



Научная статья

ОЦЕНКА БАКТЕРИАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ И ВОЗДУШНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАСОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ НАСЕЛЕНИЕМ ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ COVID-19

Е.А. Шашина¹, Е.В. Белова¹, О.А. Груздева², А.Ю. Скопин^{1,3}, С.В. Андреев^{4,5}, Ю.В. Жернов¹, А.В. Жукова¹, Т.С. Исютина-Федоткова¹, В.В. Макарова¹, О.В. Митрохин¹

¹Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Россия, 119991, г. Москва, ул. Трубецкая, 8, стр. 2

²Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Россия, 125993, г. Москва, ул. Баррикадная, 2/1, стр. 1

³Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана, Россия, 141014, пос. Мытищи, ул. Семашко, 2

⁴Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова Российского технологического университета, Россия, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, 86

⁵Научно-исследовательский институт дезинфектологии, Россия, 117246, г. Москва, Научный проезд, 8

Пандемия, вызванная SARS-CoV-2, продолжает представлять угрозу здоровью населения. Использование неспецифических мер защиты, в том числе применение масок, является единственным способом снижения риска распространения инфекции. Эффективность защитных свойств маски зависит от того, насколько материал, из которого изготовлена маска, способен задерживать капли и аэрозольные частицы, содержащие вирусы. Показателем эффективности защиты маски может служить степень бактериальной фильтрации, показателем комфортности ношения – воздухопроницаемость материала.

Проведена сравнительная оценка эффективности и комфортности масок, наиболее используемых населением в период пандемии.

Для определения исследования отобраны медицинская, хлопчатобумажная и неопреновая маски. Бактериальная фильтрация определялась в соответствии со стандартной методикой, изложенной в ГОСТ 12.4.136-84, воздухопроницаемость масок – по разряжению воздуха на приборе ВПТМ-2 производства ООО «Метротекс». Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.4.1. Рассчитывались количественные показатели ($M \pm SD$, 95 % ДИ для нормального распределения), критерий Фишера (сравнение групп по количественному показателю), коэффициент ранговой корреляции Спирмена (направление и сила корреляционной связи). Прогностическая модель разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии.

© Шашина Е.А., Белова Е.В., Груздева О.А., Скопин А.Ю., Андреев С.В., Жернов Ю.В., Жукова А.В., Исютина-Федоткова Т.С., Макарова В.В., Митрохин О.В., 2022

Шашина Екатерина Андреевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: shashina_e_a@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5294-6813>).

Белова Елена Владимировна – ассистент кафедры общей гигиены (e-mail: belova_e_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2134-6348>).

Груздева Ольга Александровна – доктор медицинских наук, профессор кафедры эпидемиологии (e-mail: epidrmapo@mail.ru; тел.: 8 (499) 455-90-91; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1244-1925>).

Скопин Антон Юрьевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены; заведующий отделом научного обеспечения лабораторных исследований продукции и объектов окружающей среды (e-mail: skopin_a_yu@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-9489>).

Андреев Сергей Викторович – кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии; заведующий лабораторией химических исследований дезсредств (e-mail: nautilusser@gmail.com; тел.: 8 (915) 177-45-26; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2405-9931>).

Жернов Юрий Владимирович – доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры общей гигиены (e-mail: zhernov_yu_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8734-5527>).

Жукова Анастасия Валерьевна – аспирант кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии (e-mail: zhukova_a_v@student.sechenov.ru; тел.: 8 (495) 629-75-79; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-6481>).

Исютина-Федоткова Татьяна Сергеевна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: isyutina-fedotkova_t_s@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-9243>).

Макарова Валентина Владимировна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры общей гигиены (e-mail: makarova_v_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7213-4265>).

Митрохин Олег Владимирович – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой общей гигиены (e-mail: mitrokhin_o_v@staff.sechenov.ru; тел.: 8 (499) 248-53-85; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

Результаты исследования показали, что наиболее высокая бактериальная фильтрация характерна для неопреновой маски, наиболее высокая воздухопроницаемость – хлопчатобумажной. Выявлена зависимость между бактериальной фильтрацией и воздухопроницаемостью.

По сочетанию изученных характеристик все маски сопоставимы с медицинской маской и могут применяться в качестве барьера для снижения риска распространения инфекций, передающихся воздушно- капельным путем. Является целесообразным дальнейшее изучение масок по совокупности большего числа характеристик эффективности, комфортности и безопасности.

Ключевые слова: маски, COVID-19, бактериальная фильтрация, воздухопроницаемость, хлопчатобумажные маски, неопреновые маски, медицинские маски, статистический анализ.

Начавшаяся в декабре 2019 года пандемия COVID-19, вызванная SARS-CoV-2, все еще представляет угрозу населению всего мира [1]. Несмотря на разработанные эффективные иммунобиологические препараты и масштабную государственную кампанию по вакцинации населения, заболеваемость продолжает расти. Причиной этому служит появление новых штаммов вируса SARS-CoV-2. Поэтому немедикаментозная профилактика COVID-19, в том числе использование защитных масок, остается простым и эффективным способом снижения риска распространения инфекции [2–5].

В разных странах существуют различные подходы к регулированию ношения масок в период пандемии COVID-19. Они учитывают в первую очередь эпидемиологическую значимость и барьерные функции маски, но не основываются на ее гигиенической оценке. ВОЗ рекомендует населению и лицам, работающим в закрытых помещениях либо в непосредственной близости друг от друга (от клиентов), пользоваться немедицинскими (тканевыми) масками, состоящими из трех слоев¹. Центры по контролю и профилактике заболеваний США рекомендуют использовать минимум двухслойные тканевые маски из хорошо пропускающих воздух материалов², тогда как Европейский центр по контролю и профилактике заболеваний рекомендует медицинские и немедицинские маски, соответствующие рекомендациям по эффективности фильтрации и воздухопроницаемости³. В Китае рекомендуются к ис-

пользованию медицинские одноразовые маски в местах с относительно низким риском заражения и немедицинские в местах с низким риском⁴. В Российской Федерации, как и в ряде других стран, поэтапно вводились административные, организационные, технические, санитарные и гигиенические меры, направленные на предотвращение распространения COVID-19 [6]. В настоящее время ношение гигиенических масок населением в отдельных регионах остается обязательным⁵, работодателям рекомендовано обеспечить работников на рабочих местах запасом одноразовых масок⁶.

Эффективность защиты маски зависит от способности материала, из которого она изготовлена, задерживать капли и аэрозольные частицы, содержащие вирус. Хотя размер вируса SARS-CoV-2 составляет около 0,1 мкм, сами вирусные частицы прикрепляются к частицам воды, которые попадают в воздух при дыхании, чихании, кашле и разговоре с инфицированным человеком. Таким образом, общий размер отдельной инфицирующей частицы вирусов с водой увеличивается и составляет от 5 до 15 мкм [7, 8]. По другим данным, при дыхании человека выделяются частицы влаги размером от 0,1 до 1000 мкм [9]. Размер пор в медицинской маске составляет от 0,3 до 10 мкм, что сопоставимо с размером бактерий. Например, размер бактерии золотистого стафилококка, культуры которого используется для определения бактериальной проницаемости средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.136-84⁷), составляет 0,8–1 мкм в

¹ Mask use in the context of COVID-19: interim guidance. – Geneva, Switzerland: World health organization, 1 December, 2020. – 22 p.; Preventing and mitigating transmission of COVID-19 at work: policy brief, 19 May 2021 // WHO, ILO. – 2021. – 23 p.

² Masks [Электронный ресурс] // Centers for Disease Control and Prevention. – 2020. – URL: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/diy-cloth-face-coverings.html> (дата обращения: 09.11.2021).

³ Using face masks in the community: first update. Effectiveness in reducing transmission of COVID-19 [Электронный ресурс]. – Stockholm: European Centre for Disease Prevention and Control, 15 February 2021. – URL: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/covid-19-face-masks-community-first-update.pdf> (дата обращения: 09.11.2021).

⁴ China Guidelines for the selection and use of different types of masks for preventing new coronavirus infection in different populations [Электронный ресурс] // The State Council. The People's Republic of China. – 5 February 2020. – URL: http://www.gov.cn/xinwen/2020-02/05/content_5474774.htm (дата обращения: 09.11.2021) (in Chinese).

⁵ О дополнительных мерах по снижению рисков распространения COVID-19 в период сезонного подъема заболеваемости острыми респираторными вирусными инфекциями и гриппом: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 16.10.2020 № 31 [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010270001> (дата обращения: 09.11.2021).

⁶ О мерах по профилактике новой коронавирусной инфекции (COVID-19): Письмо Роспотребнадзора от 10.03.2020 № 02/3853-2020-27 [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благоустройства человека. – URL: https://www.rosпотребnadzor.ru/deyatelnost/epidemiological-surveillance/?ELEMENT_ID=13955 (дата обращения: 09.11.2021).

диаметре. Потому маски, рекомендуемые для защиты населения, уменьшают вероятность заражения коронавирусом, а степень бактериальной фильтрации может служить также косвенным показателем эффективности защиты маски при респираторных вирусных инфекциях, в том числе COVID-19.

Комфортность ношения определяется, прежде всего, воздухопроницаемостью материала, из которого изготовлена маска [10–14]. Данная характеристика определяет, насколько человеку легко дышать через маску, и вероятность появления неблагоприятных эффектов на ношение маски – затруднение дыхания, головная боль, местные кожные проявления.

Цель исследования – сравнительная оценка эффективности и комфортности масок, используемых населением в период пандемии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определить эффективность бактериальной фильтрации наиболее часто используемых видов масок как показатель эффективности применения.

2. Определить воздухопроницаемость наиболее часто используемых видов масок как показатель комфортности ношения.

3. Провести сравнительную оценку эффективности и комфортности разных видов масок.

Материалы и методы. Для исследований были отобраны три вида масок с учетом проведенного нами анализа рынка продаж средств защиты органов дыхания, используемых в текущую пандемию [15], а также с учетом рекомендаций по использованию масок в разных странах (табл. 1).

Для исследований маски каждого вида были закуплены у одного производителя.

Бактериальную фильтрацию определяли в соответствии со стандартной методикой, изложенной в ГОСТ 12.4.136-84 «Средства индивидуальной защиты. Метод определения проницаемости микроорганизмами»⁷. Метод заключается в сравнении количества выросших колоний *Staphylococcus aureus*, проникших через испытуемую пробу, с количеством колоний микроорганизмов, выросших на контрольных пластинах. Рассчитывался коэффициент бактериальной фильтрации как $1 - (M \div M_1) \cdot 100$, где M – среднее арифметическое колоний для каждого образца, M_1 – среднее арифметическое колоний в контроле. Исследования проводились в аккредитованном испытательном лабораторном центре.

Воздухопроницаемость масок определяли по разряжению воздуха на приборе ВПТМ-2 производства ООО «Метротекс» (Россия). Перепад давления при прохождении воздуха через образец поддерживался постоянным на уровне 49 Па. Оценивался расход воздуха в литрах в секунду через заданную площадь сечения маски. Для каждого образца проводили 10 измерений. Полученные результаты проверяли на наличие грубых промахов с помощью *Q*-критерия.

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 2.4.1 (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95%-ного доверительного интервала (95 % ДИ). Для сравнения групп по количественному показателю использовался критерий Фишера. Направление и сила корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивались с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разрабатывалась с помощью метода линейной регрессии.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования бактериальной фильтрации масок представлены в табл. 2.

Таблица 1

Исследуемые виды масок

Вид маски	Описание вида маски
Медицинская	Одноразовая медицинская нетканая трехслойная (спанбонд / мельтблаун), с носовым зажимом, с заушными резинками
Хлопчатобумажная	Многоразовая немедицинская хлопчатобумажная двухслойная, без носового зажима, с заушными резинками, без клапана
Неопреновая	Многоразовая немедицинская неопреновая однослочная, без носового зажима, с заушными резинками, без клапана

Таблица 2

Бактериальная фильтрация масок различного вида

Вид маски	Бактериальная фильтрация, %	
	Результаты исследования	Стандартное значение
Медицинская	85,00	$\geq 95^8$
Хлопковая	62,50	$\geq 50^9$
Неопреновая	93,75	$\geq 70^5$

⁷ ГОСТ 12.4.136-84. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Метод определения проницаемости микроорганизмами / утв. и введ. в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23.03.84 г. № 896 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200012741> (дата обращения: 09.11.2021).

⁸ ГОСТ Р 58396-2019. Маски медицинские. Требования и методы испытаний / утв. и введ. в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2019 г. № 115-ст [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163559> (дата обращения: 12.11.2021).

⁹ AFNOR SPEC S76-001. Masque barrière. Guide d'exigence minimales, de méthode d'essais, de confection et d'usage [Barrier masks. Guide to minimum requirements, methods of testing, making and use] [Электронный ресурс] // AFNOR, 2020. – URL: <https://www.snof.org/sites/default/files/AFNORSpec-S76-001-MasquesBarrières.pdf> (дата обращения: 12.11.2021).

Таблица 3

Анализ воздухопроницаемости в зависимости от вида маски

Вид маски	Воздухопроницаемость ($\text{дм}^3/\text{м}^2\text{с}$)			p
	$M \pm SD$	95 % ДИ	n	
Медицинская	$209,28 \pm 8,75$	198,42–220,14	10	$P_{\text{медицинская} - \text{хлопковая}} = 0,001$ $P_{\text{неопреновая} - \text{хлопковая}} = 0,001$
Хлопковая	$397,85 \pm 22,99$	369,31–426,39	10	
Неопреновая	$248,69 \pm 52,73$	183,22–314,17	10	

Примечание: n – количество образцов.

Бактериальная фильтрация всех исследуемых видов масок сопоставима между собой. Бактериальная фильтрация исследуемой медицинской маски не соответствовала стандартному значению. Установлено, что бактериальная фильтрация хлопчатобумажной маски является самой низкой среди всех тестируемых видов масок. Мaska из неопрена оказалась менее проницаемой для бактерий, чем медицинская маска, изготовленная из спанбонда / мельтблауна.

В многочисленных исследованиях, в которых в основном изучалась эффективность аэрозольной фильтрации масок, авторами установлено, что медицинская маска обладает лучшей защитой от возбудителя инфекции COVID-19 по сравнению с хлопчатобумажной маской и уступает только респираторам [14, 16–19]. По данным бразильских исследователей, фильтрация неопреновой маски не уступает медицинской [20].

Мы сравнили воздухопроницаемость разных видов масок (табл. 3, рисунок).

По результатам анализа воздухопроницаемости в зависимости от вида маски нами были установлены статистически значимые различия ($p < 0,001$, используемый метод: F -критерий Фишера).

Согласно требованиям¹⁰ воздухопроницаемость материалов, имеющих непосредственный контакт с кожей человека, должна быть не менее $100 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{с}$. Воздухопроницаемость всех тестируемых масок соответствует данному требованию. Установлено, что хлопчатобумажная маска является наиболее проницаемой для воздуха.

Наши результаты по оценке воздухопроницаемости сопоставимы с данными, полученными другими авторами. Например, воздухопроницаемость хлопчатобумажной маски также оказалась примерно в 2 раза выше, чем у медицинской маски, изготовленной из спанбонда / мельтблауна [13]. Однако авторы из Бразилии показали, что воздухопроницаемость неопреновой маски крайне низка и не соответствует требованиям стандарта [20].

Нами был выполнен корреляционный анализ взаимосвязи бактериальной фильтрации и воздухопроницаемости (табл. 4).

Наблюдаемая зависимость бактериальной фильтрации от воздухопроницаемости описывается уравнением парной линейной регрессии:

$$y = -0,144x + 121,491,$$

где y – бактериальная фильтрация, x – воздухопроницаемость.

При уменьшении воздухопроницаемости на $1 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{с}$ следует ожидать увеличения бактериальной фильтрации на 0,144. Полученная модель объясняет 79,0 % наблюдаемой дисперсии бактериальной фильтрации.



Рис. Анализ воздухопроницаемости в зависимости от вида маски

Таблица 4

Результаты корреляционного анализа взаимосвязи бактериальной фильтрации и воздухопроницаемости

Показатель	Характеристика корреляционной связи		
	r_{xy}	теснота связи по шкале Чеддока	p
Бактериальная фильтрация – воздухопроницаемость	-0,889	Высокая	0,303

¹⁰ ТР ТС 017/2011. О безопасности товаров легкой промышленности (с изменениями на 9 августа 2016 года) / утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 876 [Электронный ресурс] // КОДЕКС: электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320564> (дата обращения: 09.11.2021).

Полученные данные доказывают наличие зависимости между воздухопроницаемостью материала, из которого изготовлена маска, и коэффициентом его бактериальной фильтрации. Так, маска из неопрена характеризуется наибольшей бактериальной фильтрацией, но средней воздухопроницаемостью. Это может быть связано с более высокой гидрофобностью неопрена, по сравнению с хлопком, что препятствует проникновению микробов, распространяющихся по воздуху вместе с частицами воды.

Ограничения исследования. Мы не исследовали респираторы, поскольку ВОЗ рекомендует их только для медицинских работников, оказывающих помощь заболевшим в условиях, сопровождающихся образованием вирусного аэрозоля¹, а не для ношения населением в целом. Кроме того, цена качественных респираторов, отвечающих требованиям международных стандартов и зарегистрированных в реестре медицинских изделий Росздравнадзора, достаточно высока, что не позволяет их широко использовать.

В дальнейшем необходимо исследовать маски каждого вида разных производителей. Целесообразно исследовать другие свойства масок, влияющие на

эффективность, комфорт и безопасность их использования в условиях вынужденного ежедневного применения: гигроскопичность, химический состав, изменение влажности и температуры кожи под маской и т.д.

Выводы. Самая высокая бактериальная фильтрация была отмечена у неопреновой маски (93,75 %), самая высокая воздухопроницаемость – у хлопчатобумажной маски ($397,85 \pm 22,99 \text{ дм}^3/\text{м}^2\text{c}$).

Установлена и описана зависимость между бактериальной фильтрацией и воздухопроницаемостью ($r = 0,889, p = 0,3$).

По сочетанию изученных характеристик все маски сопоставимы с медицинской маской и могут использоваться как барьерное средство для снижения риска распространения инфекций, передающихся воздушно-капельным путем.

Необходимо дальнейшее изучение масок по совокупности большего числа характеристик эффективности, комфорта и безопасности.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Coronavirus disease (COVID-19) Weekly Epidemiological update and weekly operational update [Электронный ресурс] // World health organization. – 2021. – URL: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> (дата обращения: 09.11.2021).
2. Clapham H.E., Cook A.R. Face masks help control transmission of COVID-19 // Lancet Digit. Health. – 2021. – Vol. 3, № 3. – P. e136–e137. DOI: 10.1016/S2589-7500(21)00003-0
3. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis / D.K. Chu, E.A. Akl, S. Duda, K. Solo, S. Yaacoub, H.J. Schünemann, COVID-19 Systematic Urgent Review Group Effort (SURGE) study authors // Lancet. – 2020. – Vol. 395, № 10242. – P. 1973–1987. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9
4. Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of COVID-19, SARS-CoV-2 transmission, and COVID-19 mortality: systematic review and meta-analysis / S. Talic, S. Shah, H. Wild, D. Gasevic, A. Maharaj, Z. Ademi, X. Li, W. Xu [et al.] // BMJ. – 2021. – Vol. 375. – P. e068302. DOI: 10.1136/bmj-2021-068302
5. An evidence review of face masks against COVID-19 / J. Howard, A. Huang, Z. Lid, Z. Tufekci, V. Zdimal, H.-M. van der Westhuizen, A. von Delft, A. Price [et al.] // Proc. Natl Acad. Sci. USA. – 2021. – Vol. 118, № 4. – P. e2014564118. DOI: 10.1073/pnas.2014564118
6. Organizational measures aiming to combat COVID-19 in the Russian Federation: the first experience / V. Reshetnikov, O. Mitrokhin, N. Shepetovskaya, E. Belova, M. Jakovljevic // Expert Rev. Pharmacoecon. Outcomes Res. – 2020. – Vol. 20, № 6. – P. 571–576. DOI: 10.1080/14737167.2020.1823221
7. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary / R. Tellier, Y. Li, B.J. Cowling, J.W. Tang // BMC Infect. Dis. – 2019. – Vol. 19, № 1. – P. 101. DOI: 10.1186/s12879-019-3707-y
8. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission / V. Stadnytskyi, C.E. Bax, A. Bax, P. Anfinrud // Proc. Natl Acad. Sci. USA. – 2020. – Vol. 117, № 22. – P. 11875–11877. DOI: 10.1073/pnas.2006874117
9. Prather K.A., Wang C.C., Schooley R.T. Reducing transmission of SARS-CoV-2 // Science. – 2020. – Vol. 368, № 6498. – P. 1422–1424. DOI: 10.1126/science.abc6197
10. An accessible method for screening aerosol filtration identifies poor-performing commercial masks and respirators / K. Schilling, D.R. Gentner, L. Wilen, A. Medina, C. Buehler, L.J. Perez-Lorenzo, K.J.G. Pollitt, R. Bergemann [et al.] // J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. – 2020. – Vol. 31, № 6. – P. 943–952. DOI: 10.1038/s41370-020-0258-7
11. Kähler C.J., Hain R. Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections // J. Aerosol Sci. – 2020. – Vol. 148. – P. 105617. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2020.105617
12. A laboratory-based study examining the properties of silk fabric to evaluate its potential as a protective barrier for personal protective equipment and as a functional material for face coverings during the COVID-19 pandemic / A.F. Parlin, S.M. Stratton, T.M. Culley, P.A. Guerra // PLoS One. – 2020. – Vol. 15, № 9. – P. e0239531. DOI: 10.1371/journal.pone.0239531

13. Performance of fabrics for home-made masks against the spread of COVID-19 through droplets: A quantitative mechanistic study / O. Aydin, B. Emon, S. Cheng, L. Hong, L.P. Chamorro, M.T.A. Saif // Extreme Mech. Lett. – 2020. – Vol. 40. – P. 100924. DOI: 10.1016/j.eml.2020.100924
14. Xi J., Si X.A., Nagarajan R. Effects of mask-wearing on the inhalability and deposition of airborne SARS-CoV-2 aerosols in human upper airway // Phys. Fluids (1994). – 2020. – Vol. 32, № 12. – P. 123312. DOI: 10.1063/5.0034580
15. Подходы к анализу эффективности средств защиты органов дыхания как мер снижения риска нарушения здоровья во время пандемии COVID-19 / Е.А. Шашина, Т.С. Исиутина-Федоткова, В.В. Макарова, О.А. Груздева, О.В. Митрохин // Анализ риска здоровью. – 2021. – № 1. – С. 151–158. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16
16. Evaluation of Cloth Masks and Modified Procedure Masks as Personal Protective Equipment for the Public During the COVID-19 Pandemic / P.W. Clapp, E.E. Sickbert-Bennett, J.M. Samet, J. Berntsen, K.L. Zeman, D.J. Anderson, D.J. Weber, W.D. Bennett, US Centers for Disease Control and Prevention Epicenters Program // JAMA Intern. Med. – 2021. – Vol. 181, № 4. – P. 463–469. DOI: 10.1001/jamainternmed.2020.8168
17. Household Materials Selection for Homemade Cloth Face Coverings and Their Filtration Efficiency Enhancement with Triboelectric Charging / M. Zhao, L. Liao, W. Xiao, X. Yu, H. Wang, Q. Wang, Y.L. Lin, F.S. Kilinc-Balci [et al.] // Nano Lett. – 2020. – Vol. 20, № 7. – P. 5544–5552. DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02211
18. Mathematical assessment of the impact of non-pharmaceutical interventions on curtailing the 2019 novel Coronavirus / C.N. Ngonghala, E. Iboi, S. Eikenberry, M. Scotch, C.R. MacIntyre, M.H. Bonds, A.B. Gumel // Math. Biosci. – 2020. – Vol. 325. – P. 108364. DOI: 10.1016/j.mbs.2020.108364
19. Kim M.N. What Type of Face Mask Is Appropriate for Everyone-Mask-Wearing Policy amidst COVID-19 Pandemic? // J. Korean Med. Sci. – 2020. – Vol. 35, № 20. – P. e186. DOI: 10.3346/jkms.2020.35.e186
20. Filtration efficiency of a large set of COVID-19 face masks commonly used in Brazil / F.G. Morais, V.K. Sakano, L.N. de Lima, M.A. Franco, D.C. Reis, L.M. Zanchetta, F. Jorge, E. Landulfo [et al.] // Aerosol Science and Technology. – 2021. – Vol. 55, № 9. – P. 1–15. DOI: 10.1080/02786826.2021.1915466

Оценка бактериальной фильтрации и воздушной проницаемости масок, используемых населением во время пандемии COVID-19 / Е.А. Шашина, Е.В. Белова, О.А. Груздева, А.Ю. Скопин, С.В. Андреев, Ю.В. Жернов, А.В. Жукова, Т.С. Исиутина-Федоткова, В.В. Макарова, О.В. Митрохин // Анализ риска здоровью. – 2022. – № 1. – С. 93–100. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.09

UDC 614.446.1: 578.834.1

DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.09.eng

Read
online 

Research article

ASSESSMENT OF BACTERIAL FILTRATION AND AIR PERMEABILITY OF FACE MASKS USED BY PEOPLE DURING THE COVID-19 PANDEMIC

E.A. Shashina¹, E.V. Belova¹, O.A. Gruzdeva², A.Y. Skopin^{1,3}, S.V. Andreev^{4,5}, Y.V. Zhernov¹, A.V. Zhukova¹, T.S. Isiutina-Fedotkova¹, V.V. Makarova¹, O.V. Mitrokhin¹

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Bldg. 2, 8 Trubetskaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Bldg. 1, 2/1 Barrikadnaya Str., Moscow, 125993, Russian Federation

³Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman, 2 Semashko Str., Mytishchi, Moscow region, Russian Federation

⁴Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies of Russian Technological University, 86 Vernadsky ave., Moscow, 119454, Russian Federation

⁵Scientific Research Disinfectology Institute, 8 Nauchnyi proezd, Moscow, 117246, Russian Federation

The pandemic caused by SARS-CoV-2 remains a serious threat to human health. Non-specific protection measures including face masks are an effective way to reduce risks of the infection spread. Face masks have different protective capacities and their effectiveness depends on an extent to which a material a mask is made of can retain droplets and aerosol particles containing the virus. Bacterial filtration can be used as an indicator showing how effectively a mask protects from contagion and air permeability can be used to estimate how comfortable it is to wear it.

Our research aim was to comparatively assess effectiveness and comfort in wearing provided by masks which were most frequently used by people during the pandemic.

We examined medical, cotton, and neoprene masks. Bacterial filtration was determined in accordance with the procedure stipulated in the State Standard GOST 12.4.136-84. Air permeability was estimated by determining how thin air was with VTPM-2 device produced by "Metrotek" LLC. All the data were statistically analyzed with StatTech v. 2.4.1 software package. We calculated quantitative indicators ($M \pm SD$, 95 % CI for normal distribution), Fischer's test (comparison between groups as per quantitative indicators) and Spearman's rank correlation coefficient (directions and intensity of correlations). We developed our predictive model using linear regression.

The research results indicate that the neoprene mask tends to have the highest bacterial filtration; the cotton mask, the highest air permeability. We detected a correlation between bacterial filtration and air permeability.

All masks are quite comparable to a medical one as per all their combined examined characteristics and can be used as a barrier for mitigating risks of droplet infections spread. It is advisable to further investigate face masks with concentrating on more characteristics of their effectiveness, comfort in wearing and safety.

Key words: face mask, COVID-19, bacterial filtration, air permeability, cotton mask, neoprene mask, medical mask, statistical analysis.

References

1. Coronavirus disease (COVID-19) Weekly Epidemiological update and weekly operational update. *World health organization*, 2021. Available at: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/situation-reports> (09.11.2021).
2. Clapham H.E., Cook A.R. Face masks help control transmission of COVID-19. *Lancet Digit. Health*, 2021, vol. 3, no. 3, pp. e136–e137. DOI: 10.1016/S2589-7500(21)00003-0
3. Chu D.K., Akl E.A., Duda S., Solo K., Yaacoub S., Schünemann H.J. COVID-19 Systematic Urgent Review Group Effort (SURGE) study authors. Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*, 2020, vol. 395, no. 10242, pp. 1973–1987. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)31142-9
4. Talic S., Shah S., Wild H., Gasevic D., Maharaj A., Ademi Z., Li X., Xu W. [et al.]. Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of COVID-19, SARS-CoV-2 transmission, and COVID-19 mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 2021, vol. 375, pp. e068302. DOI: 10.1136/bmj-2021-068302
5. Howard J., Huang A., Lid Z., Tufekci Z., Zdimal V., van der Westhuizen H.-M., von Delft A., Price A. [et al.]. An evidence review of face masks against COVID-19. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2021, vol. 118, no. 4, pp. e2014564118. DOI: 10.1073/pnas.2014564118
6. Reshetnikov V., Mitrokhin O., Shepetovskaya N., Belova E., Jakovljevic M. Organizational measures aiming to combat COVID-19 in the Russian Federation: the first experience. *Expert Rev. Pharmacoecl. Outcomes Res.*, 2020, vol. 20, no. 6, pp. 571–576. DOI: 10.1080/14737167.2020.1823221
7. Tellier R., Li Y., Cowling B.J., Tang W.J. Recognition of aerosol transmission of infectious agents: a commentary. *BMC Infect. Dis.*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 101. DOI: 10.1186/s12879-019-3707-y

© Shashina E.A., Belova E.V., Gruzdeva O.A., Skopin A.Y., Andreev S.V., Zhernov Y.V., Zhukova A.V., Isiutina-Fedotkova T.S., Makarova V.V., Mitrokhin O.V., 2022

Ekaterina A. Shashina – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the General Hygiene Department (e-mail: shashina_e_a@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5294-6813>).

Elena V. Belova – Assistant at the General Hygiene Department (e-mail: belova_e_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2134-6348>).

Olga A. Gruzdeva – Doctor of Medical Sciences, Professor at the Epidemiology Department (e-mail: epidrmapo@mail.ru; tel: +7 (495) 455-90-91; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1244-1925>).

Anton Yu. Skopin – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the General Hygiene Department; Head of the Department for Scientific Support of Laboratory Research of Products and Environmental Objects (e-mail: skopin_a_yu@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7711-9489>).

Sergey V. Andreev – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the Analytical Chemistry Department; Head of the Laboratory of Chemical Research of Disinfectants (e-mail: nautilusser@gmail.com; tel.: +7 (915) 177-45-26; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2405-9931>).

Yury V. Zhernov – Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor at the General Hygiene Department (e-mail: zhernov_yu_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 256-71-15; ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8734-5527>).

Anastasia V. Zhukova – Postgraduate Student at the Department of Microbiology, Virology and Immunology (e-mail: zhukova_a_v1@student.sechenov.ru; tel.: +7 (495) 629-75-79; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1691-6481>).

Tatiana S. Isiutina-Fedotkova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the General Hygiene Department (e-mail: isyutina-fedotkova_t_s@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-9243>).

Valentina V. Makarova – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the General Hygiene Department (e-mail: makarova_v_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-51-55; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7213-4265>).

Oleg V. Mitrokhin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the General Hygiene Department (e-mail: mitrokhin_o_v@staff.sechenov.ru; tel.: +7 (499) 248-53-85; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6403-0423>).

8. Stadnytskyi V., Bax C.E., Bax A., Anfinrud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2020, vol. 117, no. 22, pp. 11875–11877. DOI: 10.1073/pnas.2006874117
9. Prather K.A., Wang C.C., Schooley R.T. Reducing transmission of SARS-CoV-2: Masks and testing are necessary to combat asymptomatic spread in aerosols and droplets. *Science*, 2020, vol. 368, no. 6498, pp. 1422–1424. DOI: 10.1126/science.abc6197
10. Schilling K., Gentner D.R., Wilen L., Medina A., Buehler C., Perez-Lorenzo L.J., Pollitt K.J.G., Bergemann R. [et al.]. An accessible method for screening aerosol filtration identifies poor-performing commercial masks and respirators. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, 2020, vol. 31, no. 6, pp. 943–952. DOI: 10.1038/s41370-020-0258-7
11. Kähler C.J., Hain R. Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections. *J. Aerosol Sci.*, 2020, vol. 148, pp. 105617. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2020.105617
12. Parlin A.F., Stratton S.M., Culley T.M., Guerra P.A. A laboratory-based study examining the properties of silk fabric to evaluate its potential as a protective barrier for personal protective equipment and as a functional material for face coverings during the COVID-19 pandemic. *PLoS One*, 2020, vol. 15, no. 9, pp. e0239531. DOI: 10.1371/journal.pone.0239531
13. Aydin O., Emon B., Cheng S., Hong L., Chamorro L.P., Saif M.T.A. Performance of fabrics for home-made masks against the spread of COVID-19 through droplets: A quantitative mechanistic study. *Extreme Mech. Lett.*, 2020, vol. 40, pp. 100924. DOI: 10.1016/j.eml.2020.100924
14. Xi J., Si X.A., Nagarajan R. Effects of mask-wearing on the inhalability and deposition of airborne SARS-CoV-2 aerosols in human upper airway. *Phys. Fluids*, 1994, 2020, vol. 32, no. 12, pp. 123312. DOI: 10.1063/5.0034580
15. Shashina E.A., Isiutina-Fedotkova T.S., Makarova V.V., Gruzdeva O.A., Mitrokhin O.V. Approaches to analyzing efficiency of respiratory protective equipment as a way to reduce health risks during COVID-19 pandemic. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 151–158. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.16.eng
16. Clapp P.W., Sickbert-Bennett E.E., Samet J.M., Berntsen J., Zeman K.L., Anderson D.J., Weber D.J., Bennett W.D. US Centers for Disease Control and Prevention Epicenters Program. Evaluation of Cloth Masks and Modified Procedure Masks as Personal Protective Equipment for the Public during the COVID-19 Pandemic. *JAMA Intern. Med.*, 2021, vol. 181, no. 4, pp. 463–469. DOI: 10.1001/jamaintermmed.2020.8168
17. Zhao M., Liao L., Xiao W., Yu X., Wang H., Wang Q., Lin Y.L., Kilinc-Balci F.S. [et al.]. Household Materials Selection for Homemade Cloth Face Coverings and Their Filtration Efficiency Enhancement with Triboelectric Charging. *Nano Lett.*, 2020, vol. 20, no. 7, pp. 5544–5552. DOI: 10.1021/acs.nanolett.0c02211
18. Ngonghala C.N., Iboi E., Eikenberry S., Scotch M., MacIntyre C.R., Bonds M.H., Gumel A.B. Mathematical assessment of the impact of non-pharmaceutical interventions on curtailing the 2019 novel Coronavirus. *Math. Biosci.*, 2020, vol. 325, pp. 108364. DOI: 10.1016/j.mbs.2020.108364
19. Kim M.N. What Type of Face Mask Is Appropriate for Everyone-Mask-Wearing Policy amidst COVID-19 Pandemic? *J. Korean Med. Sci.*, 2020, vol. 35, no. 20, pp. e186. DOI: 10.3346/jkms.2020.35.e186
20. Moraes F.G., Sakano V.K., de Lima L.N., Franco M.A., Reis D.C., Zanchetta L.M., Jorge F., Landulfo E. [et al.]. Filtration efficiency of a large set of COVID-19 face masks commonly used in Brazil. *Aerosol Science and Technology*, 2021, vol. 55, no. 9, pp. 1–15. DOI: 10.1080/02786826.2021.1915466

Shashina E.A., Belova E.V., Gruzdeva O.A., Skopin A.Y., Andreev S.V., Zhernov Y.V., Zhukova A.V., Isiutina-Fedotkova T.S., Makarova V.V., Mitrokhin O.V. Assessment of bacterial filtration and air permeability of face masks used by people during the COVID-19 pandemic. *Health Risk Analysis*, 2022, no. 1, pp. 93–100. DOI: 10.21668/health.risk/2022.1.09.eng

Получена: 17.11.2021

Одобрена: 21.02.2022

Принята к публикации: 11.03.2022