

СТАТЬИ

УДК 612.2

**ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИЙ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У СТУДЕНТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

**Алесич Р.С., Чуб И.С.**

*ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Архангельск, e-mail: alesich.r@edu.narfu.ru*

В настоящее время нагрузка на дыхательную систему с каждым годом возрастает, помимо действия климатических условий Европейского севера, на неё может влиять длительное ношение СИЗ. В статье представлены результаты обследования на выборке 10 студенток в возрасте от 20 до 23 лет. В исследовании определялось влияние длительного ношения масок (4 часа) на функцию внешнего дыхания с использованием методов спирометрии и функциональной дыхательной пробы – пробы Штанге. Исследование проводилось с разными типами СИЗОД, таких как тканевая и медицинская маска. Для контроля и сравнения результатов взяты показания – без использования маски. Вторым периодом исследования являлось изучение динамики изменений функций внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии у студенток через год после первого. Исследование показало, что функции внешнего дыхания по истечении 4 часов непрерывного ношения СИЗ изменяются незначительно. Происходит снижение ЖЕЛ на 2-4%, мгновенной объемной скорости 50% форсированного выдоха на 5-7%. Длительное ношение СИЗ (4 часа) в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функций внешнего дыхания. Годовая динамика параметров демонстрирует, что выраженные негативные изменения касаются устойчивости к гипоксии.

**Ключевые слова:** параметры внешнего дыхания, спирометрия, проба Штанге, средства индивидуальной защиты (СИЗ), студентки

**PECULIARITIES OF EXTERNAL RESPIRATORY FUNCTIONS IN STUDENTS WHEN USING INDIVIDUAL PROTECTION MEANS**

**Alesich R.S., Chub I.S.**

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,  
e-mail: alesich.r@edu.narfu.ru*

Currently, the load on the respiratory system is increasing every year, in addition to the climatic conditions of the European North, it can be affected by long-term wearing of RPE. The article presents the results of a survey on a sample of 10 female students aged 20 to 23 years. The study determined the effect of prolonged wearing of masks (4 hours) on the function of external respiration using spirometry methods and a functional respiratory test - the Stange test. The study was conducted with different types of RPE, such as fabric and medical masks. To control and compare the results, readings were taken - without using a mask. The second period of the study was to study the dynamics of changes in the functions of external respiration and resistance to hypoxia in students a year after the first. The study showed that the functions of external respiration after 4 hours of continuous wearing of PPE change slightly. There is a decrease in VC by 2-4%, instantaneous volumetric velocity of 50% forced exhalation by 5-7%. Prolonged wearing of PPE (4 hours) is more reflected in the change in resistance to hypoxia than in the parameters of external respiration functions. The annual dynamics of parameters demonstrates that pronounced negative changes relate to resistance to hypoxia.

**Keywords:** external respiration parameters, spirometry, Stange test, personal protective equipment (PPE), students

Газообмен является главной из всех выполняемых системой дыхания человека функций, основной ее задачей является обеспечение организма кислородом и выделением углекислого газа. Немаловажную роль играют негазообменные функции, такие как защита, терморегуляция, выделение воды и хранение воздуха для последующего его использования в голосообразовании.

Суровые природно-климатические условия оказывают существенное влияние на функцию внешнего дыхания. Низкие температуры и пониженная влажность воздуха требуют от организма мобилизации кардиореспираторной системы для минимизации воздействия агрессивной среды и поддержания гомеостаза организма. Из-

вестно, что охлажденный сухой воздух воздействует на верхние дыхательные пути и бронхиальное дерево, приводит к снижению температуры слизистых респираторных путей и рефлекторному сужению просвета бронхов. В результате проходимость воздухоносных путей становится меньше, это приводит к напряжению дыхания и появлению «полярной одышки». Студенты, проживающие в условиях Европейского севера, являются одной из самых уязвимых групп из-за комплекса факторов, воздействующих на них каждый день. Продуктивность когнитивной деятельности человека напрямую связана с газообменными процессами органов дыхания человека, поэтому длительное пребывание в слабопрветриваемом поме-

щении способствует развитию у людей гипоксии, в результате чего может наблюдаться снижение работоспособности [1].

В 2021 году в связи с массовым распространением коронавирусной инфекции COVID-19 на территории нашей страны был введен обязательный масочный режим. Медицинские маски, как и другие средства индивидуальной защиты органов дыхания, являются дополнительной резистивной нагрузкой, что может приводить к значительному напряжению органов внешнего дыхания. Мускулатура дыхательной системы человека для нормального функционирования органов дыхания должна преодолевать сопротивление как эластических структур органов дыхания, так и резистивную нагрузку, такую как сопротивление воздушного потока, проходящего по дыхательным путям человека (неэластическое сопротивление) [2]. Барьер, создаваемый масками, увеличивает дополнительное респираторное сопротивление, вследствие чего наблюдается снижение легочной и альвеолярной вентиляции. Снижение легочной вентиляции вызывает увеличение концентрации углекислого газа в крови (гиперкапнию), что приводит к развитию гипоксии [3]. Гипоксия и гиперкапния, вызванная длительным ношением СИЗ органов дыхания, приводит к ухудшению переносимости дополнительного резистивного сопротивления, т.к. из-за постоянного напряжения происходит утомление мускулатуры органов дыхания.

Цель исследования: проанализировать особенности функций внешнего дыхания у студентов при использовании СИЗ.

#### **Материалы и методы исследования**

Исследование проводилось в 2021-2022 годах на выборке 10 студентов женского пола в возрасте от 20 до 23 лет, обучающихся в САФУ им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск). В исследовании определялось влияние длительного ношения масок (4 часа) на функцию внешнего дыхания (ФВД) с использованием методов спирометрии и функциональной дыхательной пробы – пробы Штанге (ПШ). Исследование было лонгитюдным, т.е. предусматривающим наблюдение за группой объектов в течение определённого времени, что обуславливает индивидуально-типологический подход и допускает малый объем выборки. Исследование проводилось с разными типами СИЗОД, таких как тканевая и медицинская маска. Для контроля и сравнения результатов взяты показатели без использования маски. Вторым периодом исследования являлось изучение динамики изменений функций внешнего дыха-

ния и устойчивости к гипоксии у студентов через год после первого.

Организация исследования. Первый период (2021 год) включал в себя 3 этапа. 1-й – с использованием медицинской маски, 2-й – с использованием тканевой маски, 3-й – без использования масок (контроль). Второй период (2022 год) включал в себя только один этап – без СИЗ. Показания регистрировались утром и по истечении 4 часов учебной деятельности. В ходе 1-го периода исследования каждый испытуемый выполнял одинаковые дыхательные манёвры: сначала тест на устойчивость к гипоксии (проба Штанге), далее проводили дыхательный манёвр форсированного выдоха (измерялись такие показатели, как жизненная ёмкость лёгких (ЖЕЛ) вдоха и форсированная жизненная ёмкость лёгких выдоха (ФЖЕЛ)). Выбор системы должных величин осуществлялся на основании рекомендаций Европейского общества стали и угля (EGKS). Дыхательные манёвры повторяли трижды для выбора лучшей попытки, критерием выбора были: время пиковой объёмной скорости не выше 0,2 с, максимально приближённые к должным значения ЖЕЛ и ФЖЕЛ, визуально оценивали кривую поток-объём.

Спирометрические исследования проводились в весенний период на АПК «Валента» (Нео). Все испытуемые были обследованы в один и тот же промежуток времени в первой половине дня. Утренние часы были выбраны, чтобы исключить влияние на результаты усталости, накапливающейся в течение учебного процесса.

Статистический анализ полученных результатов проводили с использованием пакета программ SPSS Statistics 22.0. Статистическая обработка данных включала в себя проверку на нормальность распределения, описательную непараметрическую статистику (данные представлены в виде медиан), а также использование критерия Вилкоксона для сравнения зависимых выборок. Различия считались достоверными при величине ошибки менее 0,05.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ параметров внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии после 4 часов учебной деятельности с использованием СИЗ, в виде медицинской маски, продемонстрировал статистически значимые изменения некоторых параметров относительно исходного состояния. Так, происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания на 32,97% с 46,96 до 31,50 с ( $p=0,005$ ). Заметим,

что снижение более выраженное, чем в контроле (32,97% против 16,57%). Отмечается тенденция уменьшения объема ЖЕЛ на 4,32% ( $p=0,103$ ). При ношении СИЗ в пространстве между областью рта и маской, которая является резистивной нагрузкой на органы дыхания, возникает область с высоким содержанием углекислого газа и повышенным уровнем влажности. Такие условия должны оказывать влияние в сторону адаптации путем увеличения минутного объема дыхания, который является суммой дыхательного объема (ДО) и частоты дыхания (ЧД). Полученные данные показывают обратный эффект, а именно, уменьшение ЖЕЛ не адаптивно, так как ведет к уменьшению ДО. Вероятно, что компенсация негативных эффектов от длительного ношения СИЗ заключалась в увеличении ЧД, однако мы не можем проверить данный факт по причине искусственности дыхания через мундштук в ходе обследования на спирометре.

Мгновенная объемная скорость на участке 50% форсированного выдоха (МОС50) также снижается по сравнению с исходным состоянием на 7,42% ( $p=0,333$ ). Показатели МОС 25, 50 и 75 могут свидетельствовать об уровне обструкции на уровне крупных, средних и мелких бронхов. В нашем исследовании (рис. 1) наблюдается тенденция уменьшения МОС на участке в 50% ФЖЕЛ, что может свидетельствовать о сниженной проходимости на уровне средних бронхов. Отмечается уменьшение ФЖЕЛ на 6,7% ( $p=0,203$ ).

Такие изменения показателей функции внешнего дыхания могут быть связаны с дополнительной резистивной нагрузкой на органы дыхания, которые могут приводить к общему напряжению дыхательной системы. Уменьшение времени произвольной задержки дыхания может быть связано с длительным пребыванием в слабопрветриваемых помещениях, длительной когнитивной нагрузкой, требующей большого количества кислорода и повышающей уровень углекислого газа в крови, а также вынужденным ношением медицинской маски, ухудшающей газообмен.

На 2-м этапе исследования определяли показатели у группы с использованием тканевой маски (рис. 2). Установлено, что после ношения данного вида СИЗ происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания на 31,21%, с 40,45 до 27,825 с ( $p=0,005$ ). Отмечается увеличение ФЖЕЛ на 2,12% ( $p=0,036$ ). Также отмечается тенденция к уменьшению объема ЖЕЛ на 2,02% ( $p=0,075$ ). МОС50 также снижается по сравнению с исходным состоянием на 5,14% ( $p=0,508$ ).

При длительном ношении тканевой маски, как и в случае с медицинской маской, изменения показателей функций внешнего дыхания могут быть связаны с дополнительной резистивной нагрузкой на органы дыхания, но в отличие от маски, используемой на первом этапе, тканевая маска является более слабым барьером для воздуха, что может приводить к менее значительным изменениям показателей функции внешнего дыхания.

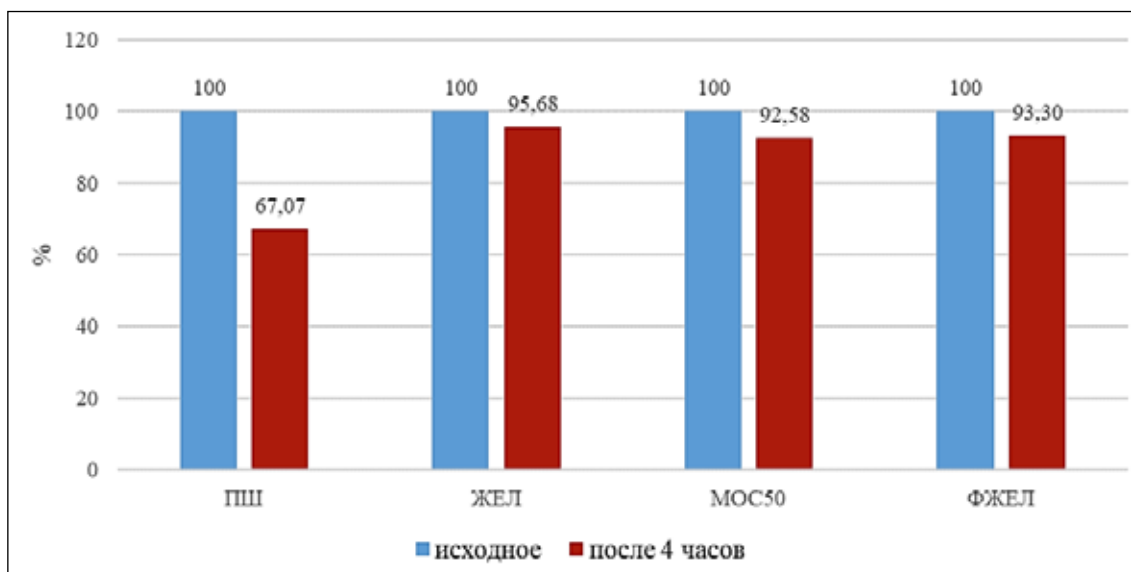


Рис. 1. Динамика параметров ФВД и устойчивости к гипоксии в процессе использования медицинской маски

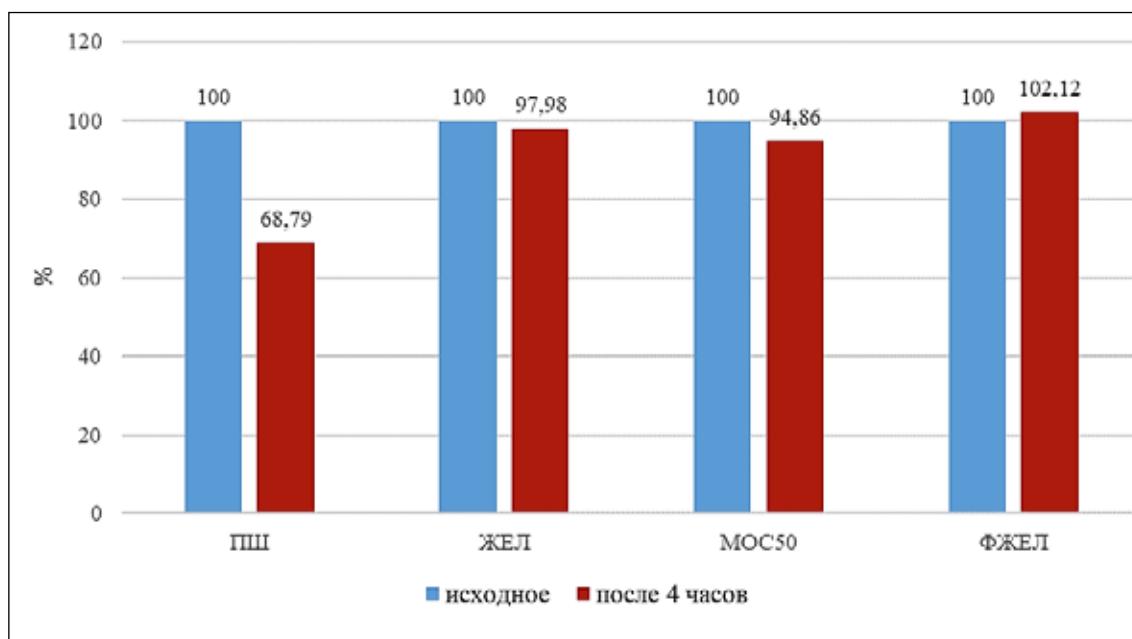


Рис. 2. Динамика параметров ФВД и устойчивости к гипоксии в процессе использования тканевой маски

Анализ параметров внешнего дыхания и устойчивости к гипоксии после 4 часов учебной деятельности при отсутствии СИЗ продемонстрировал статистически значимые изменения некоторых исследуемых параметров относительно исходного состояния. В частности, происходит уменьшение времени произвольной задержки дыхания с 43,56 до 36,34 ( $p=0,005$ ). Также происходит увеличение объема ЖЕЛ с 3,545 до 3,585 л ( $p=0,022$ ). МОС50 достоверно снижается по сравнению с исходным состоянием на 4,5% ( $p=0,14$ ). Отмечается тенденция уменьшения ФЖЕЛ на 2,09% ( $p=0,059$ ).

Таким образом, учебная деятельность в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. Можно предположить, что снижение продолжительности произвольной задержки дыхания может быть связано с низким уровнем двигательной активности студентов и/или нахождением в вынужденном полувертикальном положении. Также на показатели функции внешнего дыхания могут оказывать воздействие условия проживания на Европейском севере. В северных широтах воздух сухой, и в процессе его увлажнения может возникать значительная потеря влаги через легкие, что в свою очередь приводит к ухудшению диффузии газов в легких. Происходит разнонаправленная диффузия воды и кислорода в альвеоляр-

ной мембране, что ухудшает газообмен, вызывая недостаток кислорода [4]. Снижение показателей функций внешнего дыхания может быть связано с большими затратами кислорода на когнитивную деятельность и повышением углекислого газа в крови.

II период нашего исследования заключался в изучении динамики изменения параметров внешнего дыхания за годовой период. Для изучения годовой динамики изучались те же параметры, что и в I периоде исследования: функциональная дыхательная проба Штанге, ЖЕЛ, ФЖЕЛ, МОС (25, 50, 75% ФЖЕЛ), пиковая объемная скорость (ПОС).

Годовая динамика устойчивости к гипоксии показывает тенденцию к изменению: по истечении 4 часов нахождения без СИЗ показания к исходным уменьшились на 11,7%, тогда как в I-м периоде исследования продолжительность произвольной задержки дыхания уменьшалась на 18,7%. Несмотря на то что мы наблюдаем положительную динамику в 2022 г., увеличилась доля студентов с низкой толерантностью к гипоксии с 14 до 29%.

К 2022 году уменьшается доля испытуемых с ЖЕЛ, соответствующих норме, с 71 до 43%. Также прослеживается негативная динамика увеличения доли студентов с показателем ФЖЕЛ, не соответствующим должным значениям, в отличие от I периода, когда 100% нашей выборки имели нормальные показатели. Таким об-

разом, у обследованных студентов снижаются как объёмные, так и скоростно-объёмные характеристики ФЖЕЛ. Оказалось, что лишь в первом периоде только один испытуемый характеризовался значениями ФЖЕЛ в пределах нормы, во втором периоде (2022) такого не наблюдается. Отклонение от нормальных значений показателей можно объяснить возможным влиянием негативных факторов на дыхательную систему в условиях крайнего Севера, а также влиянием длительного ношения СИЗ.

Наблюдается негативная годовая динамика параметров функций внешнего дыхания, которая объясняется влиянием комплекса факторов. Но если говорить о влиянии разных типов СИЗ, то длительное ношение СИЗОД в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. Ношение СИЗ вызывает вентиляционную недостаточность, что приводит к гиперкапнии – повышению уровня углекислого газа в крови. Можно предположить, что изменение толерантности к гипоксии связано с тем, что ношение масок – резистивная нагрузка на органы дыхания человека, которая оказывает сопротивление как вдоху, так и выдоху; немаловажную роль в этом играют длительное пребывание в вертикальном сидячем положении, низкий уровень двигательной активности и слабопроветриваемые помещения.

### Выводы

1. Исследование показало, что функции внешнего дыхания по истечении 4 часов непрерывного ношения СИЗ изменяются незначительно. В процессе непрерывного ношения СИЗ происходит снижение ЖЕЛ на 2-4%, мгновенной объёмной скорости 50% форсированного выдоха на 5-7%.

2. Длительное ношение (4 часа) СИЗ в большей степени отражается на изменении устойчивости к гипоксии, нежели параметров функции внешнего дыхания. В эксперименте с медицинской маской проба Штанге уменьшилась на 32,93%. В случае с тканевой маской этот показатель уменьшился на 31,21%. Сравнение изменения параметров функции внешнего дыхания продемонстрировало более выраженное уменьшение объёмных и скоростных характеристик функции дыхания после ношения медицинской маски по сравнению с тканевой.

3. Годовая динамика исследуемых параметров функций внешнего дыхания демонстрирует, что более выраженные негативные изменения касаются устойчивости к гипоксии. Во II период исследования

происходит более выраженное снижение устойчивости к гипоксии, чем в I периоде.

В настоящее время нагрузка на дыхательную систему с каждым годом возрастает, теперь, помимо действия климатических условий Европейского севера, на неё может влиять длительное ношение СИЗОД.

Наше исследование показало, что длительное ношение каких бы то ни было средств индивидуальной защиты органов дыхания приводит к изменениям показателей функций внешнего дыхания. Несмотря на то что ношение масок приводит к снижению показателей функций внешнего дыхания, в основном использование СИЗ сказывается на устойчивости к гипоксии у студентов. Барьер, создаваемый масками, увеличивает дополнительное респираторное сопротивление, вследствие чего наблюдается снижение легочной и альвеолярной вентиляции. Снижение легочной вентиляции вызывает увеличение концентрации углекислого газа в крови (гиперкапнию), что приводит к уменьшению времени произвольной задержки дыхания. Гипоксия и гиперкапния, вызванные длительным ношением СИЗ, приводят к ухудшению переносимости дополнительного резистивного сопротивления, т.к. из-за постоянного напряжения происходит утомление мускулатуры органов дыхания.

Периода в один год оказалось недостаточно для полного восстановления показателей даже до уровня первого периода, что может быть связано с другими негативными факторами, оказывающими влияние на дыхательную систему студентов. Низкая двигательная активность, длительное пребывание в плохо проветриваемых помещениях, проживание в климатических условиях Европейского севера снижают адаптивные возможности организма [5].

### Список литературы

- 1 Литвицкий П.Ф. Гипоксия // Вопросы современной педиатрии. 2016. №15(1). С. 45-58.
- 2 Голов А.В., Симаков С.С. Математическая модель регуляции легочной вентиляции при гипоксии и гиперкапнии // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9. № 2. С. 297-310.
- 3 Сегизбаева М.О., Александрова Н.П. Оценка функционального состояния дыхательных мышц: методические аспекты и интерпретация данных // Физиология человека. 2019. Т. 45. № 2. С. 115-127.
- 4 Бяловский Ю.Ю., Кирюшин В.А., Прохоров Н.И., Ракина И.С., Чудинин Н.В. Газовый состав альвеолярного воздуха и переносимость средств индивидуальной защиты органов дыхания // Гигиена и санитария. 2020. № 1. С. 51-55
- 5 Гудков А.Б., Попова О.Н., Небученных А.А., Богданов М.Ю. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Арктики. Обзор литературы // Морская медицина. 2017. Т. 3. № 1. С. 7-13.