

# Respirology

2010, Vol. 15(3), pp. 516-521

## Оригинальный текст:

На сайте журнала <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1440-1843.2010.01713.x>

PDF <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1440-1843.2010.01713.x>

Бесплатная копия

[https://www.researchgate.net/publication/42588111\\_Surgical\\_mask\\_placement\\_over\\_N95\\_filtering\\_facepiece\\_respirators\\_Physiological\\_effects\\_on\\_healthcare\\_workers](https://www.researchgate.net/publication/42588111_Surgical_mask_placement_over_N95_filtering_facepiece_respirators_Physiological_effects_on_healthcare_workers)

PMID: [20337987/](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20337987/) doi 10.1111/j.1440-1843.2010.01713.x



## Воздействие респираторов

(фильтрующих полумасок с фильтрами средней эффективности)

## на медицинских работников

## при надевании на респиратор хирургической маски

*Surgical mask placement over N95 filtering facepiece respirators: Physiological effects on healthcare workers*

Раймонд Роберж, Айто Кока, Джон Уильямс, Джеффри Пауэлл и Эндрю Палмайэро

*Raymond J. Roberge, Aitor Coca, W. Jon Williams, Jeffrey B. Powell and Andrew J. Palmiero*

# Воздействие респираторов (фильтрующих полумасок с фильтрами средней эффективности) на медицинских работников при надевании на респиратор хирургической маски

*Surgical mask placement over N95 filtering facepiece respirators: Physiological effects on healthcare workers*

Раймонд Роберж<sup>1</sup>, Айто Кока<sup>1</sup>, Джон Уильямс<sup>1</sup>, Эндрю Палмайэро<sup>2</sup> и Джеффри Пауэлл<sup>2</sup>

*Raymond J. Roberge, Aitor Coca, W. Jon Williams, Jeffrey B. Powell and Andrew J. Palmiero*

<sup>1</sup> National Personal Protective Technology Laboratory/National Institute for Occupational Safety and Health

<sup>2</sup> EG& G Technical Services, Pittsburgh, Pennsylvania, USA

*Эта статья является общественным достоянием (in the public domain) как работа, выполненная правительством США (work of the U.S. federal government)*

*Поступила 8 сентября 2009; предложена к пересмотру 3 октября 2009; пересмотрена 15 октября 2009; принята к публикации 19 октября 2009 (Заместитель редактора Дэвид Хуэй / David Hui)*

**Ответственный автор:** Раймонд Дж. Роберж, сотрудник лаборатории средств индивидуальной защиты в [Национальном институте охраны труда](#) (США).

*Raymond J. Roberge, National Personal Protective Technology Laboratory, National Institute for Occupational Safety and Health, 626 Cochran Mill Road, Pittsburgh PA 15236. E-mail: dtn0@cdc.gov.*

## Краткий реферат

Измерялись физиологические показатели у 10 медиков, использовавших фильтрующие полумаски – с и без надетых на респираторы хирургических масок. Надевание хирургических масок не привело к значительным изменениям частоты сердечных сокращений, частоте дыхания, объёма вдоха, минутного потребления воздуха, и чрескожно измеренных концентраций углекислого газа и кислорода в крови.

## Реферат

**История вопроса, цель:** При вспышке инфекционного заболевания может возникнуть нехватка респираторов (фильтрующих полумасок). Для того, чтобы можно было их использовать многократно, предложили надевать на их сверху хирургические маски. Но не изучалось, как это повлияет на работников.

**Методы:** В исследовании участвовало 10 медицинских работников. Они шли по беговой дорожке, надев респиратор с и без хирургической маски поверх, при двух разных скоростях - в течение 1 часа. Измеряли частоту сердечных сокращений, частоту дыхания, минутное потребление воздуха, концентрацию кислорода в крови; чрескожно меряли концентрации кислорода и углекислого газа в крови; а также газовый состав воздуха под маской. Результаты сравнивали с результатами измерения у контроля (движение по беговой дорожке без хирургических масок, надетых на респираторы). Также мы определяли уровни комфорта и напряжения, используя для оценок цифровую шкалу.

**Результаты:** При сравнении случаев использования респиратора и контроля, значимых отличий в физиологических показателях, и оценках комфорта и напряжения – не обнаружено. При меньших потреблении воздуха надевание маски на респиратор снижает концентрацию кислорода в подмасочном пространстве ( $P = 0,03$ ). Концентрации углекислого газа и кислорода в подмасочном пространстве не соответствовали требованиям к воздуху рабочей зоны (установленным [Управлением по охране труда](#), в Минтруда США - *Occupational Safety and Health Administration*) (и максимально

разовой ПДК<sub>рз</sub> углекислого газа, № 2138 в [ГН 2.2.5.3532-18](#) в РФ – прим.). Надевание маски на респиратор не привело к значительному изменению оценок комфорта и напряжения.

**Заключение:** Использование фильтрующих полумасок с надетой на респиратор хирургической маской не оказывает значительного влияния на физиологическую нагрузку (уже создаваемую респиратором), и на оценки комфорта и напряжения.

**Ключевые слова:** гигиена и эпидемиология окружающей среды и труда; профилактика инфекционных заболеваний; респираторные инфекционные заболевания (не туберкулёз); газообмен (вентиляция) при дыхании; вирусные инфекционные заболевания.

## Введение

Эпидемия тяжёлого острого респираторного синдрома ([ТОРС](#), атипичная пневмония, *SARS*), и недавней эпидемия гриппа H1N1 показали, что в таких случаях медицинские учреждения могут испытывать недостаток в наиболее широко используемых средствах индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) – фильтрующих полумасках с фильтрами средней эффективности (*класса N95 – классификация США, примерно соответствуют FFP2 в ЕС и РФ, фильтр улавливает не менее 95% мелких твёрдых частиц – прим.*) (1). По оценкам [Центров по профилактике и борьбе с заболеваниями](#) (CDC), в случае 42–дневной эпидемии гриппа медицинским работникам в США потребуется 92 млн фильтрующих полумасок; и есть основания сомневаться, что производители сумеют справиться с резким ростом спроса (2). Например, в госпитале Саннибрук (*Sunnybrook*, в Торонто) ежедневно использовали по 18 тыс. респираторов во время эпидемии ТОРС в 2003 году (3). В результате запасы у местных поставщиков быстро закончились. (С учётом этого), Институт медицины предложил надевать на респиратор сверху хирургическую маску – как барьер, предотвращающий загрязнение респиратора – и использовать фильтрующую полумаску неоднократно (2). Ранее рекомендовалось использовать хирургические маски как параллельный (вспомогательный) барьер – в сочетании с разными СИЗОД, и устройствами для подачи кислорода (2, 4-10). Однако очень мало исследований того, как использование респиратора с надетой на него маской влияет на работника. Например, одно исследование показало, что надевание маски на респиратор оказывает минимальное влияние (11). Всё же остались неизученными ряд других вопросов: влияние на общение, удобность, влияние хирургической маски на плотность прилегания к лицу, влияние на газообмен при дыхании, и правовой аспект (на сертификацию респиратора в Национальном институте охраны труда - ведь она проводилась для случая, когда маска на респиратор не надета) (1). Наше исследование является частью большой работы по изучению влияния СИЗОД на работников; и оно проводилось для определения влияния фильтрующих полумасок (с и без клапанов выдоха) на медиков при надетой на респиратор хирургической маске (как дополнительного барьера) (12).

## Методы

В исследовании участвовало 10 медиков, 7 женщин и трое мужчин, имевших опыт использования фильтрующих полумасок. 9 участников никогда не курили; одна перестала курить 1 год назад; перед этим курила (*20 pack-year history*), [таблица 1](#). Проведение этого исследования было одобрено комитетом NIOSH по этике (*human subjects review board*), и все участники дали устное и письменное согласие. Так как в исследовании пациенты не участвовали, этическое одобрение (*ethics approval*) не требовалось.

Для измерения физиологических параметров (мы использовали) лёгкий жилет из спандекса, на котором размещены датчики и измерительные (кольцевые) ленты для определения объёма вдоха с помощью [индуктивной плетизмографии](#) (*LifeShirt System, VivoMetrics, Ventura, California*). Он измерял частоту сердечных сокращений, частоту дыхания, и объём вдоха. Для вычисления минутного расхода воздуха ( $V_E$ ) умножали частоту дыхания на объём вдоха ( $V_T$ ). Перед каждым применением *LifeShirt* устройство калибровалось путём регулировки показаний по отношению с точно измеренным объёмом вдыхаемого воздуха. Для измерения концентраций углекислого газа и кислорода использовали газоанализаторы (*AEI Technologies, Naperville, Illinois*). Они непрерывно отбирали воздух из подмасочного «мёртвого пространства» 18 раз в секунду (расход откачиваемого воздуха

500 мл/мин) через пробоотборный шланг с внутренним диаметром 2 мм. Шланг присоединялся к установленному на фильтрующую полумаску разъёму, находившемуся посередине между ртом и носом. Результат измерений пересчитывали, приводя его к условиям стандартных температуры и давления сухого воздуха. Отбираемый из маски воздух осушали с помощью влагопоглотителя (*Perma Pure LLC, Toms River, NJ*); а газоанализаторы ежедневно калибровали, в соответствии с протоколом Национального института стандартов и технологии (*National Institute of Standards and Technology*). Для непрерывных чрезкожных измерений концентраций углекислого газа и кислорода в крови использовали подогреваемые (42 град С) датчики, устанавливаемые на мочку уха (*Tosca 500 monitor, Radiometer, Copenhagen, Denmark*). Это было сочетание пульсоксиметра (*pulse oximeter*) и датчика, измерявшего концентрацию углекислого газа (*Severinghaus-type PCO<sub>2</sub> sensor*) (13). Мы калибровали *Tosca* перед каждым использованием в течение 10 минут.

**Таблица 1.** Информация об участниках.

Участник	Профессиональная категория	Возраст, лет	Масса, кг	Рост, см	Индекс массы тела*, кг/м <sup>2</sup>
1	Медсестра	42	75,3	155	31,3
2	Медсестра	22	47,6	165	17,4
3	Техник физиотерапии	24	64,5	162	24,4
4	Техник физиотерапии	23	126,4	162	47,7
5	Ассистент по уходу за пациентом	20	105,4	183	31,5
6	Ассистент по уходу за пациентом	34	55,4	157	22,3
7	Ассистент по уходу за пациентом	20	68,8	188	19,4
8	Студентка-медсестра	21	56,8	165	20,8
9	Студентка-медсестра	22	69,5	170	23,9
10	Студент физиотерапии	23	85,8	183	25,5
среднее		25,1	76,0	169	26,4

\* - [Индекс массы тела](#), кг/м<sup>2</sup>

Мы изучали две модели фильтрующих полумасок класса N95 чашеобразной формы (двух изготовителей). Модели выбрали случайным образом из хранившихся в Стратегическом национальном запасе (*National Strategic Stockpile*), предназначенном для обеспечения медицинских работников необходимым в случае эпидемии (14). Также выбрали (ещё) две модели, которые были схожи по форме и размеру с моделями, выбранными из запаса, и сделанные теми же изготовителями – но с клапаном выдоха (в запасе нет фильтрующих полумасок с клапанами выдоха). Также мы выбрали хирургическую маску 2 класса, со складками, не стойкую к прониканию брызг, сертифицированную [Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов](#), *Food and Drug Administration, FDA*. У масок этого класса при расходе воздуха 8 л/мин сопротивление дыханию не выше 29,4 Па (3 мм H<sub>2</sub>O) (11). Для каждого замера мы использовали новые экземпляры респираторов и масок. Проводили [проверку изолирующих свойств](#) (*fit test*)<sup>1</sup>, количественно (измеряли коэффициент изоляции – отношение счётных концентраций атмосферного аэрозоля, снаружи маски – к подмасочной). 8 участников успешно прошли проверку (т.е. у них был коэффициент изоляции 100 и выше [проникание аэрозоля в маску не более 1%], как это требует стандарт по охране труда, разработанный Управлением по охране труда [OSHA](#)) (15), используя маски размера средний/большой (то есть – стандартный), как с клапаном, так и без клапана. А два участника смогли успешно пройти проверку лишь при использовании респираторов с масками маленького размера. Во время проверки изолирующих свойств хирургические маски на респираторы не надевали.

<sup>1</sup> Проверка способности маски респиратора отделять органы дыхания от окружающей загрязнённой атмосферы за счёт плотного, без больших зазоров, прилегания к лицу по периметру касания. Зазоры могут образовываться из-за не соответствия маски лицу работника по форме и/или размеру; из-за неумения работника правильно, аккуратно надевать маску – прим.

Участники были одеты в спортивные шорты, футболку, носки, спортивную обувь, и надевали *LifeShirt*. Респиратор (с или без клапана) выбирали случайным образом, и затем надевали его, а поверх него – хирургическую маску, в соответствии с указаниями изготовителей (резинки оголовья были размещены на затылке и верхней части шеи сзади). Проводили [проверку правильности надевания](#) (*user seal check*), избыточным давлением и разрежением, при снятом с респиратора шланге для отбора проб подмасочного воздуха. Датчик прибора *Tosca 500* закрепляли на мочку левого уха, и участники шли по беговой дорожке в течение 1 часа. Этот период примерно соответствует суммарной продолжительности использования респираторов медицинскими работниками в США за 1 смену (16). Случайным образом выбиралась скорость движения, одно из двух значений: 2,74 км/ч (1,7 миль/час), соответствует сидячей работе, выполнению записей, ответам по телефону; и 4,03 км/ч (2,5 миль/час), соответствует нагрузке при уходе за лежащими пациентами (в США) (17). В обоих случаях наклон беговой дорожки был 0 градусов. Каждые 5 минут участники сообщали свои оценки комфорта и напряжения. Для оценки напряжения использовали шкалу Борга (*Borg Perceived Exertion Scale*), с оценками от 1 (наименьшая) до 5 (наибольшая) (18); а для оценки комфорта – модифицированную шкалу (*Perceived Comfort Scale*) (19) с оценками от 1 (наименьший дискомфорт) до 5 (наибольший дискомфорт). Во время испытаний участники говорили, что хотели – для имитации общения медиков с пациентами и друг другом. Обычно за день проводили по два замера, с перерывом 30 минут. Каждый участник участвовал в 4 замерах (по одному замеру при использовании респиратора с надетой маской, с и без клапана выдоха; и по одному замеру для каждого сочетания при каждой из двух скоростей беговой дорожки). Для определения массы накопившейся на респираторе (с и без клапана) влаги их взвешивали до и после замера. Средняя температура воздуха во время замеров была 21,3 град С (от 18,3 до 23,4 град С); средняя относительная влажность 56,7% (от 46,1 до 72,8%). Для контроля использовали результаты другого исследования, проведённого ранее. В нём участвовали те же самые участники, и использовались те же самые респираторы, с клапаном и без, с надетой или не надетой маской (12). Все контрольные исследования походились в течение 3 недель после начала работы.

Для статистического анализа использовали программу *SPSS version 16.0* (*SPSS, Chicago, Illinois*). Все физиологические показатели, а также концентрации кислорода и углекислого газа в подмасочном пространстве, описывали как среднее значение  $\pm 1$  стандартное отклонение. Замер продолжался 1 час, а значения параметров определяли для моментов времени в 1, 15, 30, 45 и 60 минут (5 стадий). Для определения значимости отличий при надевании маски на респираторы с и без клапана, провели [дисперсионный анализ](#) (*analysis of variance ANOVA*) для: 4 типов респираторов (с и без клапана, с и без маски поверх)  $\times$  2 видов физической нагрузки (скорость беговой дорожки 2,74 или 4,03 км/ч)  $\times$  длительность носки респиратора (1, 15, 30, 45 и 60 минут). Определяли влияние перечисленных выше параметров на физиологические показатели (пульс, частота дыхания, объём вдоха, минутное потребление воздуха, концентрации кислорода и углекислого газа в крови). Для контроля использовали результаты ранее проведённого исследования (12). Также провели дисперсионный анализ для определения влияния типа респиратора, интенсивности нагрузки и длительности его использования ( $4 \times 2 \times 5$ ) на концентрации кислорода и углекислого газа в подмасочном пространстве. Для определения значимости отличий использовали однофакторный дисперсионный анализ (*1-way ANOVA*), и парные [t-тесты](#) с [поправкой Бонферони](#). Для определения значимости использовали уровень  $P = 0,05$ . С помощью парных t-тестов изучали оценки напряжения, комфорта, и увеличение массы масок из-за увлажнения.

## Результаты

При обеих скоростях беговой дорожки, и за период 1 час, надевание маски на респираторы (с и без клапана) не оказало никакого статистически значимого влияния на частоту сердечных сокращений ( $P=0,75$ ), частоту дыхания ( $P=0,13$ ), объём вдоха ( $P=0,42$ ), минутное потребление воздуха ( $P=0,29$ ), измеренные чрескожно: концентрацию кислорода в крови ( $P=0,39$ ) и концентрацию углекислого газа в крови ( $P=0,98$ ); и на концентрации в подмасочном пространстве: кислорода ( $P=0,10$ ) и углекислого газа ( $P=0,38$ ). При сравнении контроля с использованием респираторов без

клапана и с надетой маской, и с респираторами с клапаном и надетой маской, значительных отличий тех же параметров не было, за несколькими исключениями. Стала меньше концентрация кислорода в подмасочном пространстве при надетой маске у респиратора: без клапана, при скорости 2,74 км/ч ( $P=0,03$ ); и у респиратора с клапаном, при скорости 4,03 км/ч ( $P=0,003$ ). А при скорости 4,03 км/ч у контроля была выше частота сердечных сокращений ( $P=0,05$ ), [таблица 2](#). Единственным значимым отличием в уровне комфорта было отличие у респиратора с клапаном и надетой маской поверх – при сравнении оценок для разных скоростей: 2,74 и 4,03 км/ч ( $P=0,01$ ). При сравнении оценок напряжения были получены значительные отличия: у контроля - по сравнению с использованием респираторов без клапана с надетой маской, при скорости 2,74 км/ч ( $P=0,01$ ); и при сравнении респиратора с клапаном и маской при скорости 2,74 км/ч по сравнению со скоростью 4,03 км/ч ( $P=0,01$ ). Накопление влаги на масках (грамм/час) у респираторов (с и без клапана) с маской, по сравнению с контролем – значительных отличий не имело ([таблица 3](#)).

**Таблица 2.** Значения физиологических показателей через 1 час после начала использования респиратора.

Физиологические показатели	Скорость 2,74 км/ч (1,7 миль/час)				Скорость 4,03 км/ч (2,5 миль/час)			
	С клапаном <sup>1</sup>	С клапаном + маска <sup>2</sup>	Без клапана <sup>3</sup>	Без клапана + маска <sup>4</sup>	С клапаном <sup>1</sup>	С клапаном + маска <sup>2</sup>	Без клапана <sup>3</sup>	Без клапана + маска <sup>4</sup>
Частота сердечных сокращений, 1/мин	95,1 (±9,7)	95,8 (±11,5)	98,1 (±8,5)	96,3 (±9,5)	106,4 (±9,3)	107,6 (±12,2)	106,4 (±9,2)	102,3 (±9,0)
Частота дыхания, 1/мин	25,2 (±6,1)	24,8 (±3,3)	25,2 (±4,0)	24,8 (±4,3)	25,5 (±5,7)	24,9 (±5,5)	26,6 (±6,8)	25,8 (±5,2)
Объём вдоха, мл	878 (±253)	949 (±168)	950 (±358)	923 (±223)	932 (±297)	1020 (±224)	945 (±241)	938 (±179)
Минутное потребление воздуха, л/мин	21,22 (±4,53)	23,35 (±3,62)	23,36 (±6,70)	22,30 (±3,74)	22,96 (±5,86)	24,77 (±5,23)	24,43 (±6,01)	23,73 (±3,37)
Сатурация крови кислородом, %	98,4 (±0,96)	98,1 (±0,72)	98,1 (±0,87)	98,4 (±0,72)	98,2 (±1,00)	98,3 (±0,71)	98,4 (±0,70)	98,1 (±0,68)
Давление углекислого газа в крови, мм рт ст	41,5 (±4,9)	41,4 (±6,4)	39,7 (±6,0)	43,1 (±6,0)	42,6 (±6,2)	43,0 (±7,4)	42,0 (±5,6)	43,0 (±5,8)
Концентрация кислорода в маске, %	16,46 (±0,60)	16,77 (±1,55)	16,63 (±0,58)	16,38 (±0,60)	17,19 (±1,14)	16,27 (±0,64)	16,61 (±0,62)	16,48 (±0,79)
Концентрация углекислого газа в маске, %	2,89 (±0,36)	2,97 (±0,38)	2,89 (±0,23)	2,92 (±0,25)	2,95 (±0,49)	2,98 (±0,34)	2,85 (±0,36)	3,02 (±0,41)

1 – фильтрующая полумаска с клапаном, без надетой поверх хирургической маски;

2 - фильтрующая полумаска с клапаном, с надетой поверх хирургической маской;

3 - фильтрующая полумаска без клапана, без надетой поверх хирургической маски;

4 - фильтрующая полумаска без клапана, с надетой поверх хирургической маской.

## Обсуждение

Хотя фильтрующие полумаски интенсивно используются последние три десятилетия, пока ещё мало информации о том, какое физиологическое влияние они оказывают на работников ([20-22](#)). Имеется немного информации о физиологическом влиянии хирургических масок при длительности непрерывного применения не более 60 минут (по сравнению с нашим исследованием): при сравнении частоты сердечных сокращений и концентрации кислорода в крови (с базовыми значениями) значительных отличий не было ([23,24](#)). Это исследование показало, что надевание масок на

респираторы, с и без клапана) как дополнительный барьер, и использование их вместе в течение до 1 часа, при физической нагрузке, схожей с работой медиков (в США) – не оказывает значительного дополнительного физиологического влияния на работников по сравнению с той, которую оказывают респираторы без маски поверх. Так как физиологическая нагрузка, создаваемая респиратором, в основном вызвана сопротивлением фильтра, то можно ожидать, что надевание маски на респиратор дополнительно повысит сопротивление дыханию (25). Но у хирургических масок 2 класса (классификация в США – прим.) очень низкое сопротивление дыханию (менее 29,4 Па - 3 мм H<sub>2</sub>O) (11), и – как было показано ранее – при маленьких и умеренных расходах воздуха сопротивление вдоху возрастает на 4,6-10%, а выдоху – на 5,7-12,3% (11).

**Таблица 3.** Оценки комфорта, напряжения, и накопление влаги в респираторе.

Респиратор, Скорость	Комфорт	P	Напряжение	P	Накопление влаги, грамм	P
Без клапана <sup>1</sup> , 2,74 км/ч; и Без клапана с маской <sup>2</sup> , 2,74 км/ч	1,15 (±0,36) 1,41 (±0,52)	0,21	0,77 (±1,08) 1,15 (±0,36)	0,31	0,10 (±0,13) 0,05 (±0,05)	0,29
Без клапана <sup>1</sup> , 4,03 км/ч; и Без клапана с маской <sup>2</sup> , 4,03 км/ч	1,67 (±0,53) 1,59 (±0,77)	0,78	1,21 (±1,63) 1,67 (±0,53)	0,30	0,15 (±0,20) 0,11 (±0,09)	0,61
С клапаном <sup>3</sup> , 2,74 км/ч; и С клапаном с маской <sup>4</sup> , 2,74 км/ч	1,53 (±0,66) 1,27 (±0,35)	0,22	0,82 (±1,17) 0,88 (±1,26)	0,91	0,11 (±0,09) 0,09 (±0,07)	0,55
С клапаном <sup>3</sup> , 4,03 км/ч; и С клапаном с маской <sup>4</sup> , 4,03 км/ч	1,43 (±0,45) 1,74 (±0,77)	0,19	1,25 (±1,44) 0,92 (±0,91)	0,56	0,17 (±0,11) 0,16 (±0,22)	1,000
Без клапана с маской <sup>2</sup> , 2,74 км/ч; и Без клапана с маской, 4,03 км/ч	1,41 (±0,53) 1,72 (±1,02)	0,19	0,77 (±1,8) 1,21 (±1,30)	0,01	0,05 (±0,05) 0,11 (±0,09)	0,05
С клапаном с маской <sup>4</sup> , 2,74 км/ч; и С клапаном с маской, 4,03 км/ч	1,27 (±0,35) 1,74 (±0,77)	0,01	0,82 (±1,17) 1,25 (±1,44)	0,01	0,09 (±0,07) 0,16 (±0,22)	0,46
Без клапана с маской <sup>2</sup> , 2,74 км/ч, и С клапаном с маской <sup>4</sup> , 2,74 км/ч	1,41 (±0,52) 1,27 (±0,35)	0,16	0,77 (±1,08) 0,82 (±1,17)	0,66	0,05 (±0,05) 0,09 (±0,07)	0,22
Без клапана с маской <sup>2</sup> , 4,03 км/ч, и С клапаном с маской <sup>4</sup> , 4,03 км/ч	1,72 (±1,02) 1,74 (±0,77)	0,57	1,21 (±1,30) 1,25 (±1,44)	0,77	0,11 (±0,09) 0,16 (±0,22)	0,57

1 - фильтрующая полумаска без клапана, без надетой поверх хирургической маски;

2 - фильтрующая полумаска без клапана, с надетой поверх хирургической маской;

3 – фильтрующая полумаска с клапаном, без надетой поверх хирургической маски;

4 - фильтрующая полумаска с клапаном, с надетой поверх хирургической маской.

При выдохе, в подмасочном пространстве накапливаются выдыхаемые газы, которые затем смешиваются с вдыхаемым воздухом (26). Чем больше объём подмасочного «мёртвого» пространства, тем выше может быть концентрация углекислого газа во вдыхаемом воздухе. Это может привести к повышению концентрации углекислого газа в крови, и повысить нагрузку на компенсаторные механизмы организма (рост частоты дыхания, объёма вдоха и частоты сердечных сокращений) (12). Теоретически, надевание хирургической маски на респиратор может привести к: (i) увеличению «мёртвого» пространства за счёт дополнительного объёма между респиратором и маской; или (ii) уменьшению «мёртвого» пространства у некоторых моделей (например, складывающихся горизонтально, «утиный нос») за счёт сжимающих сил, прикладываемых к выпуклой поверхности маски респиратора (зависит от того, насколько надёжно прикреплена хирургическая маска). Менее жёсткие модели, например, формованные чашеобразные, могут подвергаться воздействию сил со стороны хирургических масок в меньшей степени, чем другие модели (например – горизонтально складывающиеся). При надевании хирургической маски на респиратор с клапаном выдоха, рост «мёртвого» пространства может быть больше, чем при надевании на респиратор без клапана – поскольку, в зависимости от модели, клапан выступает на наружной поверхности респиратора, и создаёт дополнительную полость между респиратором и хирургической маской. В этом исследовании, при сравнении концентраций кислорода и углекислого

газа в подмасочном пространстве у респираторов с клапаном, с надетой маской и без неё, значительные отличия отсутствовали ( $P=0,98$  и  $0,10$  соответственно). Но при скорости  $2,74$  км/ч у респираторов с клапаном и маской поверх концентрация кислорода в подмасочном пространстве была значительно ниже, чем у контроля ( $P=0,03$ ); и та же тенденция наблюдалась при скорости  $4,03$  км/ч ( $P=0,08$ ). Это показывает, что надевание маски на респиратор оказывает негативное влияние на газовый состав вдыхаемого воздуха. При сравнении контроля с респираторами с клапаном и маской, концентрация кислорода в подмасочном пространстве была значительно выше при скорости  $4,03$  км/ч ( $P=0,003$ ), а при скорости  $2,74$  км/ч отличие было меньше ( $P=0,87$ ). Это показывает, что надевание маски на респиратор с клапаном, теоретически, негативно влияет на работу клапана при больших физических нагрузках (в принципе, клапаны устанавливают для уменьшения «мёртвого» пространства).

Концентрации кислорода и углекислого газа в подмасочном пространстве не соответствовали значениям ПДК<sub>рз</sub>, действующим в США (разработаны OSHA, средняя концентрация  $CO_2$  за 8-часовую смену  $\leq 0,5\%$  (и превышалась максимально разовая ПДК<sub>рз</sub> углекислого газа, № 2138 в [ГН 2.2.5.3532-18](#) – прим.); при содержании кислорода менее  $19,5\%$  атмосфера считается «с недостатком кислорода». Но эти требования, формально (юридически) относятся к воздуху в рабочей зоне, а не к воздуху в подмасочном пространстве ([12](#)). С клинической точки зрения, похоже, что при использовании респиратора в течение одного часа, это ухудшение газового состава оказывает ограниченное (негативное) влияние на работника, и не приводит к значительным изменениям средних концентраций кислорода и углекислого газа в крови (измерявшихся чрескожно), [таблица 2](#). Хотя при сравнении контроля с использованием респираторов (с и без клапана) с надетыми масками, значительных отличий в концентрации углекислого газа в крови не было; но необходимо отметить, что у двух участников эта концентрация была повышенной. Конкретно, во время 4 замеров, через 1 час, у женщины, курившей ранее ( $7,15, 8,11, 7,2$  и  $7,47$  кПа -  $53,6; 60,8; 54,0$  и  $56,0$  мм рт ст); и у некурящего мужчины ( $6,41, 6,4, 6,27$  и  $6,45$  кПа -  $48,1; 48,0; 47,0$  и  $48,4$  мм рт ст) (*В норме<sup>2</sup> до 45 мм рт ст – прим.*). Это показывает, что разные люди могут переносить использование респиратора по-разному.

Удобность респиратора - важный фактор при обеспечении своевременного и правильного его использования работниками ([27](#)). В этом исследовании, значительные отличия в оценках комфорта обнаружили лишь при сравнении результатов, полученных при разных скоростях движения (при использовании респиратора с клапаном и с маской; при скорости  $2,74$  км/ч комфорт выше, при  $4,03$  км/ч – меньше), [таблица 3](#). Это показывает, что надевание маски на респиратор, само по себе, и их использование в течение 1 часа – не приводит к (значительному) ухудшению комфорта по сравнению с контролем. Но при более длительном использовании надевание маски на респиратор может оказать влияние на комфорт (переносимость использования). Например, проведённое недавно исследование показало, что средняя продолжительность использования фильтрующих полумасок (без надетой хирургической маски) больше, чем при надетой маске ( $5,8$  и  $4,1$  часа соответственно). Аналогичный результат получился при сравнении респираторов с клапаном, с без маски ( $7,7$  и  $4,3$  часа). Это показывает, что носка фильтрующей полумаски с надетой на него хирургической маской переносится медицинскими работниками хуже всего ([27](#)). В отношении оценок напряжения, в нашем исследовании, значительные отличия были лишь при сравнении результатов, полученных при разной скорости: у респираторов без клапана с маской ( $P=0,01$ ); и у респираторов с клапаном и с маской ( $P=0,01$ ) – при сравнении оценок при скоростях  $2,74$  и  $4,03$  км/ч ([таблица 3](#)). Таким образом, можно ожидать, что надевание хирургической маски на чашеобразные респираторы, с и без клапана выдоха, не окажет значительного влияния на напряжение (при небольшой физической нагрузке – как в этом исследовании).

Были краткие сообщения, в которых предполагалось, что при длительном использовании фильтрующих полумасок, или хирургических масок, их фильтр может увлажниться так сильно, что сопротивление дыханию возрастёт ([2,9,28,29](#)). В этом исследовании, при использовании респираторов

<sup>2</sup> Н.И. Лосев; В.А. Гологорский, И.Н. Черняков, В.М. Юревич. [Гиперкапния](#). Большая медицинская энциклопедия, том 5.

(с и без клапана), с надетой поверх и не надетой хирургической маской, значительных отличий в массе не обнаружено, [таблица 3](#). Возможно, это объясняется относительно низкой физической нагрузкой, и гидрофобными (водоотталкивающими) свойствами использовавшихся респираторов ([30](#)).

Ограничением этого исследования было участие небольшого числа испытуемых (10 медработников); и то, что проверялось лишь две модели фильтрующих полумасок (каждая в исполнении с и без клапана выдоха); и лишь одна хирургическая маска. Измерение минутного потребления воздуха с помощью индуктивной плетизмографии даёт менее точный результат по сравнению с другими методами (например – пневмотахограф, спирометр). Но проведённые недавно исследования показывают, что корреляция между результатами измерений минутного объёма воздуха, полученными с помощью индуктивной плетизмографии, и другими способами - хорошая ([31,32](#)). Аналогично, чрескожное измерение концентрации углекислого газа даёт менее точный результат, чем при исследовании артериальной крови; но исследования показали, что результат достаточно точный ([33,34](#)); и при проведении замеров участник не испытывает боль, и нет риска других осложнений (тромбоз, инфекция, образование гематомы и др.). Движение по беговой дорожке хорошо подходит для создания определённой нагрузки на участника исследования (постоянной), но оно не соответствует меняющейся в течение смены физической активности медработников. Но, если хотите, создаваемая в этом исследовании нагрузка соответствовала «наихудшему случаю»: перерывов не было, а медработники обычно не используют респираторы так долго без перерывов (*в США, на момент проведения исследования – прим.*). Наше исследование проводилось в лабораторных условиях, а не на рабочих местах медработников. Но лабораторные условия проведения могут соответствовать верхней границе воздействия, встречающегося на практике ([20](#)).

В заключение, надевание хирургической маски на респиратор (как дополнительный барьер для увеличения продолжительности использования), с и без клапана выдоха, не приводит к значительному увеличению физиологической нагрузки на работника – по сравнению с той, которую создаёт респиратор без маски поверх; и при длительности использования до 1 часа, и небольшой физической нагрузке (как в медучреждениях США). Надевание маски не привело к значительному увеличению оценок комфорта и напряжения, и к значительному изменению количества влаги на респираторах. Надевание маски на респиратор, возможно, является недорогим и эффективным способом увеличения срока службы в случае их нехватки. Необходимо провести дополнительные исследования для определения: влияния респиратора (с и без маски поверх) при его использовании более длительное время, что может произойти при эпидемии гриппа; и для оценки физиологического влияния конструкции респиратора (чашеобразные, складывающиеся горизонтально, складывающиеся вертикально) на работника. Особенно важно определить – не приводит ли надевание маски на респиратор (для его защиты от загрязнения) к ухудшению функционирования последнего.

### Благодарности

Авторы благодарны Рону Шаферу, Хайнцу Ахлерсу, Эдварду Синкулу и Эдварду Фрайсу за изучение рукописи и полезные рекомендации. Работа была выполнена за счёт средств Лаборатории СИЗ.

### Литература

1. ↑ [01 02](#) **Roberge R.J.** Physiological burden associated with the use of filtering facepiece respirators (N95 Masks) during pregnancy. *Journal of Women's Health*, 2009; 18(6): 19–26. doi 10.1089/jwh.2008.1072
2. ↑ [01 02 03 04](#) **Institute of Medicine**, Committee on the Development of Reusable Facemasks for Use During an Influenza Pandemic. (2006) Use and Reuse of Respiratory Protective Devices for the Influenza Control. In: Bailar III J.C., Burke D.S. (eds). [Reusability of facemasks during an influenza pandemic: Facing the Flu](#). Washington, D.C.: The National Academies Press. ISBN: 0-309-66000-9.
3. ↑ **Rubinson L., Nuzzo J.B., Talmor D.S.** et al. Augmentation of hospital critical care capacity after bioterrorist attacks or epidemics: recommendations of the Working Group on emergency mass critical care. *Critical Care Medicine*. 2005; 33(10): 2393–2403. doi 10.1097/01.ccm.0000173411.06574.d5 [Копия](#)

4. ↑ **Gommersall C.D., Tai D.Y.H., Loo S.** et al. Expanding ICU facilities in an epidemic: recommendations based on experience from the SARS epidemic in Hong Kong and Singapore. *Intensive Care Medicine*. (electronic supplement) 2006; 32(7): 1004–1013. doi 10.1007/s00134-006-0134-5 [Копия](#)
5. ↑ **Lem M., Sarwal S., Vearncombe M.** et al. [Cluster of Severe Acute Respiratory Syndrome cases among protected healthcare workers](#) — Toronto, Canada, April 2003. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)*. 2003; 52(19): 433–436.
6. ↑ **World Health Organization.** [SARS outbreak in the Philippines](#). *WHO Weekly Epidemiological Record (WER)*. 2003; 78(22): 189–196.
7. ↑ **Derrick J.L., Gommersall C.D.** Protecting healthcare staff from severe acute respiratory syndrome: filtration capacity of multiple surgical masks. *Journal of Hospital Infection*. 2005; 59(4): 365–368. PMID: [PMC7114845](#) doi 10.1016/j.jhin.2004.10.013
8. ↑ **Australian Government** Department of Health and Ageing. *Interim National Pandemic Influenza Clinical Guidelines*. ISBN 0642 82886 5, 2006, (Report). [Accessed 14 Apr 2009.] Available from URL: [http://www.flupandemic.gov.au/internet/panflu/publishing.nsf/Content/9D4CC1F412DCC346CA2573D70001B875/\\$File/pandemic-clinical-gl.pdf](http://www.flupandemic.gov.au/internet/panflu/publishing.nsf/Content/9D4CC1F412DCC346CA2573D70001B875/$File/pandemic-clinical-gl.pdf) [Trove](#)
9. ↑ [01 02](#) **Khaw K.S., Kee W.D.N., Tam Y.H.** et al. [Survey and evaluation of modified oxygen delivery devices used for suspected severe acute respiratory syndrome and other high-risk patients in Hong Kong](#). *Hong Kong medical journal*. 2008; 14(5 Suppl.): S27–S31. [Копия](#)
10. ↑ **Eandi J.A., Nanigian D.K., Smith W.H.** et al. Use of a surgical helmet system to minimize splash injury during percutaneous renal surgery in high-risk patients. *Journal of Endourology*. 2008; [22\(12\)](#): 2655–2656. doi 10.1089/end.2008.0323
11. ↑ [01 02 03 04](#) **Vojtko M.R., Roberge M.R., Vojtko R.J.** et al. (2008) [Effect on breathing resistance of a surgical mask worn over a N95 filtering facepiece respirator](#). *Journal of the International Society for Respiratory Protection*; 25(3): 1–8.
12. ↑ [01 02 03 04 05](#) **Roberge R.J., Coca A., Williams W.J.** et al. [Physiological impact of filtering facepiece respirator \('N95 Masks'\) use on healthcare workers](#). *Respiratory Care*, 2010; 55(5): 569-577. [Копия](#) [Перевод](#)
13. ↑ **Eberhard P.** [The design, use, and results of transcutaneous carbon dioxide analysis: current and future directions](#). *Anesthesia & Analgesia*. 2007; 105(6): S48-S52. DOI: 10.1213/01.ane.0000278642.16117.f8 PMID: [18048898](#)
14. ↑ **Need J.T., Mothershead J.L.** [Strategic national stockpile program: implications for military medicine](#). *Military Medicine*. 2006; 171(8): 698-702. PMID: [16933808](#) DOI: 10.7205/MILMED.171.8.698 [i.org/10.7205/MILMED.171.8.698](#) [Копия](#)
15. ↑ **Department of Labor**, Occupational Safety and Health Administration. *Respiratory protection: Code of Federal Regulations 29 CFR 1910.134*. Washington: Occupational Safety and Health Administration; 1998. [Accessed 14 Apr 2009.] Available from URL: [http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show\\_document?p\\_id=12716&p\\_table=standards](http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_id=12716&p_table=standards) [Оригинал](#), Перевод: [Wiki PDF](#)
16. ↑ **Bryce E., Forrester L., Scharf S., Eshghpour M.** [What do healthcare workers think? A survey of facial protection equipment user preferences](#). *Journal of Hospital Infection*. 2008; 68(3): 241-247. PMID: [18295373](#) doi 10.1016/j.jhin.2007.12.007
17. ↑ **Ainsworth B.E., Haskell W.L., Whitt M.C.** et al. (2000) [Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities](#). *Medicine & Science in Sports & Exercise*; 32(9): S498–S516. doi 10.1097/00005768-200009001-00009 [Ссылка](#)
18. ↑ **Borg G.** [Borg's perceived exertion and pain scales](#). Champaign, IL: Human Kinetics; 1998; Figure 7.3, 89.
19. ↑ **Anderson C.A., Anderson K.B., Deuser W.E.** [Examining an affective aggression framework: weapon and temperature effects on aggressive thoughts, affect, and attitudes](#). *Personality and Social Psychology Bulletin*. 1996; 22(4): 366-376. DOI: 10.1177/0146167296224004 [Копия](#)

20. ↑ [01](#) [02](#) **Harber P., Bansal S., Santiago S.,** Liu D., Yun D., Ng D., et al. Multidomain subjective response to respirator use during simulated work. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2009; [51\(1\)](#): 38-45. PMID: [19136872](#) doi 10.1097/JOM.0b013e31817f458b
21. ↑ **Jones J.G.** The physiological cost of wearing a disposable respirator. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1991; [52\(6\)](#): 219-225. doi 10.1080/15298669191364631 PMID: [1858664](#)
22. ↑ **Bansal S., Harber P., Yun D.** et al. Respirator physiological effects under simulated work conditions. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 2009; [6\(4\)](#): 221–227. doi 10.1080/15459620902729218
23. ↑ **A. Beder, Ü. Büyükoçak, H. Sabuncuoğlu,** Z.A. Keskil, S. Keskil. Preliminary report on surgical mask induced deoxygenation during major surgery. *Neurocirugia (Asturias, Spain)* 2008; [19\(2\)](#): 121-126. PMID: [18500410](#) DOI: 10.1016/S1130-1473(08)70235-5 [Копия](#)
24. ↑ **Li Y., Tokura H., Guo Y.P.** et al. Effects of wearing N95 and surgical facemasks on heart rate, thermal stress and subjective sensations. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2005; [78\(6\)](#): 501–509. doi 10.1007/s00420-004-0584-4 PMCID: [PMC7087880](#)
25. ↑ **Gawn J., Clayton M., Makison C.** et al. [Evaluating the protection afforded by surgical masks against influenza bioaerosols: gross protection of surgical masks compared to filtering facepiece respirators](#). Research Report 619, Health and Safety Laboratory, Health and Safety Executive, United Kingdom, 2008. (Report). [Accessed 15 Apr 2009.] Available from URL: <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr619.pdf>
26. ↑ **Caretti D., Coyne K.M.** Unmanned assessment of respirator carbon dioxide levels: comparison of methods of measurement. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2008; [5\(5\)](#): 305-312. DOI: 10.1080/15459620801969998 [Копия](#)
27. ↑ [01](#) [02](#) **Radonovich L.J. Jr., Cheng J., Shenal B.V.,** Hodgson M., Bender B.S. [Respirator tolerance in health care workers](#). *JAMA The Journal of the American Medical Association (JAMA)*. 2009; [301\(1\)](#): 36-38. PMID: [19126810](#) DOI: 10.1001/jama.2008.894 [Копия](#)
28. ↑ [01](#) [02](#) **Hsu W-H., Liu W-C.** Assessment of physiological loads and subjective discomforts for wearing N95 facemask. (Abstract). *Healthcare Systems Ergonomics and Patient Safety International Conference*, Strasbourg, FR. Jun 25–27, 2008, [Accessed 15 Apr 2009.] Available from URL: <http://www.heps2008.org/abstract/data/POSTER/Hsu.pdf> [Реферат](#)
29. ↑ **Belkin N.L.** A century after their introduction, are surgical masks necessary? *Association of periOperative Registered Nurses Journal*. 1996; [64\(4\)](#): 602–607. doi 10.1016/s0001-2092(06)63628-4
30. ↑ **Li Y., Wong T., Chung J.,** Guo Y.P., Hu J.Y., Guan Y.T., et al. In vivo protective performance of N95 respirator and surgical facemask. *American Journal of Industrial Medicine*. [2006; 49\(12\)](#): 1056-1065. PMID: [17096360](#) DOI: 10.1002/ajim.20395
31. ↑ **Witt J.D., Fisher J.R., Guenette J.A.,** Cheong K.A., Wilson B.J., Sheel A.W. Measurement of exercise ventilation by a portable respiratory inductive plethysmograph. *Respiratory Physiology & Neurobiology*. [2006; 154\(3\)](#): 389-395. PMID: [16503424](#) doi 10.1016/j.resp.2006.01.010
32. ↑ **Clarenbach C.F., Senn O., Brack T.,** Kohler M., Bloch K.E. Monitoring of ventilation during exercise by a portable respiratory inductive plethysmograph. *Chest*. 2005; [128\(3\)](#): 1282-1290. PMID: [16162719](#) doi 10.1378/chest.128.3.1282
33. ↑ **Carter R., Banham S.W.** [Use of transcutaneous oxygen and carbon dioxide tensions for assessing indices of gas exchange during exercise testing](#). *Respiratory Medicine*. 2000; [94\(4\)](#): 350-355. PMID: [10845433](#) DOI: 10.1053/rmed.1999.0714
34. ↑ **Stege G., van den Elshout F.J., Heijdra Y.F.,** van de Ven M.J., Dekhuijzen P.N., Vos P.J. Accuracy of transcutaneous carbon dioxide tension measurements during cardiopulmonary exercise testing. *Respiration*. [2009; 78\(2\)](#): 147-153. PMID: [19088464](#) DOI: 10.1159/000187631 (Epub ahead of print). [Accessed 8 Feb 2010.] Available from URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19088464>