of Inspiratory Muscle Training on Resistance to Fatigue of Respiratory Muscles During Exhaustive Exercise // Adv. Exp. Med. Biol. 2015. V. 840. P. 35.
33. *Witt J.D., Guenette J.A., Rupert J.L. et al.* Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex // J. Physiol. 2007. V. 584(Pt 3). P. 1019.
34. *Ozmen T., Gunes G.Y., Ucar I. et al.* Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players // J. Sport Med. Phys. Fitness. 2017. V. 57. № 5. P. 507.

Adaptive Changes of Ventilatory Function Outcomes in Athletes with Different Training Type

M. O. Segizbaeva[a], *, N. P. Aleksandrova[a]

[a] *Pavlov Institute of Physiology of the RAS, St. Petersburg, Russia*

**E-mail: segizbaevamo@infran.ru*

Ventilatory function variables and maximum inspiratory pressure (MIP) and expiratory pressure (MEP) were studied in athletes training strength and endurance. 36 athletes engaged in swimming (n = 12), game sports (n = 12) and wrestling (n = 12) as well as 14 age-matched and sex-matched sedentary controls were examined. The observed values of MIP and MEP as well as the dynamic ventilatory variables in swimmers were significantly higher than those in control and wrestlers. A close correlation was shown between MIP/MEP and the maximum voluntary ventilation both in the control group ($r = 0.86$ and $r = 0.81$ for MIP and MEP, respectively ($p < 0.01$)) and in the group of wrestlers ($r = 0.87$ ($p < 0.01$) and $r = 0.66$ ($p < 0.05$)). A weak relation was found in the group of game players, and in the group of swimmers, this relation was completely insignificant. These data allow us to conclude that dynamic exercises in athletes who train endurance and static exercises in athletes who train strength cause various adaptive changes in ventilatory function. The most changes and increase in functional reserves in the respiratory system are observed in athletes who train endurance, especially swimmers. Minimal changes are observed in athletes engaged in different types of wrestling. In this regard, the effectiveness of specific training of the respiratory muscles will be higher in athletes of power and game sports in comparison with athletes engaged in swimming.

Keywords: spirometry, respiratory muscles, maximum inspiratory pressure, maximum expiratory pressure, maximum voluntary ventilation, swimming, wrestling, game sports.