

Технический отчёт.

Фильтрующие полумаски с клапаном выдоха: оценка эффективности очистки воздуха для определения возможности их применения как средства снижения загрязнённости воздуха

Technical Report.

*Filtering Facepiece Respirators with an Exhalation Valve:
Measurements of Filtration Efficiency to Evaluate Their Potential for Source Control*

Авторы: *Portnoff L, Schall J, Brannen J, Suhon N, Strickland K, Meyers J.*

Министерство здравоохранения и социальных служб *Department of Health and Human Services*
[Национальный институт охраны труда](#) *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*
[Центры по профилактике и борьбе с заболеваниями](#) *Centers for Disease Control and Prevention (CDC)*
Лаборатория средств индивидуальной защиты *National Personal Protective Technology Laboratory (NPPTL)*

Этот документ является общественным достоянием (*in the public domain*), и может свободно копироваться и перепечатываться

Правовая оговорка

Упоминание любой компании или продукции не означает, что это одобрено Национальным институтом охраны труда (*NIOSH*) или Центрами по профилактике и борьбе с заболеваниями (*CDC*). Ссылки на сайты (кроме *NIOSH*) не означают, что Институт одобряет организации-спонсоры, или их программы или продукцию. Также Институт (*NIOSH*) не несёт ответственности за содержание этих сайтов. На момент публикации этого документа, все ссылки на указанные источники информации были доступны.

Можно ссылаться на эту публикацию так:

NIOSH [2020]. Filtering facepiece respirators with an exhalation valve: measurements of filtration efficiency to evaluate their potential for source control. By Portnoff L, Schall J, Brannen J, Suhon N, Strickland K, Meyers J. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2021-107. <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2021107>

DOI: <https://doi.org/10.26616/NIOSH PUB2021107>

DHHS (NIOSH) Publication No. 2021-107

Декабрь 2020

Конспект

Фильтрующие полумаски широко используются медицинскими работниками для профилактики инфекционных заболеваний. Их запасают, в первую очередь, для тех медработников, которые трудятся в условиях повышенного риска, и в течение длительного времени – по сравнению с другими работниками, и населением. На некоторые модели респираторов устанавливают клапан выдоха. Во время вдоха он закрывается, и вдыхаемый воздух проходит через фильтр. А при выдохе он открывается, и выдыхаемый воздух выходит и через фильтр, и через клапан. Маски с клапаном обеспечивают такой же уровень защиты, что и маски без клапана. Но есть мнение, что клапан повышает комфорт при выполнении тяжёлой работы; и что респираторы с клапаном больше подходят для выполнения длительной работы. При использовании респираторов с клапаном больными, инфекционно опасный аэрозоль может попасть в воздух через клапан. Есть опасения, что при использовании таких респираторов в воздух может попасть аэрозоль, содержащий вирусы.

В руководстве Центров по профилактике и борьбе с заболеваниями (CDC) не рекомендуется использовать респираторы с клапаном для снижения загрязнения воздуха больными (то есть, для очистки выдыхаемого воздуха). Это допускается лишь тогда, когда респираторов без клапана нет, и при закрывании клапана хирургической маской, процедурной маской, или маской из ткани (надетых на респиратор так, чтобы они не нарушали плотное прилегание респиратора к лицу по периметру касания). Центры попросили провести исследование, чтобы улучшить научную основу рекомендаций по использованию респираторов с клапанами. Это исследование проводилось с учётом обращения CDC. В нём определялось проникание аэрозоля через респиратор с клапаном. Сравнивались разные способы использования респираторов, включая закрывание клапана маской (надетой на респиратор). Наконец, в некоторых публикациях критиковали использование респираторов с клапанами, и руководители пассажирских авиакомпаний запретили пассажирам использовать их. С учётом всего этого, необходимо изучить распространение аэрозоля через клапан выдоха, чтобы лучше представлять, какую опасность это создаёт.

С этой целью, Лаборатория средств индивидуальной защиты (СИЗ, *NPPTL*, входящая в состав *NIOSH*) спланировала исследование. Ставилось три задачи: (1) определить степень очистки вдыхаемого воздуха при использовании респиратора с клапаном; при движении воздуха как при вдохе, так и при выдохе; (2) сравнить, какое количество частиц выходит из респиратора с клапаном – по сравнению с хирургическими масками, процедурными масками, масками из ткани, и масками, сделанными из х/б футболок; (3) определить эффективность фильтрации при трёх способах закрывания клапана (при использовании респиратора для снижения загрязнённости воздуха больными).

Для решения поставленных задач, были испытаны 13 моделей респираторов. Определяли: проникание аэрозоля при движении воздуха в маску (как при испытаниях при сертификации); и при движении воздуха из маски (как при выдохе). В последнем случае, изучали три способа предотвращения выноса аэрозоля:

- (1) закрывание клапана изнутри с помощью доступного «хирургического» скотча (*surgical tape*),
- (2) закрывание клапана изнутри прокладкой для электрокардиограммы, и
- (3) надевание хирургической маски на респиратор сверху.

Для сравнения вклада способов в степень очистки воздуха - измеряли эффективность его очистки. Замеры проводили при движении воздуха в маску и из маски (вдох/выдох); и при трёх расходах воздуха (25, 55 и 85 л/мин). В этих же условиях (по расходам воздуха), при движении его из маски наружу, изучали использование хирургических масок, процедурных масок, тканевых масок, и масок из х/б футболок.

В общей сложности, у респираторов было проведено 1125 замеров. При движении воздуха в маску, проникание аэрозоля не превышало 5%, что соответствует требованиям при сертификации. При движении воздуха наружу, как при выдохе, и использовании трёх способов снижения загрязнения воздуха, проникание было от менее 1% до 55%. Вероятно, разнообразие результатов объясняется отличиями конструкций разных моделей, и отличиями в том, как открывался клапан. У всех моделей, и при любом расходе воздуха, наилучший результат дало закрывание клапана выдоха прокладкой для электрокардиограммы. Примерно тот же результат дало использование «хирургического» скотча. Надевание хирургической маски на респиратор дало наихудший результат.

У небольшого числа хирургических масок, процедурных масок, масок из ткани и из футболок, изучавшихся при движении воздуха наружу (как при выдохе), получились результаты, схожие с результатами ранее проводившихся Институтом исследований, в которых изучалось проникание через такие маски.

Фильтрующие полумаски с клапаном выдоха снижают загрязнённость вдыхаемого воздуха, защищая работника. Это исследование также показало, что они могут уменьшить загрязнение воздуха больным, также как, или даже лучше, чем хирургические и тканевые маски. А модификация респиратора (закрывание клапана) может ещё больше повысить их эффективность. При закрывании клапана выдоха прокладкой для электрокардиограммы, или «хирургическим» скотчем, респиратор с клапаном снижает загрязнение воздуха больным так же, как и респиратор без клапана.

Это исследование – первое, в котором изучалось проникание аэрозоля через фильтрующую полумаску с клапаном, при движении воздуха из маски наружу. Полученные результаты могут использоваться для разработки рекомендаций и указаний, охватывающих снижение загрязнения воздуха больными людьми.

Введение

Маски и респираторы могут защищать человека от потенциально инфекционно опасных капелек, в разной степени, и они обеспечивают разную степень защиты. Их можно разделить на три категории: (1) респираторы (сертифицированные [Институтом \(NIOSH\)](#), или использование которых в чрезвычайных ситуациях одобрено); (2) маски, предназначенные для использования в медицинских учреждениях (сертифицированные [Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов \(FDA\)](#) хирургические маски, включая те, у которых маркировка «процедурные маски»); и (3) маски, предназначенные для немедицинского применения¹.

Респираторы предназначены для очистки воздуха от аэрозолей, от «наиболее проникающих» частиц, размером менее 1 мкм. Также проводится проверка изолирующих свойств респираторов, чтобы свести к минимуму попадание в подмасочное пространство частиц через зазоры между респиратором и лицом. Хирургические маски не обеспечивают такую же хорошую очистку воздуха ([ASTM 2019](#)), как респираторы, сертифицированные NIOSH ([CFR 42 Part 84](#)). Но у некоторых из них эффективность фильтрации может быть такой же, как у респираторов. Важно учесть, что к хирургическим маскам не предъявляются требования плотно, без зазоров, прилегать к лицу. Поэтому попадание неочищенного воздуха через зазоры у масок может быть больше, чем у респираторов.

В других масках обычно не используется фильтровальный материал, несущий электростатический заряд, и поэтому они плохо очищают воздух от мелких (менее 1 мкм) частиц. Хотя такие маски не рекомендуется использовать для очистки воздуха от субмикронных частиц, они могут улавливать крупные частицы, и рассеивать поток воздуха ([Clase et al. 2020](#)). Кроме защиты того, кто использует описанные выше средства, они могут уменьшать загрязнение воздуха больными людьми, снижая риск заражения окружающих.

Фильтрующие полумаски – один из видов респираторов, которые сертифицируются Институтом, и предназначены для защиты работника от аэрозолей путём очистки воздуха от частиц «наиболее проникающих» частиц – со средним массовым аэродинамическим диаметром 0,35 мкм. Фильтрующие полумаски защищают и от крупных частиц, образующихся при кашле, и чихании; и от мелких частиц, образующихся при разговоре. «Медицинские респираторы» (*Surgical N95 FFR*) – разновидность респираторов, сертифицируемых Институтом, и их фильтр улавливает аэрозоль точно так же эффективно, как и у обычных респираторов класса N95². У медицинских респираторов нет клапана выдоха. Так как их интенсивно используют медицинские работники, то медицинские респираторы, и все респираторы без клапанов (сертифицированные Институтом) в первую очередь направляются в медучреждения, так как работающие там подвергаются наибольшему риску заражения по сравнению с другими работниками и населением.

Из-за пандемии возникла нехватка СИЗ органов дыхания (СИЗОД). С этой нехваткой могут столкнуться медицинские работники и другие люди, подвергающиеся повышенному риску заражения. Поэтому для защиты населения и работников не медицинских организаций рекомендуется использовать маски (не сертифицируемые) как барьер, уменьшающий распространение вирусов; а (более эффективные) респираторы направляются в первую очередь медикам.

Альтернативой фильтрующим полумаскам являются респираторы из непроницаемых материалов – полумаски и полнолицевые маски (со сменными фильтрами); а также СИЗОД с принудительной подачей воздуха (PAPR). К сожалению, у указанных СИЗОД, а также у некоторых из фильтрующих полумасок, есть клапан выдоха, через который воздух выходит наружу без очистки. Выход инфекционно опасных частиц в атмосферу через клапан снижает способность этих СИЗОД уменьшать загрязнение воздуха больными людьми.

У некоторых фильтрующих полумасок есть клапан выдоха, выпускающий выдыхаемый воздух наружу, в обход фильтра. Но эффективность респираторов с клапаном – как средства снижения загрязнения воздуха больными – не изучалась.

¹ Маски, не предназначенные для использования в медучреждениях, не являются медицинскими устройствами, и поэтому [Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов \(FDA\)](#) их не сертифицирует.

² Классификация США, фильтр улавливает не менее 95% мелких частиц, «N» - нельзя использовать для защиты от аэрозоля масла и т.п., нейтрализующего электростатический заряд волокон. Фактически, соответствуют FFP2 в ЕС и РФ.

Клапаны выдоха

Клапаны выдоха фильтрующих полумасок – устройства, закрывающие проход воздуха через себя при вдохе (чтобы воздух проходил через фильтр, очищаясь); и открывающиеся при выдохе (так, что воздух выходит и через фильтр, и через клапан). Обычно в клапане есть мембрана из натуральной резины, силикона или неопрена. Она крепится к опоре, и размещается внутри корпуса (крышки) из пластика. При вдохе, мембрана закрывает (отверстие) в опоре, так, что воздух проходит через фильтр. При выдохе, если давление внутри маски достаточно большое, воздух приподнимает мембрану, и проходит через отверстие в опоре – без очистки. Такие клапаны устанавливают на некоторые из моделей фильтрующих полумасок, полагая, что они улучшают удобность СИЗОД при выполнении тяжёлой работы, и что респираторы с клапанами лучше подходят для длительного использования. Работник, использующий респиратор с клапаном, защищается от воздушных загрязнений в той же степени, что и при использовании респиратора без клапана. Но, вероятно, наличие клапана может повлиять на способность респиратора защищать окружающую среду от загрязнения больными людьми, т.к. часть аэрозоля может выйти наружу без очистки.

При носке респираторов больными людьми, загрязнение воздуха зависит от количества выдыхаемого инфекционно опасного аэрозоля – при кашле, чихании, разговаривании, и просто при дыхании. Больной может быть источником капель разного размера, содержащих разное количество вирусов. Крупные капли быстро опускаются на землю (на пол); а маленькие – остаются в воздухе, накапливаются, и могут вдыхаться другими людьми. После того, как капли попали в воздух, их перемещение и жизнеспособность (находящихся на них) вирусов зависят от расстояния, на которое они переместились, продолжительность пребывания в воздухе, кратности воздухообмена, и воздействия солнечного света [Chin et al. 2020; Ratnesar-Shumate et al. 2020; Augenbraun et al. 2020]. Наконец, если загрязнённые вирусами капельки вдыхаются, их способность вызвать заболевание также зависит от контакта капелек с клетками слизистой оболочки органов дыхания, прикрепления к рецептору вируса, и дозы, способной вызвать заболевание [Perrotta et al. 2020; Schröder 2020].

При защите работников, респираторы очень эффективно очищают воздух (проходящий через фильтр) от мелких частиц, размером менее 2,5 мкм, и от вирусов [Zhou et al. 2018; Dau et al. 2020]. Но респираторы с клапаном выдоха выпускают часть выдыхаемого воздуха наружу напрямую, что нежелательно при нахождении на стерильных рабочих местах [DHHS 2015]. На сайте Центров (CDC), на странице «[Considerations for Wearing Masks](#)» (Об использовании масок) населению рекомендуется использовать практически все виды масок, и сказано, что Центры не рекомендуют использовать респираторы с клапаном для снижения загрязнения воздуха больными [CDC 2020a]. На странице «[Personal Protective Equipment: Questions and Answers](#)» (Средства индивидуальной защиты (СИЗ): вопросы и ответы), которая предназначена, в первую очередь, для медицинских работников, Центры дают советы по использованию СИЗ. В частности, там рекомендуется использовать респираторы с клапаном для уменьшения загрязнения воздуха больными – тогда, когда никаких других средств нет; и «с надеванием на респиратор сверху (на клапан) хирургической маски, или маски из ткани – таких, которые не нарушают плотного прилегания респиратора к лицу» [CDC 2020b]³.

Позднее Центры заявили, их прежнюю рекомендацию следует понимать так: «маски с клапанами могут причинить больше вреда, чем пользы» [Jones 2020]; что клапан выдоха является главной проблемой при защите воздуха от его загрязнения больными [Ippolito et al. 2020]; и что «респираторы с клапанами, используемые больными, бесполезны при защите окружающих», и что их использование «равносильно не использованию ничего вообще» [Pallini 2020].

В некоторых регионах использование респираторов с клапанами запретили [Department of Public Health Order of the Health Officer 2020], и такой запрет ввели лидеры авиаперевозок [Alaska Airlines 2020; American Airlines 2020; Delta Airlines 2020; Southwest Airlines 2020]⁴.

В связи с этим необходимо провести исследования для определения выноса из маски частиц через клапаны, чтобы лучше разобраться – насколько это может быть опасно (при их использовании населением). Центры обратились с запросом – провести исследование, которое бы позволило давать рекомендации по использованию масок с клапанами на научной основе. Это исследование было проведено для выполнения указанного запроса; и для изучения проникания частиц через фильтрующие полумаски с клапанами выдоха.

³ В некоторых публикациях маски из ткани называют по-разному: “cloth face coverings” и “cloth masks”.

⁴ В этих источниках информации клапан может называться по-разному: “one-way vent”, “exhaust valve” и “vent”.

Цели исследования

Чтобы определить, в какой степени фильтрующие полумаски с клапанами выдоха могут снижать загрязнение окружающего воздуха больными, при проведении этого исследования было поставлено три цели:

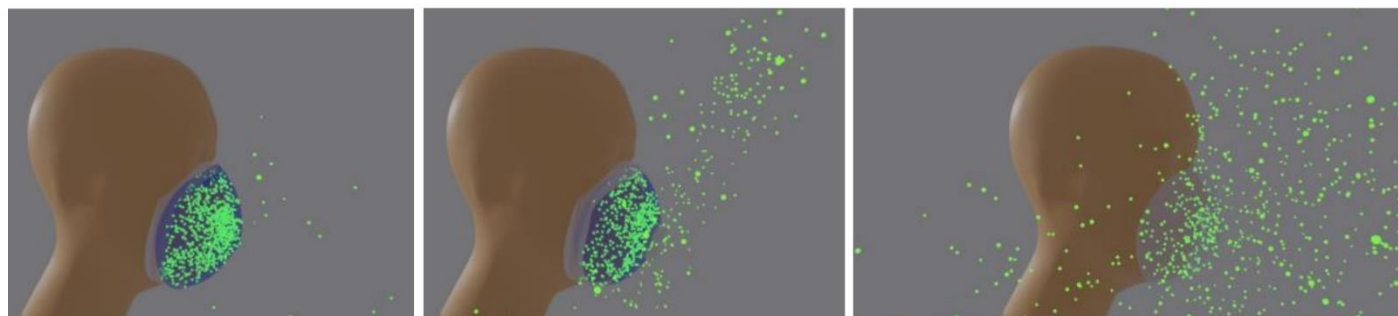
- (1) Измерить степень очистки воздуха респираторами с клапанами выдоха (12 моделей класса N95, примерно соответствуют FFP2; и одна модель N99, примерно соответствует FFP3) при движении воздуха из маски наружу, и извне в маску;
- (2) Сравнить проникание частиц аэрозоля через фильтрующие полумаски с клапаном с прониканием через хирургические маски, процедурные маски, маски из ткани, и маски, сделанные их футболки; и
- (3) Определить эффективность трёх способов снижения распространения аэрозоля через клапан выдоха при движении воздуха из маски наружу.

История вопроса

Для наглядной демонстрации того, как разные виды масок могут снижать загрязнение окружающего воздуха больными при кашле или чихании, может быть полезно использование визуализации с помощью манекена. Например, исследователи из Флоридского Атлантического университета (*Florida Atlantic University*), использовали подсветку лазером для обнаружения перемещения частиц аэрозоля [Verma et al. 2020]. В других исследованиях использовали Шлирен-метод (*Schlieren imaging*), позволяющий фотографировать поток среды с разной плотностью – что также может использоваться для визуализации движения аэрозоля, например – при кашле [Tang et al. 2008; Staymates 2020].

В указанных выше исследованиях использовалась визуализация людей. Чтобы помочь читателям представить себе перемещение аэрозоля (в контексте этого исследования), (мы) использовали модель, с помощью которой была сделана двумерная иллюстрация. На фиг. 1 (слева) показано, как фильтрующая полумаска (без клапана выдоха) обеспечивает плотное прилегание по периметру касания лица и улавливает частицы фильтром. В центре показана фильтрующая полумаска с клапаном, которая не пропускает частицы по периметру, (частично) улавливает их фильтром, и выпускает через клапан. А справа показано, как т.н. «барьерное средство защиты» не обеспечивает плотное прилегание по периметру касания, так что частицы выходят через зазоры по краям; а некоторые из них - отталкиваются назад.

Полученные NIOSH результаты моделирования распространения частиц из маски наружу



Фильтрующая полумаска без клапана

Фильтрующая полумаска с клапаном

Т.н. «барьерные СИЗ»: хирургические маски, маски из ткани и т.п.

Фиг. 1. Имитация выхода частиц наружу при использовании фильтрующей полумаски без клапанам выдоха (слева); с клапаном (в центре); и т.н. «барьерного средства защиты». Плотность частиц у лицу (на изображении) соответствует плотности аэрозоля, вышедшего из маски наружу.

Для получения иллюстрации (фиг. 1) использовалось программное обеспечение [Blender](#) (*Stichting Blender Foundation, Amsterdam*). Оно позволяет проводить трёхмерное моделирование и визуализировать результат. При проведении математического моделирования использовали исходные данные, соответствующие эффективности очистки (воздуха фильтром), а также наличию или отсутствию зазоров между маской и лицом. На фиг. 1, слева – фильтрующая полумаска без клапана выдоха, плотное (без зазоров) прилегание к лицу, фильтр пропускает не более 5% частиц. В центре – фильтрующая полумаска с клапаном, через фильтр проходит не более 5% частиц, и клапан выдоха пропускает 20% от (всех) частиц – если открыт. Справа – т.н. «барьерное средство защиты», не обеспечивающее плотного прилегания к лицу по периметру касания так, что поток выдыхаемого воздуха поднимается вверх, над головой, и выносит 50% всех (выдыхаемых) частиц.

Методы

В лаборатории СИЗ изучали 13 моделей фильтрующих полумасок с клапанами выдоха, сделанных десятью разными изготовителями. Определяли проникание частиц аэрозоля при движении воздуха из маски наружу, и извне в маску. При подборе моделей для проведения исследования использовали те доступные модели, которые имелись в Лаборатории СИЗ в избытке, по 4 штуки и более. Из-за нехватки образцов, проверяли и те, у которых истёк гарантийный срок хранения (*beyond their “use-by” date*); и взятые из ранее вскрытой коробки. Но мы считаем, что это не повлияло на результаты исследования. В таблице 1 показаны эти ограничения, которые также описаны в разделе «ограничения».

Для определения проникания аэрозоля через каждый респиратор использовали прибор TSI 8130 *filtration efficiency tester*, предназначенный для определения степени очистки воздуха фильтрами от аэрозоля хлорида натрия⁵. Каждую модель в каждом из сочетаний условий испытаний проверяли по 6 раз – если не указано иное (см. таблицу 1).

Таблица 1. Респираторы (фильтрующие полумаски с клапанами выдоха), изучавшиеся в этом исследовании.

Из-за нехватки образцов проверялись два класса респираторов, разное число экземпляров; а также такая модель, которая не сертифицирована Институтом.

Поставщик	Модель	Класс (США)	Число образцов	Истёк срок хранения	Из не открытой коробки	Сертификат
Dräger Safety AG & Company,	KGaA X-plore 1750	N95	6	нет	да	84А-4396
Jinhua Meixin Protective Equipment Factory	2001V	N95	6	нет	да	Не сертифицирован***
3M Company	9211	N95	5**	неизвестно	да	84А-2668
3M Company	8511CN	N95	6	нет	да	84А-5402
Visca Safety Comercial Limitada	Visca 2740V	N95	6	нет	да	84А-4486
AirGas Inc., Radnor	65059520A	N95	6	нет	да	84А-6250
Willson Dalloz Safety Products	NBW95V	N95	6	да-2017	да	84А-4378
Makrite Industries, Inc.	710VOV	N95	6	нет	да	84А-9219
Makrite Industries, Inc.	9800V	N95	6	нет	да	84А-9055
ATEM Company, Ltd	4030	N95	4**	нет	да	84А-7720
Moldex-Metric, Inc.	2310	N99*	6	да-2012	нет	84А-1459
Uline	S-10479	N95	6	неизвестно	да	84А-3714
Makrite Industries, Inc.	2201V	N95	6	нет	да	84А-9231

* У респираторов класса N99 фильтр улавливает не менее 99% мелких частиц. Эти респираторы примерно соответствуют FFP3 в ЕС и РФ.

** Не удалось получить по 6 экземпляров этих двух моделей.

*** Эта модель соответствует требованиям, предъявляемым к респираторам класса N95 при их сертификации в Институте – но она не была сертифицирована.

Использовавшееся оборудование

При проведении исследования использовалось следующее оборудование:

- Прибор для проверки степени очистки воздуха фильтрами TSI Model 8130 *filtration efficiency tester*.
- Весы (*microbalance*) с погрешностью измерения 0,0001 грамм.
- Фильтры из стекловолокна, класс А/Е, диаметром 102 мм, и размером пор 1 мкм.

⁵ Для получения частиц «наиболее проникающего размера», которые хуже всего задерживаются фильтром, генератор аэрозоля распыляет 2% раствор хлорида натрия NaCl. Мелкие капельки высыхают, и получается ещё более мелкий аэрозоль твёрдых частичек соли – с хорошо контролируемым распределением по размерам: средний (по счёту) диаметр частиц (CMD) 75±20 нанометров (нм), геометрическое стандартное отклонение (GSD) не более ≤1,86. При плотности 2,13 (грамм на см³) средний массовый аэродинамический диаметр равен 0,347 мкм [Eninger et al. 2008].

- Раствор хлорида натрия NaCl (2%) в дистиллированной воде.
- Помещение для испытаний с регулируемой температурой и влажностью.
- Приспособление (подставка) для испытаний: труба прямоугольного сечения из поликарбоната (прозрачного оргстекла) толщиной 6,4 мм; размеры 20,3 × 20,3 × 11,4 см, фиг. 2.
- Пластины из алюминия с отверстием в центре, диаметром 7,6 см, устанавливались на приспособление (подставку, см. предыдущий пункт) сверху и снизу (для установки респираторов на прибор).

Измерение перепада давления на респираторе (показатель сопротивления дыханию) измеряли прибором TSI 8130. Каждая из моделей фильтрующих полумасок испытывалась в двух положениях (движение воздуха через респиратор – извне внутрь; и из маски – наружу), при трёх способах снижения выноса частиц через клапан, и при трёх расходах воздуха. Поэтому максимально возможное число замеров могло бы быть (13 моделей × 2 положения × 3 способа × 3 расхода × 6 повторных замеров = 1170 замеров. Но некоторых моделей было меньше, чем 6 образцов, и получилось всего 1125 замеров.

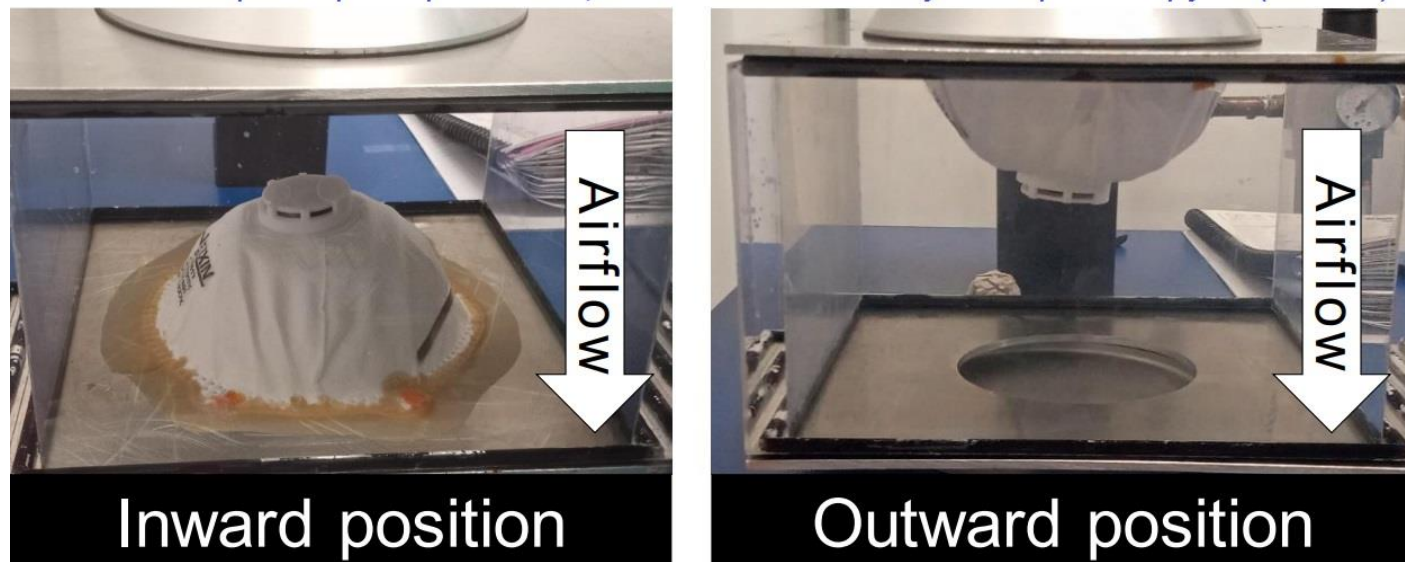
Влияние расхода воздуха

В стандарте США с требованиями к сертифицируемым респираторам, предусматривается измерение их свойств при расходе воздуха 85 л/мин. Выбор именно этого расхода предназначен для имитации выполнения работы средней тяжести. При проведении (сертификационных) испытаний воздух движется через респиратор в одном направлении, и со скоростью, соответствующей максимальному мгновенному расходу при дыхании. Также проводили испытания при меньших расходах воздуха: 25 и 55 л/мин – чтобы определить, как уменьшение расхода воздуха может повлиять на его очистку.

Контрольная группа замеров

Контрольная группа замеров проводилась при установке маски на испытательный стенд в двух положениях (фиг. 2). В первом положении воздух двигался «внутри маски» - как при вдохе; во втором он двигался «наружу» - как при выдохе. В обоих случаях клапан выдоха был в исправном, работоспособном состоянии. Замеры в первом положении проводили как контроль, для оценки эффективности очистки воздуха респиратором. А во втором (при движении воздуха как при выдохе, в том числе, отчасти, и через открытый клапан) – для оценки эффективности очистки при свободном, нормально работающем клапане.

Испытания респираторов в Национальном институте охраны труда (NIOSH)



Движение воздуха: извне в маску (слева) и из маски наружу (справа)

Фиг. 2. Замеры проникания частиц через 13 моделей респираторов в двух положения. Слева – движение воздуха извне в маску (как при сертификационных испытаниях) респираторов класса «N» в Институте. Справа – то же, при движении воздуха из маски наружу, как при выдохе.

Движение воздуха извне в маску

При движении воздуха в маску определяли, насколько хорошо респиратор очищает воздух. Этот замер проводили точно так же, как и сертификации респираторов класса «N» Институтом (*NIOSH Respirator Approval Program*). У 12 проверявшихся респираторов эффективность должна быть выше 95%, что соответствует прониканию менее 5% (проникание = 1 – эффективность). А у ещё одного респиратора, класса N99, эффективность должна быть выше 99% (т.е. проникание меньше 1%). Для предотвращения просачивания воздуха по периметру (в обход фильтра, без очистки), края респиратора загерметизировали с помощью пчелиного воска, фиг. 2.

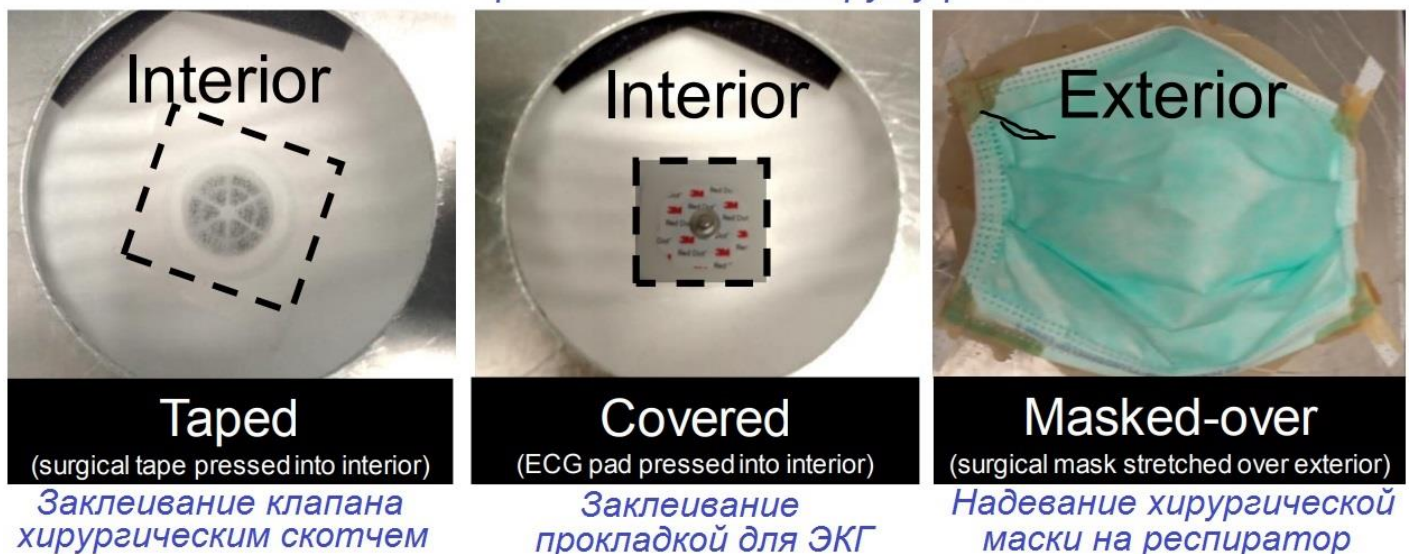
Движение воздуха из маски наружу

При движении воздуха из маски определяли степень очистки воздуха, прошедшего через фильтр, и учитывали частицы, вышедшие с воздухом, прошедшим через клапан (если он открывался). При сертификации фильтрующих полумасок в Институте такая проверка не проводится. У 13 проверявшихся моделей, полученная эффективность была результатом проникания частиц через фильтр и прошедших через клапан. Периметр респираторов загерметизировали воском.

Экспериментальная группа замеров

Для устранения или снижения проникания частиц через клапан выдоха использовали три способа, фиг. 3. Клапан заклеивали хирургическим скотчем; заклеивали прокладкой для электрокардиограмм; и надевали на респиратор сверху хирургическую маску (закрывавшую клапан). Все модели проверяли при использовании этих способов, и при движении воздуха из маски наружу (как при выдохе) - для оценки возможности снижения загрязнённости окружающего воздуха больным.

Снижение выноса аэрозоля из маски наружу разными способами



Фиг. 3. Три способа уменьшения проникания аэрозоля через клапан. Пунктиром показаны: края скотча (слева), и края прокладки для электрокардиограммы (в центре).

Способы герметизации клапана выдоха

Заклеивание скотчем

Перед замером кусок хирургического скотча, размером 5,1 × 5,1 см (2"×2") приклеили в респираторе с внутренней стороны. Испытания респиратора с загерметизированным клапаном проводили так же, как и при замерах проникания в маску – зазоры по периметру устранили с помощью пчелиного воска. Использовали скотч Nexcare gentle paper tape, среднего размера (*with medium hold*). В медучреждениях его называют: *3M Micropore surgical tape*. Замеры проводили при движении воздуха из маски наружу, но с предварительно приклеенным скотчем, закрывавшим клапан.

Заклеивание прокладкой для кардиограммы

Для герметизации использовали прокладку для электрокардиограммы (*ECG pad - 3M Red Dot*), которую аккуратно, мягко приклеили с внутренней стороны респиратора. Как и при замерах проникания в маску, зазоры по периметру устранили с помощью пчелиного воска. Измерения проводились при движении воздуха «из маски наружу».

С хирургической маской поверх

Для уменьшения распространения частиц через клапан на респиратор сверху надели хирургическую маску. Зазоры по периметру устранили с помощью пчелиного воска. Хирургическую маску наложили на респиратор сверху, плотно, и приклеили нагретым клеем (*hot glue*). Пластинку (для придания маске формы около носа) изогнули так, чтобы подогнать форму маски к форме респиратора, а четыре угла маски, где были резинки для крепления – загерметизировали с помощью пчелиного воска, см. фиг. 3 справа.

В такой конфигурации результат измерений зависел от взаимодействия респиратора и маски, поэтому (мы) постарались добиться плотного прилегания.

Выбор способа герметизации клапана

Герметизацию клапана с помощью скотча и прокладки для ЭКГ выбрали потому, что необходимые материалы имелись в медучреждениях, они были не токсичны, и хорошо прилипали к влажным поверхностям. Могут возникнуть две проблемы: липкий материал может отклеиться от поверхности (и, с течением времени, перестать закрывать проход воздуха в необходимой степени); и то, что некоторые липкие материалы могут содержать токсичные вещества. С учётом этого, (мы выбрали) прокладку для электрокардиограммы и хирургический скотч, которые, вероятно, не были токсичны при контакте с кожей, при вдыхании и проглатывании; и которые хорошо прилипали во влажных условиях. Надевание хирургической маски на респиратор выбрали потому, что это согласуется с указаниями [[CDC 2020b](#)] – для случая, если необходимо уменьшить загрязнение воздуха больным, и если имеются лишь респираторы с клапанами выдоха.

Средства защиты, не являющиеся респираторами

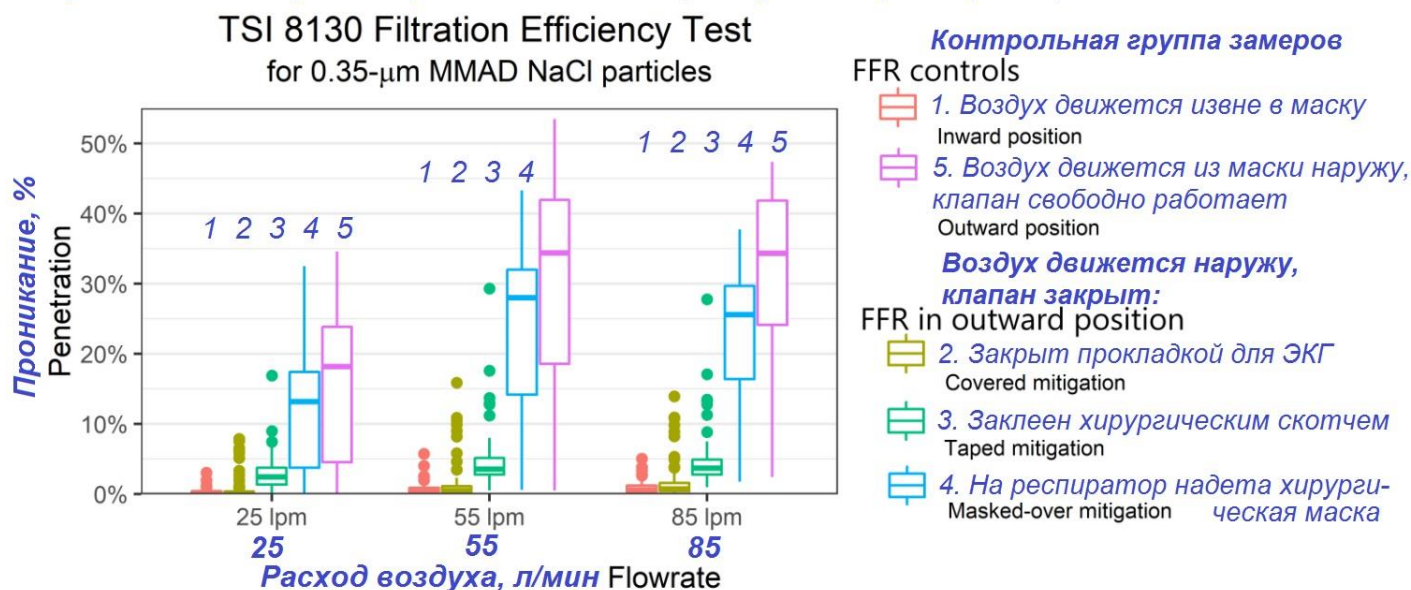
Кроме изучения фильтрующих полумасок, было проверено небольшое число масок, предназначенных для использования в медучреждениях, и маски из ткани (4 модели хирургических масок, 7 процедурных масок, 6 масок из ткани, и две маски, сделанные их футболок).

Две модели хирургических масок использовались для оценки способа уменьшения загрязнения воздуха – надевание маски на респиратор с клапаном выдоха. Среди масок из ткани, у двух был вставляющийся фильтр, а у трёх – клапан выдоха. Число разных моделей «не респираторов», изучавшихся в этом исследовании, было очень мало, и полученные результаты не являются репрезентативными для всего многообразия подобных изделий. Но мы включили их чтобы показать, что оборудование и метод измерений дают результат, сопоставимый с полученным в ранее проведёнными Институтом исследованиями СИЗ, не являющихся респираторами [[Rengasamy et al. 2009](#); [Rengasamy et al. 2010](#)].

Результаты измерений очистки воздуха

Результаты, полученные при проведении 1125 замеров у 13 моделей респираторов, показаны на фиг. 4.

Результаты измерения проникания частиц со средним размером 0,35 мкм



Фиг. 4. Проникание аэрозоля через 13 моделей фильтрующих полумасок с клапаном выдоха. Замеры проведены при трёх расходах воздуха, и при движении воздуха извне в маску; и при движении воздуха из маски наружу (в последнем случае: при свободно работающем клапане, при заклеенном скотчем, заклеенном прокладкой для ЭКГ, и при надетой поверх хирургической маске). Прямоугольниками показаны средние значения, и доли 25% и 75% (для замеров у всех моделей; всего 1125 замеров). Численные значения приводятся в приложении, таблица А1.

При движении воздуха внутрь маски, проникание было меньше 5% во всех случаях, кроме одного. При движении воздуха из маски наружу (как при выдохе) проникание было в диапазоне от <1% до 55%. При герметизации клапана прокладкой для электрокардиограммы проникание было практически таким же, как и при движении воздуха извне в маску. При расходе воздуха 85 л/мин среднее проникание было 31% (при движении воздуха из маски наружу и нормально работающем клапане – контроль). При надевании маски на респиратор среднее проникание было 23%; при заклеивании (скотчем) клапана 5%; и при закрывании клапана прокладкой для электрокардиограммы - 2%. При всех других расходах воздуха, и размещении прониканий в порядке убывания – последовательность способов та же самая. При расходе воздуха 25 л/мин проникание было наименьшим, а при 55 и 85 л/мин – наибольшим. На фиг. 5 показаны результаты, полученные при движении воздуха из маски наружу, при свободно работающем клапане (контроль) для каждой из моделей респираторов. (Результаты для) расходов воздуха 25, 55 и 85 л/мин показаны маркерами разной формы и цвета.

При защите окружающего воздуха от загрязнения (больными), у некоторых моделей (65059520А, 2201V и 4030) при свободно открывающемся клапане проникание было менее 20%. У других моделей (S-10479, 2310, 2001V, X-Plote 1750, VICSA 2740V, 9800V) проникание было значительно больше, в среднем более 40%. У некоторых моделей проникание было очень нестабильным. Например, у 2001V оно было в диапазоне от <1 до 44%.

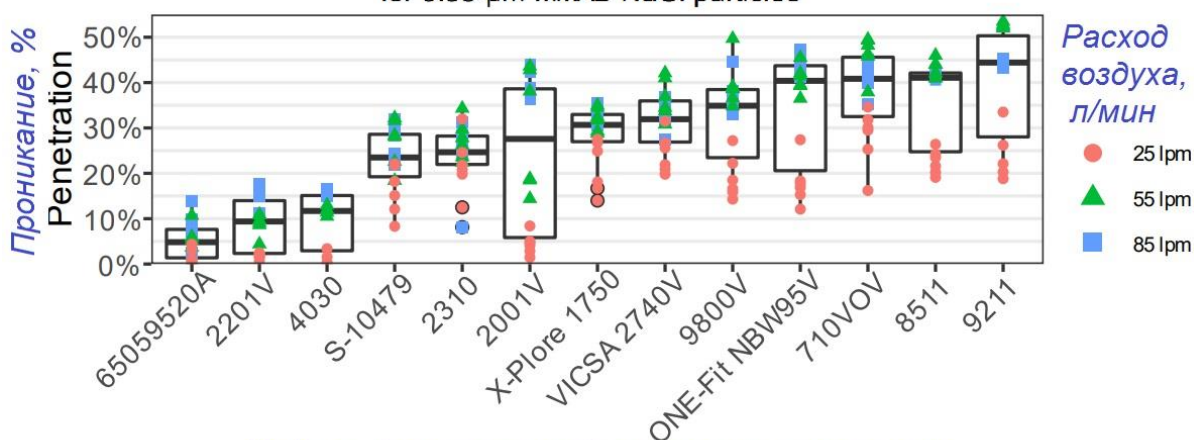
При расходе воздуха 25 л/мин проникание было наименьшим у всех моделей – за одним исключением. У 2310 проникание было минимально, 8%, при расходе воздуха 85 л/мин. А максимальное проникание было у большинства моделей при одном расходе воздуха – 55 л/мин. Но у респираторов, у которых проникание не превышало 20% (65059520А, 2201V и 4030), оно было максимально при расходе воздуха 85 л/мин.

На фиг. 6 показаны результаты, полученные при изучении хирургических масок, процедурных масок, масок из ткани, и масок, сделанных из х/б футболки. Измерялось проникание субмикронных частиц при движении воздуха из маски наружу.

Результат измерения проникания частиц аэрозоля NaCl размером 0,35 мкм

TSI 8130 Filtration Efficiency Test

for 0.35-µm MMAD NaCl particles



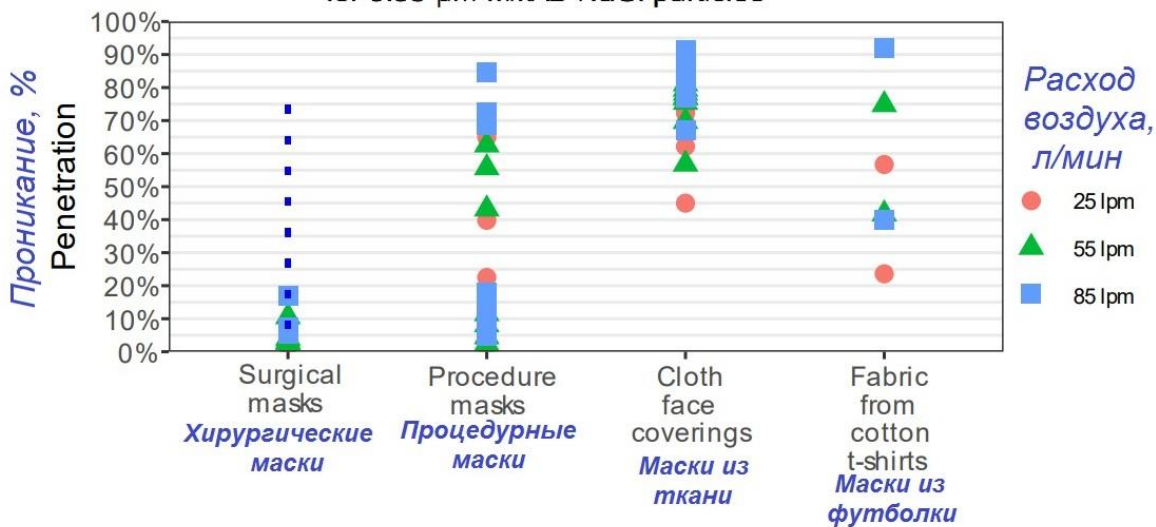
Модель фильтрующей полумаски с клапаном

Фиг. 5. Очистка воздуха от аэрозоля у 13 моделей фильтрующих полумасок, при движении воздуха из маски наружу, и свободно работающем клапане выдоха. Прямоугольниками показаны средние значения, и доли 25% и 75% от всех замеров (всего замеров 1125). Цветом показаны результаты при разных расходах воздуха, 25, 55 и 85 л/мин. Численные значения приводятся в приложении, таблица А2.

Результат измерения проникания частиц аэрозоля NaCl размером 0,35 мкм

TSI 8130 Filtration Efficiency Test

for 0.35-µm MMAD NaCl particles



Виды т.н. «барьерных средств защиты»

Фиг. 6. Результаты измерений очистки воздуха «не-респираторами». Пунктиром (синего цвета) показаны результаты, полученные [Rengasamy et al. \[2009\]](#) у хирургических масок, надетых на манекен. При интерпретации этих результатов следует учесть, что ни одно из не сертифицируемых средств защиты (процедурные маски, маски из ткани, маски, сделанные из футболки) не предназначены для эффективного улавливания субмикронных частиц. Проникание через эти средства защиты может уменьшиться при воздействии более крупных частиц. Численные значения приводятся в приложении, таблица А3.

Проникание частиц через хирургические маски было в диапазоне от 2 до 17%. У процедурных масок проникание было более разнообразным – от 1 до 85%. У масок из ткани оно было от 45 до 91%. А у масок, сделанных из х/б футболки проникание было от 24 до 92%.

У двух масок из ткани было проверено изменение проникания при установке в маску фильтра. У одной, при расходах воздуха 25, 55 и 85 л/мин, проникание снизилось на 6, 11 и 14% соответственно. У другой – на 39, 22 и 20% соответственно. У трёх масок из ткани, с клапанами выдоха, проникание аэрозоля при движении воздуха из маски наружу было от 45 до 87%.

Обсуждение

В этом исследовании изучалась эффективность улавливания маленьких частиц (средний массовый аэродинамический диаметр 0,35 мкм) фильтрующими полумасками с клапаном выдоха. Для измерений проникания использовали прибор TSI 8130, предназначенный для проверки эффективности очистки воздуха фильтрами. Для замеров респираторы закрепляли на приборе в двух положениях – так, чтобы воздух шёл в маску, и чтобы выходил из маски (имитация вдоха и выдоха). В последнем случае проверяли три способа снижения проникания частиц через клапан: заклеивание прокладкой для электрокардиограммы, заклеивание скотчем, и надевание на респиратор хирургической маски. Измерения проводились при трёх расходах воздуха: 25, 55 и 85 л/мин, соответствующих максимальной мгновенной скорости воздуха при вдохе, при выполнении работы от лёгкой до средней степени тяжести.

При движении воздуха в маску, проникание не превышало 5%, что соответствует требованиям при сертификации в Институте.

При движении воздуха наружу, и (отчасти) через клапан выдоха, проникание частиц было в диапазоне от менее 1 до 55%. У разных моделей проникание было разным. Это показывает, что оно зависит от конструкции клапана и использовавшихся материалов. В этом исследовании не определялось – открываются ли клапаны, или нет. Но исследователи NIOSH пришли к выводу, что у некоторых моделей клапаны могут не открываться в большинстве случаев. Этот вывод основан на результатах измерения проникания, которое в некоторых случаях было меньше 1% (например, у модели 65059520A, см. фиг. 5). Получить такое маленькое проникание при открытом клапане невозможно. Может быть, клапаны этих респираторов были спроектированы так, чтобы они открывались при больших расходах воздуха. Отличия, наблюдавшиеся у одних и тех же моделей, но при разных расходах воздуха, тоже может объясняться тем, что клапан может быть закрытым или открытым при разных расходах воздуха; и у разных моделей его открывание происходит при разном расходе воздуха. У некоторых моделей клапан при открывании остаётся открытым, у других – начинает «открываться-закрываться» (*fluttering*) в потоке воздуха.

У всех моделей респираторов, и при всех расходах воздуха, наилучший способ герметизации клапана – использование прокладки для электрокардиограммы, устанавливаемой с внутренней стороны маски. Это снижает проникание до < 5% (у всех моделей, кроме одной). У этой модели – в отличие от всех других – клапан выдоха закрыт с внутренней стороны фильтровальным материалом, и герметично прикрепить скотч или прокладку (как к пластмассовой основе в других моделях) сложно. Заклеивание клапана хирургическим скотчем с внутренней стороны маски даёт практически такой же результат, что и использование прокладки для электрокардиограммы.

Надевание хирургической маски на респиратор сверху – самый неэффективный способ. Это может объясняться тем, что лучший способ устранения загрязнений воздуха – в источнике, до того, как они попали в атмосферу, и рассеялись. Возможно другое объяснение – после встречи с клапаном выдоха поток воздуха движется параллельно поверхности хирургической маски. При не плотном прилегании хирургической маски к респиратору создаёт канал, по которому аэрозоль выходит наружу.

У масок, которые не были респираторами, наименьшее проникание было у хирургических масок (от 2 до 17%). Но в этом исследовании маски герметично закрепляли по их периметру с помощью пчелиного воска, и соответственно, совершенно не учитывали прохождение неочищенного воздуха через зазоры между маской и лицом. А если учитывать и это, то проникание будет значительно больше. Проведённое NIOSH исследование показало, что оно может быть от 7 до 76% [Rengasamy et al. 2009].

Проникание через фильтровальный материал процедурных масок было более разнообразным, от 1 до 85%. Это и ожидалось, т.к. «процедурные маски» не относятся к медицинским устройствам, и не сертифицируются [Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов \(FDA\)](#). Исключением являются случаи, когда изготовитель декларирует своё изделие как медицинские устройства. Ожидается, что маски, которые не являются (сертифицируемыми) средствами индивидуальной

защиты органов дыхания, не смогут хорошо очищать воздух от мелких частиц, использующихся при проверке эффективности фильтра [Clase et al. 2020]. Но полученные в этом исследовании результаты не означают, что такие маски не могут эффективно улавливать крупные частицы.

У шести масок из ткани, проникание субмикронного аэрозоля было от 24 до 92%. А у двух масок, сделанных из х/б футболки, проникание было от 45 до 91%. Хотя (мы) проверили немного образцов, но полученные в этом исследовании значения схожи с результатом другого исследования, в котором изучали маски из ткани – проникание было от 40 до 90% [Rengasamy et al. 2010]. Результаты, полученные для 6 масок в этом исследовании, показали, что минимальное проникание (24%) немного меньше, чем в предыдущем исследовании NIOSH, а максимальное проникание примерно такое же (92%).

Результаты этого исследования поднимают важный вопрос: обеспечивает ли использование фильтрующей полумаски с (не загерметизированным) клапаном лучшую защиту воздуха от загрязнения (больным), чем использование хирургических масок? Хотя проникание зависит от модели респиратора (с клапаном), и от модели хирургической маски, максимальное проникание в этом исследовании было 55%, при расходе воздуха 55 л/мин. А у хирургических масок максимальное проникание через фильтр было 17%, а с учётом прохода воздуха через зазоры между маской и лицом – 76% [Rengasamy et al. 2009]. Увеличение расхода воздуха не увеличило давление, так как поток воздуха через клапан выдоха – ограничен. Рост расхода воздуха до 85 л/мин увеличивает поток через фильтровальный материал – клапан уже полностью открыт. Таким образом, при использовании респираторов с клапаном для уменьшения загрязнения воздуха (больными), и сравнении его при таком применении с хирургическими масками – выход (неотфильтрованного) воздуха по периметру хирургических масок больше, и этот выход менее стабилен, чем выход (неотфильтрованного) воздуха через клапан выдоха у фильтрующих полумасок с свободно открывающимся клапаном.

В этом исследовании изучались фильтрующие полумаски с клапаном выдоха – их способность очищать воздух, потенциально, для снижения его загрязнения больными. (Оказалось), что даже при свободно открывающемся клапане, проникание субмикронных частиц у любой из проверенных фильтрующих полумасок было меньше 55%. То есть, любая модель улавливала примерно половину наиболее проникающих (через фильтр) частиц. А при герметизации с помощью прокладки для электрокардиограммы, или хирургического скотча, степень очистки воздуха у респиратора с клапаном практически такая же, что и у респиратора без клапана выдоха.

Это исследование, при использовании наиболее проникающих частиц, показало, что фильтрующие полумаски с свободно открывающимся клапаном выдоха могут, в некоторой степени, снизить загрязнение окружающего воздуха больным. Схожее исследование СИЗОД с принудительной подачей отфильтрованного воздуха в лицевую часть, и СИЗОД с масками из непроницаемых материалов (со съёмными фильтрами) должно стать важным развитием начатой работы, поскольку в некоторых медицинских учреждениях используют хирургические маски, надеваемые на респираторы с масками из непроницаемых материалов – для уменьшения загрязнения окружающего воздуха.

Ограничения

Главным ограничением этого исследования было то, что все замеры проводились при использовании аэрозоля с частицами одного размера (средний массовый аэродинамический диаметр 0,35 мкм; стандартное геометрическое отклонение не более 1,86). Эти частицы могли выйти наружу из подмасочного пространства двумя путями: через фильтр, и через клапан выдоха. Для тех частиц, которые проходили через фильтр, использовавшийся нами размер считается наиболее проникающим. Соответственно, нами использовались такие частицы, которые лучше всего могут пройти через фильтр [Eshbaugh et al. 2008]. При движении крупных частиц (образующихся при кашле, чихании) через клапан выдоха, из-за инерции они могут не успеть изменить направление движения вместе с потоком воздуха, и могут столкнуться с поверхностью (клапана) [Fuchs 1986]. Поэтому изучавшиеся нами частицы соответствовали «наихудшему случаю» с точки зрения их проникания (и через фильтр, и через клапан). Можно ожидать, что у более крупных частиц проникание будет меньше.

Другие ограничения этого исследования:

- При использовании прибора TSI 8130 маска крепится по периметру герметично, и соответственно, никак не учитывается проникание аэрозоля через зазоры между маской и лицом.

- При сравнении проникания аэрозоля через респираторы и хирургические маски, и при движении воздуха наружу, не учитывалось (возможное на практике) движение воздуха через зазоры между маской и лицом, при их неплотном касании.
- Не изучалось влияние влажности, которая может привести к прилипанию клапана. В этом исследовании изучалось проникание искусственно созданного (машиной) аэрозоля, в котором нет влаги, присутствующей в воздухе, выдыхаемом людьми.
- В этом исследовании не изучалось, как долго и в каких условиях хирургический скотч или прокладка для электрокардиограммы будут надёжно удерживаться с внутренней стороны респиратора.
- Использование прибора TSI 8130 позволяет измерить проникание мелких частиц, но не позволяет определить проникание крупных частиц, которые образуются при кашле или чихании.
- В этом исследовании не определялось, какая концентрация аэрозоля обычно создаётся людьми.
- Выбор моделей респираторов, и конкретных образцов, не был полностью рандомизирован.
- Не изучалось то, как на результат влияет использование респираторов с истёкшим сроком хранения и из уже открытой коробки.
- При испытаниях воздух прокачивался через маски с постоянной скоростью, соответствующей максимальной пиковую скорость воздуха при синусоидальном движении. Выбранные расходы воздуха соответствовали выполнению работы при умеренной физической нагрузке.
- При расходе воздуха 25 л/мин, и длительности отбора проб воздуха (38 секунд), возможно, равновесное (установившееся) состояние к моменту отбора проб не достигалось. Это могло повлиять на аккуратность и точность измерений при таком расходе воздуха.
- Сделанные выводы ограничиваются изучавшимися моделями. Выбранные 13 моделей 10 разных изготовителей являются неплохой попыткой оценить свойства имеющихся на рынке респираторов; но свойства других, не изучавшихся моделей, могут выходить за границы, полученные в этом исследовании.

Выводы

На основе изучения 13 разных моделей фильтрующих полумасок с клапаном выдоха, при движении воздуха из маски наружу, и нормально работающем клапане, были получены разные значения проникания – от <1% до 55%. В дальнейшем можно измерить проникание более крупных частиц.

При нормально работающем (открывающемся) клапане выдоха, фильтрующие полумаски с клапаном уменьшают загрязнение воздуха «выдыхаемыми» мелкими частицами (средний массовый аэродинамический диаметр 0,35 мкм) значительно лучше, чем хирургические маски, процедурные маски, и маски из ткани, или сделанные из х/б футболки. Но не у всех моделей респираторов снижение загрязнения больше, чем у хирургических масок.

При герметизации отверстия для выхода воздуха в клапане, если фильтровальный материал не мешает его плотному закрыванию, вынос указанных частиц из маски наружу может быть снижен до менее чем 5%. Качество клапанов выдоха можно увеличить, если разработать критерии для оценки их работоспособности. При разработке таких критериев можно учесть: наличие доступной пластиковой основы, не закрытой фильтром – так, чтобы можно было качественно клеивать клапан; или минимальное и максимальное проникания при определённом расходе воздуха.

Закрывание клапана хирургической маской не обеспечивает надёжное устранение выноса частиц через клапан – по крайней мере, по сравнению с другими способами, которые изучались в этом исследовании. Самые лучшие результаты были получены при закрывании клапана прокладкой для электрокардиограммы, и (несколько хуже), при наклеивании хирургического скотча поверх клапана. Мы преднамеренно выбирали такие средства и материалы, которые, как ожидается, не токсичны при контакте с кожей, вдыхании и проглатывании.

Респираторы с клапанами выдоха обеспечивают защиту органов дыхания работника. Это исследование показало, что они также могут уменьшить загрязнение окружающего воздуха мелкими частицами не хуже, чем хирургические или тканевые маски. А герметизация клапана может уменьшить загрязнение окружающего воздуха ещё больше. Но такую герметизацию нужно тщательно изучить, учтя и [медицинские требования](#), и требования, предъявляемые к респираторам при сертификации в Институте. При нехватке респираторов (без клапана выдоха), респираторы с клапаном могут стать дополнительным средством защиты, в ситуациях, когда необходимо и защитить работника, и уменьшить загрязнение окружающего воздуха.

Полученные результаты являются одними из первых замеров проникания частиц через фильтрующие полумаски с клапаном выдоха, которые проводили при движении воздуха из маски наружу. Полученные результаты могут быть полезны (для разработки) рекомендаций по снижению загрязнения воздуха больными.

Источники дополнительной информации

Для получения дополнительной информации об использовании средств индивидуальной защиты посетите сайт Лаборатории СИЗ (NPPTL), и обратитесь с помощью “Contact Us”.

Источники информации

- ↑ **Alaska Airlines** [2020]. Alaska Airlines strengthens face covering policy: No mask, no travel, no exceptions. <https://newsroom.alaskaair.com/2020-08-05-Alaska-Airlines-strengthens-facecovering-policy-No-mask-no-travel-no-exceptions>
- ↑ **American Airlines** [2020]. New face covering guidelines for customer and team member safety: exhaust valves or vents will no longer be allowed on American Airlines. News release. http://s21.q4cdn.com/616071541/files/doc_news/New-Face-Covering-Guidelines-for-Customerand-Team-Member-Safety-Exhaust-Valves-or-Vents-will-No-Longer-be-Allowed-on-AmericanAirlin-UKCJM.pdf
- ↑ **ASTM** [2019]. ASTM F2100-19e1. Standard specification for performance of materials used in medical face masks. West Conshohocken, PA: ASTM International. <https://www.astm.org/Standards/F2100.htm>
- ↑ **Augenbraun BJ, Lasner ZD, Mitra D, Prabhu S, Raval S, Sawaoka H, Doyle JM** [2020]. Assessment and mitigation of aerosol airborne SARS-CoV-2 transmission in laboratory and office environments. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 17(10): 447–456. <https://oeh.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15459624.2020.1805117>
- ↑ **CDC** [2020a]. Considerations for wearing masks. U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. Accessed December 12, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/cloth-face-coverguidance.html>.
- ↑ **01 02 CDC** [2020b]. Personal protective equipment: questions and answers. U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. Accessed December 12, 2020. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/respirator-use-faq.html>
- ↑ **CFR 42 Part 84**. Approval of respiratory protective devices. <https://ecfr.io/Title-42/Part-84>
- ↑ **Chin AWH, Chu JTS, Perera MRA, Hui KPY, Yen H-L, Chan MCW, Peiris M, Poon LLM** [2020]. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe* 1(1): e10. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- ↑ **01 02 Clase CM, Fu EL, Ashur A, Beale RCL, Clase IA, Dolovich MB et al.** [2020]. Forgotten technology in the COVID-19 pandemic: filtration properties of cloth and cloth masks - a narrative review. *Mayo Clinic Proceedings*. 95(10): 2204–2224. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025619620308260>
- ↑ **Dau NQ, Peled H, Lau H, Lyou J, Skinner C** [2020]. Why N95 should be the standard for all COVID-19 inpatient care. *Annals of Internal Medicine*. (Ideas and Opinions) November 3. <https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/M20-2623>
- ↑ **Delta Airlines** [2020]. Face masks required for everyone’s safety. <https://www.delta.com/us/en/travel-update-center/ways-we-are-keeping-you-safe/onboardservices#facemask>
- ↑ **Department of public health** order of the health officer [2020]. Order of the Health Officer of the city and county of San Francisco generally requiring members of the public and workers to wear face coverings. <https://www.sfdph.org/dph/alerts/files/Order-C19-12-Face-Coverings.pdf>
- ↑ **DHHS** [2015]. Hospital respiratory protection program toolkit. U.S. Department of Health and Human Services. Centers for Disease Control and Prevention. DHHS (NIOSH) Publication Number 2015-117. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2015-117/default.html>
- ↑ **Eninger RM, Honda T, Reponen T, McKay R, Grinshpun SA** [2008]. What does respirator certification tell us about filtration of ultrafine particles? *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 5(5): 286–295. doi: 10.1080/15459620801960153
- ↑ **Eshbaugh JP, Gardner PD, Richardson AW, Hofacre KC** [2008]. N95 and P100 respirator filter efficiency under high constant and cyclic flow. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 6(1): 52–61. doi: 10.1080/15459620802558196

- ↑ **Fuchs NA** [1986]. Methods for determining aerosol concentration. *Aerosol Science and Technology*. 5(2): 123–143. doi: 10.1080/02786828608959084
- ↑ **Ippolito M, Iozzo P, Gregoretti C, Grasselli G, Cortegiani A** [2020]. [Facepiece filtering respirators with exhalation valve should not be used in the community to limit SARS-CoV-2 diffusion](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32408923/). *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 15(FirstView articles): 15 May, pp. 1–2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32408923/>
- ↑ **Jones** [2020]. Why health experts say masks with exhalation valves can do more harm than good. *KVUE ABC news*. <https://www.kvue.com/article/news/health/coronavirus/why-health-expertssay-masks-with-exhalation-valves-can-do-more-harm-than-good/85-804a13cc-7619-41ce-8207-b52698842663>
- ↑ **Pallini T** [2020]. Most people are wearing N95s incorrectly when they fly. *Business Insider*. <https://www.businessinsider.com/why-you-shouldnt-wear-n95-mask-when-traveling-2020-11>
- ↑ **Perrotta F, Matera MG, Cazzola M, Bianco A** [2020]. Severe respiratory SARS-CoV2 infection: does ACE2 receptor matter? *Respiratory Medicine*. 168:105996. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2020.105996>
- ↑ **Ratnesar-Shumate S, Williams G, Green B, Krause M, Holland B, et al.** [2020]. Simulated sunlight rapidly inactivates SARS-CoV-2 on surfaces. *The Journal of Infectious Diseases*. 222(2): 214–222. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa274>
- ↑ **01 02 03 04 Rengasamy S, Miller A, Eimer BC, Shaffer RE** [2009]. Filtration performance of FDA-cleared surgical masks. *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. 26(3): 54–70. <https://www.isrp.com/the-isrp-journal/journalpublic-abstracts/1150-vol-26-no-3-2009-pp-54-70-rengasamy-open-access>
- ↑ **01 02 Rengasamy S, Eimer B, Shaffer RE** [2010]. Simple respiratory protection—evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20–1000 nm size particles. *The Annals of Occupational Hygiene* 54(7): 789–798. doi: 10.1093/annhyg/meq044
- ↑ **Schröder I** [2020]. COVID-19: a risk assessment perspective. *ACS Chemical Health & Safety*. 27(3):160–169. doi: 10.1021/acs.chas.0c00035
- ↑ **Southwest Airlines** [2020] Southwest Airlines further bolsters the Southwest promise with updated face covering policy. <https://www.swamedia.com/releases/releaseb7be572470a097dea61e12368f05e97d-southwest-airlines-further-bolsters-the-southwestpromise-with-updated-face-covering-policy>
- ↑ **Staymates M** [2020]. Flow visualization of an N95 respirator with and without an exhalation valve using schlieren imaging and light scattering. *Physics of Fluids*. 32(11): 111703. <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/5.0031996>
- ↑ **Tang JW, Path FRC, Settles GS** [2008]. Coughing and aerosols. *The New England Journal of Medicine*. 359(15). <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMicm072576>
- ↑ **Verma S, Dhanak M, Frankenfield J** [2020]. Visualizing droplet dispersal for face shields and masks with exhalation valves. *Physics of Fluids*. 32(09). <https://doi.org/10.1063/5.0022968>
- ↑ **Zhou SS, Lukula S, Chiossone C, Nims RW, Suchmann DB, Ijaz MK** [2018]. Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *Journal of Thoracic Disease*. 10(3): 2059–2069. <http://jtd.amegroups.com/article/view/20136/html>

Приложение

Таблица А1. Статистические выходы, при разных расходах воздуха, и разных методах уменьшения проникания через клапан.

Условия испытаний, поток воздуха из маски наружу	Расход воздуха, л/мин	Среднее проникание, %	Стандартное отклонение	N	Изменчивость минимального среднего проникания у 13 моделей	Изменчивость максимального среднего проникания у 13 моделей
Свободно работающий клапан	25	16,03	10,22	75	1,36	27,92
	55	31,03	14,77	75	5,33	53,16
	85	31,45	12,05	75	8,43	44,68
Клапан заклеен прокладкой для ЭКГ	25	0,83	1,80	75	0,03	6,54
	55	1,58	2,96	75	0,06	10,73
	85	1,80	2,82	75	0,11	10,43
Клапан заклеен скотчем	25	2,98	2,58	75	0,26	9,13
	55	4,69	4,18	75	0,88	16,25
	85	4,74	4,03	75	1,10	15,96

На респиратор надета хирургическая маска	25	11,91	8,00	75	0,85	25,48
	55	24,21	11,18	75	4,85	40,53
	85	23,42	8,54	75	7,07	34,74

Таблица А2. Статистические данные о проникании частиц через фильтрующие полумаски, при движении воздуха извне внутрь; и изнутри наружу.

Модель	Направление движения воздуха	N	Среднее проникание частиц	Стандартное отклонение	Значение Р для отличия
2001V	внутри	18	0,26	0,24	< 0,001
	наружу	18	24,39	16,93	
2201V	внутри	18	0,06	0,05	< 0,001
	наружу	18	8,67	5,96	
2310	внутри	18	0,27	0,14	< 0,001
	наружу	18	24,39	6,52	
4030	внутри	12	0,08	0,07	< 0,001
	наружу	12	9,56	6,36	
65059520A	внутри	18	1,27	1,17	0,09
	наружу	18	5,14	4,04	
710VOV	внутри	18	0,37	0,31	< 0,001
	наружу	18	38,58	9,25	
8511	внутри	18	0,70	0,43	< 0,001
	наружу	18	35,75	9,83	
9211	внутри	15	0,23	0,05	< 0,001
	наружу	15	40,60	12,98	
9800V	внутри	18	1,95	1,44	< 0,001
	наружу	18	31,87	10,35	
ONE-Fit NBW95V	внутри	18	1,53	1,13	< 0,001
	наружу	18	34,46	12,62	
S-10479	внутри	18	0,70	0,44	< 0,001
	наружу	18	23,60	7,09	
VICSA 2740V	внутри	18	0,56	0,19	< 0,001
	наружу	18	31,34	6,52	
X-Plore 1750	внутри	18	0,63	0,78	< 0,001
	наружу	18	28,73	6,49	

Таблица А3. Статистические данные о проникании частиц при разных расходах воздуха через четыре средства защиты, которые не являются респираторами.

Вид СИЗ	Расход воздуха	N	Среднее проникание	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Хирургическая маска	25	4	2,83	1,70	1,50	5,30
	55	4	5,18	3,66	2,80	10,60
	85	4	8,98	5,41	5,50	17,00
Процедурная маска	25	7	19,86	24,45	1,00	64,90
	55	7	26,87	26,00	2,50	62,60
	85	7	38,40	35,05	4,80	84,80
Маска из ткани	25	8	69,25	12,20	45,00	84,10
	55	8	74,36	7,86	56,80	81,10
	85	8	83,15	7,83	67,10	91,30
Маска из х/б футболки	25	2	40,15	23,41	23,60	56,70
	55	2	58,25	23,41	41,70	74,80
	85	2	65,90	36,77	39,90	91,90