

УДК 616-002.7-084+615.835.33:614.442

DOI: 10.17816/pmj386109-119

ОЗОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ И ВИРУСНЫХ ИНФЕКЦИЙ

А.С. Прилуцкий¹, С.В. Капранов², К.Е. Ткаченко^{1}, Л.И. Яловега²*¹Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького²Алчевская городская санитарно-эпидемиологическая станция, г. Луганск

AIR OZONIZATION FOR PREVENTION OF BACTERIAL AND VIRAL INFECTIONS

A.S. Prilutskiy¹, S.V. Kapranov², K.E. Tkachenko^{1}, L.I. Yalovega²*¹M. Gorky Donetsk National Medical University,²Alchevsk City Sanitary and Epidemiological Station, Lugansk

Цель. Оценить эффективность озонирования воздуха в низких дозах для дезинфекции воздушной среды рабочего помещения.

Материал и методы. Исследованы 90 проб воздуха (еженедельно устройством автоматического отбора проб биологических аэрозолей воздуха ПУ-1Б отбирались по три образца до и после производственного совещания). Определялись: общая бактериальная обсемененность, содержание стафилококков и спор плесневых грибов. Озонирование помещения (83,3 м³) проводилось в течение 20 мин бытовым озонатором. Накопленная доза озона составила 133,3 мг (1,6 мг/м³). Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием лицензионной программы MedStat. Рассчитаны медиана, ошибка медианы ($Me \pm me$), левый и правый 95%-ный доверительные интервалы (95 % ДИ). Выполнены парные сравнения с использованием *T*-критерия Вилкоксона.

Результаты. После совещания общая бактериальная обсемененность воздуха составила $56,0 \pm 9,3$ (47,0–78,0) КОЕ. Содержание в воздухе стафилококков и спор плесневых грибов равнялось соответственно $85,5 \pm 12,5$ (76,0–100,0) и $44,5 \pm 6,5$ (32,0–54,0) КОЕ. После проведения озонирования общая бактериальная обсемененность воздуха составила $14,5 \pm 3,6$ (10,0–21,0) КОЕ. Содержание в воздухе стафилококков и спор плесневых грибов после озонирования составило $35,5 \pm 6,7$ (25,0–52,0) и $26,0 \pm 5,0$ (18,0–32,0)

© Прилуцкий А.С., Капранов С.В., Ткаченко К.Е., Яловега Л.И., 2021

тел. +38 071 363 28 67

e-mail: t.xeniya@ukr.net

[Прилуцкий А.С. – доктор медицинских наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии и аллергологии; Капранов С.В. – доктор медицинских наук, исполняющий обязанности главного врача, главного государственного санитарного врача г. Алчевска и Перевальского района; Ткаченко К.Е. (*контактное лицо) – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии и аллергологии; Яловега Л.И. – заведующая бактериологической лабораторией, врач-бактериолог].

© Prilutskiy A.S., Kapranov S. V., Tkachenko K.E., Yalovega L. I., 2021

tel. +38 071 363 28 67

e-mail: t.xeniya@ukr.net

[Prilutskiy A.S. – MD, PhD, Professor, Department of Microbiology, Virology, Immunology and Allergology; Kapranov S.V. – MD, PhD, Deputy Chief Physician, Deputy Chief State Sanitary Physician of Alchevsk and Perevalsky Region; Tkachenko K.E. (*contact person) – Candidate of Medical Sciences, Assistant, Department of Microbiology, Virology, Immunology and Allergology; Yalovega L.I. – bacteriologist, Head of Bacteriological Laboratory].

КОЕ соответственно. Проведение зонирования помещения обеспечило достоверное снижение ($p < 0,001$) всех трех вышеупомянутых показателей.

Выводы. Вышеуказанные данные и анализ литературы показывают возможность использования низких доз озона для профилактики бактериальных, грибковых и вирусных инфекций, в том числе SARS-CoV-2. Необходимо дальнейшее изучение и разработка обоснованных режимов дезинфекции озоном, в том числе и его низкими дозами, а также определение степени эффективности обеззараживания воздуха нетоксичными концентрациями газа.

Ключевые слова. Озон, воздух, рабочее помещение, дезинфекция, профилактика, бактерии, споры плесневых грибов, SARS-CoV-2, коронавирус, COVID-19.

Objective. To assess the effectiveness of the low-dose air ozonation for disinfection of the air in the working room.

Materials and methods. We investigated 90 air samples (3 samples were taken weekly before and after the production meeting using the automatic sampling device of biological aerosols of air PU-1B). The total bacterial contamination, the content of staphylococci and mold spores were determined. Ozonation of the room (83.3 m³) was carried out for 20 minutes by means of domestic ozonator. The accumulated dose of ozone was 133.3 mg (1.6 mg/m³). Statistical data processing was carried out using the MedStat licensed program. The median, median error ($Me \pm me$), left and right 95 % confidence intervals (95 % CI) were calculated. Paired comparisons were made using Wilcoxon's *T*-test.

Results. After the meeting, the total bacterial contamination of the air was 56.0 ± 9.3 (47.0–78.0) CFU. The content of staphylococci and mold spores in the air was 85.5 ± 12.5 (76.0–100.0) and 44.5 ± 6.5 (32.0–54.0) CFU, respectively. After ozonation, the total bacterial contamination of the air was 14.5 ± 3.6 (10.0–21.0) CFU. The content of staphylococci and mold spores in the air after ozonation was 35.5 ± 6.7 (25.0–52.0) and 26.0 ± 5.0 (18.0–32.0) CFU, respectively. Ozonation of the room provided a significant decrease ($p < 0.001$) in all three of the above indicators. The room ozonation carried out promoted a reliable decrease ($p < 0.001$) in all the above mentioned parameters.

Conclusions. The above data and analysis of the literature show the possibility of using low doses of ozone for the prevention of bacterial, fungal and viral infections including SARS-CoV-2. Further study and development of reasonable modes of ozone disinfection, including low doses of ozone, is needed, as well as determination of the efficiency degree of air disinfection with non-toxic gas concentrations.

Keywords. Ozone, air, working room, disinfection, prevention, bacteria, mold spores, SARS-CoV-2, coronavirus, COVID-19.

ВВЕДЕНИЕ

Установлено, что основным источником микробиологического загрязнения воздушной среды помещений является человек: так, за один час одним здоровым человеком может продуцироваться до 600–750 микробных тел. Выделение микроорганизмов больным лицом резко возрастает и составляет около 5–6 тыс. [1]. В связи с этим внедрение в практику новых технологий медицинской дезинфекции воздушной среды закрытых помещений является одним из приоритетных на-

правлений профилактики распространения инфекций, особенно передающихся воздушно-капельным, воздушно-пылевым и аэрозольным путями. Наибольшую актуальность данный вопрос приобретает во время пандемии COVID-19 [2–4]. Следует отметить, что одним из наиболее экологичных и перспективных методов обеззараживания воздуха и помещений является озонирование, имеющее ряд преимуществ перед другими видами дезинфекции [5–7]. Вместе с тем работы, посвященные использованию озонирования, немногочисленны. Кроме того, следует отме-

титель, что данный метод до настоящего времени в практическом отношении широко не используется, а эффективность низких доз озона только начинает изучаться.

Цель исследования – оценка эффективности озонирования воздуха в низких дозах для дезинфекции воздушной среды рабочего помещения медицинского профилактического учреждения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На базе Алчевской городской СЭС исследована бактериальная обсемененность воздушной среды помещения для проведения совещаний. Выполнено определение общей бактериальной обсемененности воздуха (микробное число), содержания в воздухе стафилококков и спор плесневых грибов. Пробы воздуха были отобраны с использованием устройства автоматического отбора проб биологических аэрозолей воздуха ПУ-1Б (ЗАО «ХИМКО», г. Москва) после проведения производственных совещаний в два этапа: 1 – до озонирования воздуха и 2 – после его проведения. Определение общего микробного числа (общая бактериальная обсемененность) выполняли в пробе воздуха объемом 100 л. Наличие возбудителей стафилококков и спор плесневых грибов изучались в 250 л воздуха. Посевы для определения интенсивности общей бактериальной обсемененности, стафилококков и плесневых грибов выполняли на соответствующие микробиологические среды согласно методическим указаниям [8].

Процесс озонирования воздуха помещения объемом 83,3 м³ осуществлялся при закрытых окнах в течение 20 мин непосредственно после производственных совещаний, в отсутствие сотрудников, с использованием бытового многофункционального озонатора модели LF-V7 (рисунок) компа-

нии ООО «Тайда Ишен» (Китай), с последующим проветриванием. Совещания сотрудников проводили с использованием средств индивидуальной защиты и социального дистанцирования при открытых окнах помещения (на проветривание) [9]. Исследования бактериальной обсемененности воздушной среды осуществлялись в течение 30 рабочих дней (по понедельникам, один раз в неделю). Относительная влажность воздуха в помещении составляла в среднем 52 %, что не превышало допустимой нормы.

На многофункциональный цифровой озонатор модели LF-V7 экспертной комиссией государственной санитарно-эпидемиологической службы МОЗ Украины выдано «Заключение государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы» от 01.08.2008 г. № 05.03.02.03/48945.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием лицензионной программы MedStat [10]. Был оценен характер распределений на нормальность с помощью Критерия *W* Шапиро – Уилка. Учитывая отличие характера распределений выборок от нормального, в дальнейшем были использованы методы непараметрической статистики. Рассчитаны медиана, ошибка медианы ($Me \pm me$), левый и правый 95%-ный доверительные интервалы (95 % ДИ). Выполнены парные сравнения для связанных выборок с использованием *T*-критерия (T–W) Вилкоксона (двусторонняя критическая область) до и после озонирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что после совещания общая бактериальная обсемененность воздуха составила $56,0 \pm 9,3$ (47,0–78,0) КОЕ. Содержание в воздухе стафилококков – $85,5 \pm 12,5$ (76,0–100,0) КОЕ; спор плесневых грибов – $44,5 \pm 6,5$ (32,0–54,0) КОЕ.

В результате озонирования с использованием бытового многофункционального озо-

натора воздуха в помещении для проведения совещаний достигнуто достоверное снижение всех трех показателей бактериальной обсемененности воздуха. Так, общая бактериальная обсемененность воздушной среды уменьшилась ($T-W = 465,0$) практически в 4 раза (табл. 1).

Содержание жизнеспособных стафилококков в воздухе помещения в результате проведения озонирования также значительно снизилось. Количество колониеобразующих единиц данного микроорганизма достоверно уменьшилось ($T-W = 465,0$) почти в 2,5 раза (табл. 2).

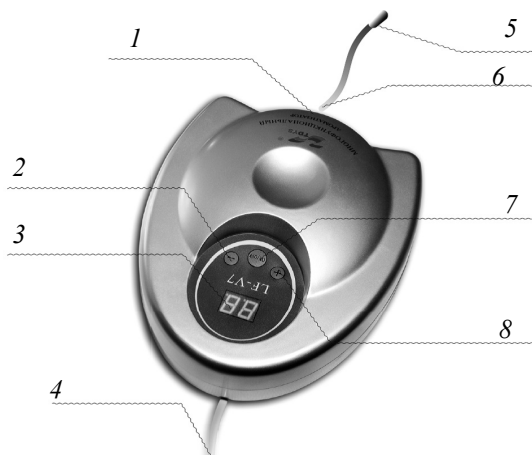


Рис. Многофункциональный цифровой озонатор модели LF-V7:
 1 – выпускное отверстие; 2 – кнопка уменьшения времени «-»;
 3 – электронный таймер; 4 – электропровод; 5 – насадка;
 6 – выпускная трубочка; 7 – кнопка включения/выключения;
 8 – кнопка увеличения времени

Таблица 1

Показатели общей бактериальной обсемененности воздуха в помещении после совещаний до и после озонирования

Время забора проб воздуха	n	Общая бактериальная обсемененность, КОЕ			
		Me	me	левый 95 % ДИ	правый 95 % ДИ
После совещания До озонирования	30	56,0	9,3	47,0	78,0
После озонирования	30	14,5	3,6	10,0	21,0
<i>p</i>		< 0,001			

Примечание: здесь и в табл. 2, 3 n – количество исследований.

Таблица 2

Показатели содержания стафилококков в воздухе помещения после совещаний до и после озонирования

Время забора проб воздуха	n	Содержание стафилококков в воздухе, КОЕ			
		Me	me	левый 95 % ДИ	правый 95 % ДИ
После совещания до озонирования	30	85,5	12,5	76,0	100,0
После озонирования	30	35,5	6,7	25,0	52,0
<i>p</i>		< 0,001			

Таблица 3

**Показатели содержания спор плесневых грибов в воздухе помещения
после совещаний до и после озонирования**

Время забора проб воздуха	<i>n</i>	Содержания жизнеспособных спор плесневых грибов в воздухе, КОЕ			
		<i>Me</i>	<i>me</i>	левый 95 % ДИ	правый 95 % ДИ
после совещания до озонирования	30	44,5	6,5	32,0	54,0
после озонирования	30	26,0	5,0	18,0	32,0
<i>p</i>		< 0,001			

Дезинфекция воздушной среды в помещении для совещаний посредством озонирования также была эффективна в отношении спор плесневых грибов. Их количество в воздухе после обработки уменьшилось ($T-W = 362,5$) более чем в 1,5 раза (табл. 3).

Для дезинфекции воздуха в медицинской практике, применяются три метода: физический, химический и физико-химический [11]. При этом наиболее часто используются ультрафиолетовое (УФ) облучение, фильтрация, обеззараживание с помощью аэрозолей химических дезинфицирующих средств и др. Метод фильтрации ограничен размером фильтруемых частиц, ресурсом фильтров. Частое следствие его – деионизация фильтруемого воздуха. Использование химических дезинфектантов все более ограничивается вследствие постоянно растущей множественной устойчивости микроорганизмов к действию данных веществ. В отличие от излучения традиционных бактерицидных УФ-ламп, которое распространяется только линейно, активные формы атомарного кислорода (озон) равномерно распределяются по всему объему обрабатываемого помещения, что может существенно повысить качество дезинфекционных мероприятий.

Преимущества озонирования включают эффективность, безопасность, полноту, скорость, экономичность и доступность дезинфекционных мероприятий. Озон быстро заполняет всю комнату. Он доходит до всех труднодоступных мест, проникая во все, да-

же микроскопические трещины, мягкую мебель и др., где обеззараживание другими методами невозможно. Важно отметить, что озон является нестабильным газом и очень быстро разлагается. Помещения могут использоваться, когда концентрация озона в воздухе падает ниже максимального безопасного значения. Очень важно также, что озон проявляет бактерицидные свойства в низкой концентрации. Показано, что этот газ в 3000 раз быстрее и в 50 раз эффективнее наиболее популярных хлорсодержащих дезинфицирующих средств [12]. Дезинфекция озоном является относительно дешевым методом обеззараживания. Помещения после проветривания можно использовать сразу. В то же время широкое внедрение озонирования в практику и использование его как альтернативы традиционным методам должно быть обосновано и требует объективных исследований, подтверждающих эффективность указанного метода. Исследования показывают, что в некоторых медицинских учреждениях генераторы озона могут использоваться ненадлежащим образом. При этом на сайтах для продаж озонаторов отсутствует достаточная информация о мощностях данных приборов, характеристиках, режимах их использования, включая длительность работы, рекомендуемые объемы помещений для дезинфекции.

Нами показана высокая эффективность использования бытового многофункционального озонатора модели LF-V7 для дезинфекции воздушной среды рабочего по-

мещения после проведения производственных совещаний в медицинском профилактическом учреждении. Необходимо отметить, что одним из основных показателей санитарно-эпидемиологического благополучия является качественное и количественное содержание микрофлоры в воздухе, которое не превышает установленных нормативов. Известно, что воздушная среда является местом пребывания множества микроорганизмов: вирусов, бактерий, плесневых и дрожжевых грибов и др. Исследования SARS-CoV-2 показали длительную циркуляцию данного возбудителя в воздухе с сохранением его жизнеспособности как в аэрозоле (1–3 ч), так и при осаждении на различные поверхности [4, 13].

Учитывая тяжесть течения указанной инфекции и высокую смертность лиц групп риска, наряду с вакцинацией методы снижения циркуляции жизнеспособного вируса в воздушной среде, особенно в замкнутых помещениях, являются приоритетными. Так, при аэрозольном способе передачи данной инфекции SARS-CoV-2 способен даже за час распространяться очень далеко – на расстояния, значительно превышающие 2–3 м от источника инфекции [4, 13]. При этом, как показали результаты исследований, имеют значение направление и скорость потоков воздуха, а также другие факторы.

Кроме того, следует учесть длительность секретиции вируса переболевшими лицами, многообразие путей выделения его с различными экскретами (слюна, мокрота, фекалии и пр.) организма и др. [14, 15]. Показано, что в ряде случаев вирусная РНК может обнаруживаться в течение длительного (2–12 недель) времени в различных средах организма, в том числе после клинического выздоровления больного [14, 15]. И хотя, как правило, жизнеспособный вирус не выделяется в течение более 20 дней от начала заболевания, ситуацию многократно усугубляет наличие длительного и интенсивного выде-

ления вируса у лиц, переболевших атипичными, субклиническими и бессимптомными формами инфекции, а также наличие «суперраспространителей» SARS-CoV-2 [13, 14, 16]. При этом установлена высокая индивидуальная вариабельность интенсивности и длительности выделения вируса [16]. Имеются работы, показывающие, что выделение SARS-CoV-2 существенно не отличается при различной тяжести (даже при наличии или отсутствии клинических проявлений болезни) COVID-19 [17, 18]. Вместе с тем ряд исследований показывает все-таки зависимость секретиции вируса от тяжести течения инфекции [16]. При этом доказано длительное выделение вируса у асимптоматичных лиц, в том числе имеющих нарушения иммунитета [19, 20].

Следует учитывать также значимость генетической изменчивости вируса. В настоящее время уже известны его мутации, отличающиеся особенностями течения инфекции [21]. Так, в указанных исследованиях говорится, что вариант SARS-CoV-2 B.1.617.2 («Дельта») ассоциирован с повышенной тяжестью заболевания, а также связан с более высокой вирусной нагрузкой и увеличенной продолжительностью выделения вируса.

Наши данные об эффективности использования бытового озонатора подтверждаются исследованиями, показывающими дезинфицирующий эффект озонирования на многие микроорганизмы (бактерии, споры, вирусы и др.) при использовании различных его режимов [5, 6]. Следует отметить, что озон является очень сильным природным окислителем. Его потенциал превышает потенциал хлора (2,07 против 1,36 соответственно).

Необходимо подчеркнуть, что использованный в наших исследованиях озонатор может обеспечивать генерирование, согласно инструкции, довольно большого количества (400 мг озона в час) озона [9]. Концентрация озона, произведенная бытовым озонатором LF-V7 в течение 20 мин, составила –

133,3 мг. Использованная нами накопленная доза озона (СТ – основной показатель озонирования – концентрация озона, выделяемого в минуту, и умноженная на время работы прибора в минутах) при данном режиме и мощности озонатора в помещении была невысока и составила 1,6 мг в кубическом метре его, однако обусловила существенное снижение в воздухе концентрации бактерий, плесневых грибов. Следует предположить, что данный режим может быть эффективен и для снижения уровня жизнеспособных частиц SARS-CoV-2, так как этот оболочечный вирус чувствителен к озону.

Механизм действия озона до конца не выяснен. Вероятнее всего, он комплексный и включает в себя как повреждение липидов и белков оболочек, мембран возбудителей, так и окисление нуклеокапсида и даже непосредственное взаимодействие озона с рибонуклеиновыми кислотами и/или ДНК. Следует отметить, что оболочечные вирусы считаются более чувствительными к озонированию [6] и не менее чувствительны к озонированию (SARS-CoV-2 и др.), чем ряд тестированных нами бактерий и спор плесневых грибов.

Вместе с тем эффективность дезинфекции озонном, помимо дозы дезинфектанта, зависит от многих других параметров: влажности воздуха, размера экскретируемых капель, частиц аэрозоля, белковых примесей в них и др. Результаты проведенных нами исследований в принципе согласуются с данными единичных работ об эффективности использованных низких доз озона при инактивации аэрозоля отдельных фагов и вирусов [22] на фоне высокой относительной влажности. В то же время эффективная накопленная доза для инактивации вышеуказанных микроорганизмов на поверхностях является более высокой (в 6–25 раз). В недавно вышедшей работе показана эффективность небольших доз озона на инактивацию SARS-CoV-2 на различных поверхностях после двухчасовой экспозиции [23]. Следует

отметить полученные авторами данные о существенном снижении жизнеспособности вируса на большинстве поверхностей при использовании ими низких (0,2 ppm), близких к примененным нами доз озона. Необычным в этих исследованиях явилось то, что более высокая концентрация озона (4 ppm), испытанная авторами, не привела к лучшей дезинфекции поверхностей (учет после 2 ч экспозиции) по сравнению с вышеуказанной более низкой дозой, за исключением пластика. Правда, отмечается более короткое время достижения снижения жизнеспособности вируса при высокой концентрации газа.

Эффективность обработки назофарингеальных мазков, положительных на SARS-CoV-2, озонном в течение 4 мин, помещенных в ламинарный поток воздуха (скорость 3,6 л/мин) аппарата, генерирующего 400 мг указанного газа в час, показана в другой работе [7]. После обработки ни один из мазков не дал положительных проб с праймерами трех генов возбудителя. Эффективно снижали жизнеспособность SARS-CoV-2 концентрации озона от 1 до 4 мг/м³ при дезинфекции (в течение 40 мин) респираторов и хирургических халатов [24].

Подтверждают наши предположения о возможности широкого использования озона также появившиеся в самое последнее время данные отдельных работ об эффективности озонирования в отношении и вирусов данного семейства [6]. В то же время в данных исследованиях использовались широкие вариации генерации концентраций озона. Итак, считается, что накопленная доза озона для обработки воздуха помещений 400–500 мг/м³ эффективна для снижения вирусной нагрузки большого количества вирусов [6, 22]. Большинство исследований проводилось при 50 мг/м³ (25 ppm) в течение 10 мин (более низкие дозы практически не изучались). Для обработки персональных защитных средств, как правило, применяют

ся также большие концентрации озона. Указывается, что очень низкие дозы озона ($< 0,1 \text{ mg/m}^3$) могут использоваться в присутствии людей для снижения (частичного) возможности передачи SARS-CoV-2 во время вспышки заболеваемости [25]. Отчасти это мнение базируется на установленном влиянии концентрации атмосферного озона на передачу коронавирусной инфекции. Таким образом, предельной концентрацией для работающих считается концентрация озона $< 0,1 \text{ ppm}$, или $0,2 \text{ mg/m}^3$.

Несомненно, хотя инфицирующая доза при SARS-Cov-2 еще не определена, она может в комплексе с особенностями передачи инфекции и другими факторами иметь значение для возникновения заболевания (как и при SARS-CoV-1). Поэтому снижение вирусной нагрузки является важной задачей для предупреждения и уменьшения её передачи.

Таким образом, нами показано, что даже низкие дозы озона существенно снижают количество бактерий и спор плесневых грибов в воздухе производственного помещения медицинского профилактического учреждения. Следует отметить, что использование озонирования перспективно для обеззараживания воздуха и профилактики передачи SARS-CoV-2. Вместе с тем необходимо продолжить изучение эффективности низких доз озона для выработки обоснованных и эффективных режимов процесса озонирования. Дозы озона необходимо подбирать с учетом относительной влажности и целей проведения озонирования.

Выводы

1. Использование озона в низких дозах (накопленная доза $1,6 \text{ mg/m}^3$) эффективно снижает ($p < 0,001$) количество жизнеспособных бактерий (уровень общей бактериальной обсемененности и стафилококков).

2. Озон в низких дозах (накопленная доза $1,6 \text{ mg/m}^3$) существенно снижает

($p < 0,001$) количество жизнеспособных спор плесневых грибов.

3. Озонирование является важным методом дезинфекции, способным обеспечить снижение уровня жизнеспособных частиц SARS-CoV-2.

4. Полученные нами данные и результаты литературы свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения и разработки научно обоснованных режимов дезинфекции озоном, в том числе и низкими его дозами, а также определения степени эффективности обеззараживания воздуха нетоксичными концентрациями ($0,05\text{--}0,15 \text{ ppm}$ – в зависимости от длительности воздействия) указанного газа.

Библиографический список

1. *Kemp S.J., Kuehn T.H., Pui D.Y.H., Vesley D., Streifel A.J.* Filter collection efficiency and growth of microorganisms on filters loaded with outdoor air. ASHRAE Transaction. 1995; 1: 228.

2. *Прилуцкий А.С.* Коронавирусная болезнь-2019: что нужно знать врачу дерматовенерологу. Торсуевские чтения: научно-практический журнал по дерматологии, венерологии и косметологии 2020; 1 (27): 62–71.

3. *Прилуцкий А.С., Миминошвили В.Р.* Механизмы передачи SARS-COV-2 и методы их профилактики. Сообщение 1. Воздушно-капельный и аэрозольный пути. Вестник гигиены и эпидемиологии 2020; 24 (2): 224–232.

4. *Прилуцкий А.С., Миминошвили В.Р.* Механизмы передачи SARS-COV-2 и методы их профилактики. Сообщение 2. Воздушно-пылевой и аэрозольный пути. Использование респираторов и масок. Вестник гигиены и эпидемиологии 2020; 24 (2): 233–242.

5. *Sharma M., Hudson J.B.* Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent. Am J Infect Control 2008; 36 (8): 559–563.

6. Hudson J.B., Sharma M., Vimalanathan S. Development of a practical method for using ozone gas as a virus decontaminating agent. *Ozone Sci Eng* 2009; 31 (3): 216–223.
7. Sallustio F., Cardinale G., Voccola S., Picerno A., Porcaro P., Gesualdo L. Ozone eliminates novel coronavirus Sars-CoV-2 in mucosal samples. *New Microbes New Infect* 2021; 43: 100927.
8. Методические указания по микробиологическому контролю в аптеках. Утв. Главным санитарно-эпидемиологическим управлением МЗ СССР от 29.12.1984 г. № 3182-84. М. 1984; 7.
9. Многофункциональный цифровой озонатор модели LF-V7: технический паспорт. Киев 2007; 8.
10. Лях Ю.Е., Гурьянов В.Г., Хоменко В.Н., Панченко О.А. Основы компьютерной биостатистики: анализ информации в биологии, медицине и фармации статистическим пакетом MedStat. Донецк: Папакица Е.К. 2006; 214.
11. Кондратов А.П., Рябкин М.В., Платонов А.В. Антимикробная эффективность физико-химических методов дезинфекции воздуха. *Дезинфекционное дело* 2006; 2: 40–43.
12. Martuzzi M., Mitis F., Iavarone I., Serinelli M. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. Copenhagen: World Health Organization 2006; 133.
13. Jarvis M. Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical Principles and Implications *Front Public Health* 2020; 8: 590041.
14. Hua C., Miao Z., Zheng J., Huang Q., Sun Q., Lu H., Su F., Wang W., Huang L., Chen D., Xu Z., Ji L., Zhang H., Yang X., Li M., Mao Y., Ying M., Ye S., Shu Q., Chen E., Liang J., Wang W., Chen Z., Li W., Fu J. Epidemiological features and viral shedding in children with SARS-CoV-2 infection. *J Med Virol* 2020; 92: 2804–2812.
15. Qian G.Q., Chen X.Q., Lv D.F., Ma A.H.Y., Wang L.P., Yang N.B., Chen X.M. Duration of SARS-CoV-2 viral shedding during COVID-19 infection. *Infect Dis (Lond.)* 2020; 52: 511–512.
16. Oh D., Böttcher S., Kröger S., von Kleist M. SARS-CoV-2 transmission routes and implications for self- and non-self-protection. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2021; 29: 1–8.
17. Long Q.X., Tang X.J., Shi Q.L., Li Q., Deng H.J., Yuan J., Hu J.L., Xu W., Zhang Y., Lv F.J. Clinical and immunological assessment of asymptomatic SARS-CoV-2 infections. *Nat Med* 2020; 26: 1200–1204.
18. Zou L., Ruan F., Huang M., Liang L., Huang H., Hong Z., Yu J., Kang M., Song Y., Xia J. SARS-CoV-2 Viral Load in Upper Respiratory Specimens of Infected Patients. *N Engl J Med* 2020; 382: 1177–1179.
19. Avanzato V., Matson M., Seifert S., Pryce R., Williamson B., Anzick S., Barbican K., Judson S., Fischer E., Martens C., Bowden T., Wit E., Riedo F., Munster V. Case Study: Prolonged Infectious SARS-CoV-2 Shedding from an Asymptomatic Immunocompromised Individual with Cancer. *Cell* 2020; 183 (7): 1901–1912.
20. Hu Z., Song C., Xu C., Jin G., Chen Y., Xu X., Ma H., Chen W., Lin Y., Zheng Y., Wang J., Hu Z., Yi Y., Shen H. Clinical characteristics of 24 asymptomatic infections with COVID-19 screened among close contacts in Nanjing, China. *Sci China Life Sci* 2020; 63: 706–711.
21. Xiang Ong S., Chiew C., Wei Ang L., Mak T., Cui L., Tob M., Ding Lim Y., Hua Lee P., Hong Lee T., Ying Chia P., Maurer-Stroh S., Lin R., Leo Y., Lee V., Chien Lye D., Young B. Clinical and virological features of SARS-CoV-2 variants of concern: a retrospective cohort study comparing B.1.1.7 (Alpha), B.1.315 (Beta), and B.1.617.2 (Delta). *Clin Infect Dis* 2021; ciab721.
22. Dubuis M., Dumont-Leblond N., Lalibertre C., Veillette M., Turgeon N., Jean J., Duchaine C. Ozone efficacy for the control of airborne viruses: bacteriophage and norovirus models. *PLoS One*. 2020; 15: e0231164, available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0231164>

23. Criscuolo E., Diotti R.A., Ferrarese R., Alippi C., Viscardi G., Signorelli C., Mancini N., Clementi M., Clementi N. Fast inactivation of SARS-CoV-2 by UV-C and ozone exposure on different materials. *Emerg Microbes Infect* 2021; 10 (1): 206–210.

24. Percivalle E., Clerici M., Cassaniti I., Vecchio Nepita E., Marchese P., Olivati D., Catelli C., Berri A., Baldanti F., Marone P., Bruno R., Triarico A., Lago P. SARS-CoV-2 viability on different surfaces after gaseous ozone treatment: a preliminary evaluation. *J Hosp Infect* 2021; 110: 33–36.

25. Yao M., Zhang L., Ma J., Zhou L. On airborne transmission and control of SARS-Cov-2. *Sci Total Environ* 2020; 731: 139178.

REFERENCES

1. Kemp S.J., Kuehn T.H., Pui D.Y.H., Vesley D., Streifel A.J. Filter collection efficiency and growth of microorganisms on filters loaded with outdoor air. *ASHRAE Transaction* 1995; 1: 228.

2. Prilutskiy A.S. Coronavirus disease – 2019: what a dermatovenerologist needs to know. *Torsuevskie chteniya: nauchno-prakticheskiy zhumal po dermatologii, venerologii i kosmetologii* 2020; 1 (27): 62–71 (in Russian).

3. Prilutskiy A.S., Mimosobvili V.R. Transmission mechanisms of SARS-COV-2 and methods of their prevention. Communication 1. Airborne and aerosol pathways. *Vestnik gigieny i epidemiologii* 2020; 24 (2): 224–232 (in Russian).

4. Prilutskiy A.S., Mimosobvili V.R. Transmission mechanisms of SARS-COV-2 and methods of their prevention. Communication 2. Air-dust and aerosol paths. Use of respirators and masks. *Vestnik gigieny i epidemiologii* 2020; 24 (2): 233–242 (in Russian).

5. Sharma M., Hudson J.B. Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent. *Am J Infect Control* 2008; 36 (8): 559–563.

6. Hudson J.B., Sharma M., Vimalanathan S. Development of a practical method for using ozone gas as a virus decontaminating agent. *Ozone Sci Eng* 2009; 31 (3): 216–223.

7. Sallustio F., Cardinale G., Voccola S., Picerno A., Porcaro P., Gesualdo L. Ozone eliminates novel coronavirus Sars-CoV-2 in mucosal samples. *New Microbes New Infect* 2021; 43: 100927.

8. Guidelines for microbiological control in pharmacies, approved the Main Sanitary and Epidemiological Directorate of the Ministry of Health of the USSR dated December 29, 1984. No. 3182-84. Moscow 1984; 7 (in Russian).

9. Multifunctional digital ozonizer model LF-V7: technical data sheet. Kiev 2007; 8 (in Russian).

10. Lyakh Yu.E., Gur'yanov V.G., Khomenko V.N., Panchenko O.A. Basics of computer biostatistics: analysis of information in biology, medicine and pharmacy using the MedStat statistical package. Donetsk: Papakitsa E.K. 2006; 214 (in Russian)

11. Kondratov A.P., Ryabkin M.V., Platonov A.V. Antimicrobial efficiency of physical and chemical methods of air disinfection. *Dezinfektsionnoe delo* 2006; 2: 40–43. (in Russian)

12. Martuzzi M., Mitis F., Iavarone I., Serinelli M. Health impact of PM10 and ozone in 13 Italian cities. Copenhagen: World Health Organization 2006; 133.

13. Jarvis M. Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical Principles and Implications *Front. Public Health* 2020; 8: 590041.

14. Hua C., Miao Z., Zheng J., Huang Q., Sun Q., Lu H., Su F., Wang W., Huang L., Chen D., Xu Z., Ji L., Zhang H., Yang X., Li M., Mao Y., Ying M., Ye S., Shu Q., Chen E., Liang J., Wang W., Chen Z., Li W., Fu J. Epidemiological features and viral shedding in children with SARS-CoV-2 infection. *J Med Virol* 2020; 92: 2804–2812.

15. Qian G.Q., Chen X.Q., Lv D.F., Ma A.H.Y., Wang L.P., Yang N.B., Chen X.M.

Duration of SARS-CoV-2 viral shedding during COVID-19 infection. *Infect Dis (Lond.)* 2020; 52: 511–512.

16. Ob D., Böttcher S., Kröger S., von Kleist M. SARS-CoV-2 transmission routes and implications for self- and non-self-protection. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 2021; 29: 1–8.

17. Long Q.X., Tang X.J., Shi Q.L., Li Q., Deng H.J., Yuan J., Hu J.L., Xu W., Zhang Y., Lv F.J. Clinical and immunological assessment of asymptomatic SARS-CoV-2 infections. *Nat Med* 2020; 26: 1200–1204.

18. Zou L., Ruan F., Huang M., Liang L., Huang H., Hong Z., Yu J., Kang M., Song Y., Xia J. SARS-CoV-2 Viral Load in Upper Respiratory Specimens of Infected Patients. *N Engl J Med* 2020; 382: 1177–1179.

19. Avanzato V., Matson M., Seifert S., Pryce R., Williamson B., Anzick S., Barbian K., Judson S., Fischer E., Martens C., Bowden T., Wit E., Riedo F., Munster V. Case Study: Prolonged Infectious SARS-CoV-2 Shedding from an Asymptomatic Immunocompromised Individual with Cancer. *Cell* 2020; 183 (7): 1901–1912.

20. Hu Z., Song C., Xu C., Jin G., Chen Y., Xu X., Ma H., Chen W., Lin Y., Zheng Y., Wang J., Hu Z., Yi Y., Shen H. Clinical characteristics of 24 asymptomatic infections with COVID-19 screened among close contacts in Nanjing, China. *Sci China Life Sci* 2020; 63: 706–711.

21. Xiang Ong S., Chiew C., Wei Ang L., Mak T., Cui L., Tob M., Ding Lim Y., Hua Lee P., Hong Lee T., Ying Chia P., Maurer-Stroh S., Lin R., Leo Y., Lee V., Chien Lye D., Young B. Clinical and virological features of SARS-CoV-2 variants

of concern: a retrospective cohort study comparing B.1.1.7 (Alpha), B.1.315 (Beta), and B.1.617.2 (Delta). *Clin Infect Dis* 2021; ciab721.

22. Dubuis M., Dumont-Leblond N., Lalibertre C., Veillette M., Turgeon N., Jean J., Duchaine C. Ozone efficacy for the control of airborne viruses: bacteriophage and norovirus models. *PLoS One* 2020; 15: e0231164, available at: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0231164>

23. Criscuolo E., Diotti R.A., Ferrarese R., Alippi C., Viscardi G., Signorelli C., Mancini N., Clementi M., Clementi N. Fast inactivation of SARS-CoV-2 by UV-C and ozone exposure on different materials. *Emerg Microbes Infect* 2021; 10 (1): 206–210.

24. Percivalle E., Clerici M., Cassaniti I., Vecchio Nepita E., Marchese P., Olivati D., Catelli C., Berri A., Baldanti F., Marone P., Bruno R., Triarico A., Lago P. SARS-CoV-2 viability on different surfaces after gaseous ozone treatment: a preliminary evaluation. *J Hosp Infect* 2021; 110: 33–36.

25. Yao M., Zhang L., Ma J., Zhou L. On airborne transmission and control of SARS-Cov-2. *Sci Total Environ* 2020; 731: 139178.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 27.09.2021

Принята: 29.10.2021

Опубликована: 24.12.2021