

УДК 614.442

DOI: 10.34215/1609-1175-2023-4-82-85



Сравнительный анализ эффективности различных методов обеззараживания воздуха для профилактики бактериальных и вирусных инфекций

А.С. Прилуцкий¹, С.В. Капранов², К.Е. Ткаченко¹, Л.И. Яловега²¹ Донецкий национальный медицинский университет имени М. Горького, Донецк, Россия² Алчевская городская санитарно-эпидемиологическая станция, Алчевск, Россия

Цель: сравнительная оценка эффективности двух методов обеззараживания воздуха закрытых помещений с помощью источников ультрафиолетового (УФ) облучения открытого и закрытого типов. **Материалы и методы:** изучены два метода обеззараживания воздуха закрытых помещений: использование УФ-облучателя открытого типа и применение облучателя-рециркулятора закрытого типа. Выполнялось определение общей бактериальной обсемененности, содержания стафилококков и спор плесневых грибов в воздухе ($n = 30$). **Результаты:** УФ-обеззараживание с использованием бактерицидного светильника открытого типа в течение 15–30 минут достоверно более эффективно, чем обеззараживание с использованием облучателя-рециркулятора в отношении снижения общей бактериальной обсемененности ($p < 0,001$), содержания жизнеспособных стафилококков ($p < 0,001 - p = 0,026$) и спор плесневых грибов ($p < 0,001$) в воздухе. **Заключение:** применение бактерицидных светильников открытого типа является более эффективной мерой обеззараживания воздуха закрытых помещений по сравнению с использованием облучателей-рециркуляторов закрытого типа. Целесообразно сочетать чередование УФ-обеззараживания источниками открытого типа в отсутствие людей с последующим проветриванием и использованием облучателей-рециркуляторов в помещении, когда в нем находятся люди.

Ключевые слова: воздух, ультрафиолетовое обеззараживание, общая бактериальная обсемененность, стафилококки, плесневые грибы

Поступила в редакцию: 28.03.23. Получена после доработки: 02.04.23, 03.04.23, 09.05.23. Принята к публикации: 30.05.23

Для цитирования: Прилуцкий А.С., Капранов С.В., Ткаченко К.Е., Яловега Л.И. Сравнительный анализ эффективности различных методов обеззараживания воздуха для профилактики бактериальных и вирусных инфекций. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2023;4:82–85. doi: 10.34215/1609-1175-2023-4-82-85

Для корреспонденции: Прилуцкий Александр Сергеевич – д-р мед. наук, профессор кафедры микробиологии, вирусологии, иммунологии и аллергологии Донецкого национального медицинского университета имени М. Горького (283001, г. Донецк, пр. Ильича, 16); ORCID: 0000-0003-1409-504X; тел.: +7 (949) 338-89-01; e-mail: aspr@mail.ru

Comparative analysis of air disinfection methods for prevention of bacterial and viral infections

O.S. Prylutskiy¹, S.V. Kapranov², K.Y. Tkachenko¹, L.I. Yalovega²¹ M. Gorky Donetsk National Medical University, Donetsk, Russia; ² Alchevsk City Sanitary and Epidemiological Station, Alchevsk, Russia

Aim. To compare the effectiveness of two methods for indoor air disinfection, i.e., those based on ultraviolet (UV) irradiation sources of open and closed types. **Material and methods.** Two main indoor air disinfection methods were compared – an open-type UV irradiator and a closed-type recirculating irradiator – based on the parameters of total bacterial contamination and the content of staphylococci and mold spores in the air ($n = 30$). **Results.** UV disinfection using an open-type bactericidal lamp, both for 15 and 30 min, is significantly more effective than disinfection using a recirculating irradiator in terms of reducing the total bacterial contamination ($p < 0.001$), the content of viable staphylococci ($p < 0.001 - p = 0.026$), and mold spores ($p < 0.001$) in the air. **Conclusion.** The use of bactericidal lamps of open type is a more effective tool for indoor air disinfection compared to the use of closed-type recirculating irradiators. It is advisable to use UV disinfection with open type sources in the absence of people followed by ventilation and subsequent use of recirculating irradiators in the presence of people.

Keywords: air, ultraviolet disinfection, total bacterial contamination, staphylococci, mold fungi

Received 28 March 2023; Revised 2, 3 April, 9 May 2023; Accepted 30 May 2023

For citation: Prylutskiy O.S., Kapranov S.V., Tkachenko K.Y., Yalovega L.I. Comparative analysis of air disinfection methods for prevention of bacterial and viral infections. *Pacific Medical Journal*. 2023;4:82–85. doi: 10.34215/1609-1175-2023-4-82-85

Corresponding author: Alexandr S. Prilutskiy, Dr. Sci. (Med.), Prof. of Dept. of Microbiology, Virology, Immunology and Allergology, M. Gorky Donetsk national medical university (16 Ilyicha Ave., Donetsk, 283001, Russia); ORCID: 0000-0003-1409-504X; phone: +7 (949) 338-89-01; e-mail: aspr@mail.ru

В деятельности, направленной на предотвращение распространения бактериальных и вирусных инфекций, передающихся воздушно-капельным, аэрозольным

путями очень важным является уничтожение возбудителей в воздухе помещений [1–3]. Многие возбудители чувствительны к ультрафиолетовому (УФ) облучению

[1, 3]. Для искусственного обеззараживания воздушной среды используют различные УФ бактерицидные облучатели открытого типа (ОТ) и облучатели-рециркуляторы (ОР) закрытого типа, используемые в присутствии людей [1]. Проведение сравнительных исследований по оценке эффективности применения различных способов обеззараживания воздуха закрытых помещений единичны.

Цель работы состояла в сравнительной оценке эффективности обеззараживания воздуха закрытых помещений с помощью различных источников УФ-облучения (открытого и закрытого типов).

Материалы и методы

Исследования проведены в Алчевской городской санитарно-эпидемиологической станции. Изучены два основных метода обеззараживания воздуха закрытых помещений: использование УФ-облучателя ОТ и применение ОР закрытого типа.

До и после проведения обеззараживания каждым из используемых методов выполнялось определение в воздухе общей бактериальной обсемененности (микробное число), содержания стафилококков и спор плесневых грибов.

Пробы воздуха были отобраны с использованием устройства автоматического отбора проб биологических аэрозолей воздуха ПУ-1Б (ЗАО «ХИМКО», г. Москва). Определение общего микробного числа (общая бактериальная обсемененность) выполняли в пробе воздуха объемом 100 литров. Наличие возбудителей стафилококков и спор плесневых грибов изучалось в 250 литрах воздуха. Посевы для определения интенсивности общей бактериальной обсемененности, стафилококков и плесневых грибов выполняли на соответствующие микробиологические среды.

В первом случае исследовалась эффективность УФ-обеззараживания воздуха светильником бактерицидного ОТ серии UGL-S03A-30W/UVCB White производства Uniel Lighting Co., Ltd (г. Ханчжоу, КНР). В указанном светильнике использовалась лампа мощностью 30 Вт со спектром излучения УФ 253,7 нм. Пробы воздуха были отобраны: 1 – до (проба 1) и после УФ-обеззараживания воздуха в течение 15 (проба 2) и 30 минут (проба 3). При этом были использованы рекомендации по применению данного бактерицидного светильника, согласно которым минимальное время обработки воздуха помещений такого объема составляет 15, а оптимальное – 30 минут.

Во втором случае с целью оценки эффективности УФ-обеззараживания воздуха был использован ОР воздуха УФ бактерицидный «ДЕЗАР-4» (г. Химки, Россия). При этом отбор проб воздуха для исследования осуществляли в помещении до начала работы данного рециркулятора и через 30 минут после его работы.

Объем помещения – 13,3 м³. На всех этапах (до и после проведения обеззараживания) исследование воздуха осуществлялось 30 раз. Статистическая обработка

данных проводилась с использованием лицензионной программы MedStat (г. Донецк). Учитывая отличие характера распределений выборок от нормального (критерий *W* Шапиро – Уилка), были использованы методы непараметрической статистики. Рассчитана медиана, ошибка медианы ($Me \pm me$), левый и правый 95% доверительные интервалы (95% ДИ). Выполнены парные сравнения для связанных выборок с использованием *T*-критерия Вилкоксона (двусторонняя критическая область), парные сравнения для независимых выборок с использованием *W*-критерия Вилкоксона (двусторонняя критическая область). Статистически значимыми считались различия на уровне $p \leq 0,05$.

Результаты исследования

В результате УФ-обеззараживания воздуха с использованием светильника бактерицидного ОТ в течение 15 минут было достигнуто более чем 2-кратное достоверное ($p < 0,001$) снижение среднего уровня общей бактериальной обсемененности воздуха помещения: соответственно $19,5 \pm 2,4$ (16,0; 25,0) КОЕ/м³ против $50,5 \pm 4,8$ (40,0; 58,0) КОЕ/м³. После УФ-обеззараживания в течение 30 минут данный показатель уменьшился в 4 раза – $12,5 \pm 1,5$ (10,0; 17,0) КОЕ/м³ по сравнению с показателями, полученными до УФ-обеззараживания ($p < 0,001$). Параллельно с вышеуказанными данными через 15 минут УФ облучения было выявлено существенное снижение ($p < 0,001$) в воздухе исследуемого помещения среднего содержания жизнеспособных стафилококков до $11,5 \pm 2,1$ (8,0; 18,0) КОЕ/м³ против $24,0 \pm 3,4$ (19,0; 34,0) КОЕ/м³ (в 2,1 раза). Через 30 минут вышеуказанный показатель уменьшился в 4 раза по сравнению с исходными результатами до $6,0 \pm 1,6$ (4,0; 10,0) КОЕ/м³ ($p < 0,001$). Среднее содержание спор плесневых грибов в воздухе помещения также достоверно снизилось на 2-м и 3-м этапах исследований соответственно до $5,0 \pm 3,8$ (4,0; 7,0) КОЕ/м³ и $2,5 \pm 2,5$ (1,0; 4,0) КОЕ/м³ против $9,0 \pm 7,3$ (8,0; 14,0) КОЕ/м³ ($p < 0,001$).

При этом эффективность обеззараживания воздуха с использованием бактерицидного светильника ОТ зависела от времени облучения. Было зафиксировано достоверное снижение уровня общей бактериальной обсемененности, количества жизнеспособных стафилококков, плесневых грибов в воздухе помещения при сравнении показателей, полученных через 15 и 30 минут работы светильника ($p < 0,001$).

Проведенными исследованиями было установлено, что обеззараживание воздуха с помощью бактерицидного светильника закрытого типа также достоверно ($p < 0,001$) понижает, только в 1,5 раза, средний уровень как общей бактериальной обсемененности воздуха ($38,0 \pm 5,2$ (30,0; 49,0) КОЕ/м³ против $56,5 \pm 7,8$ (45,0; 72,0) КОЕ/м³), так и количество жизнеспособных стафилококков – до $13,0 \pm 2,15$ (11,0; 18,0) КОЕ/м³ против $22,5 \pm 3,7$ (17,0; 31,0) КОЕ/м³ (в 1,7 раза; $p < 0,001$). Содержание спор плесневых грибов в воздухе

сократилось ($p < 0,001$) в 1,4 раза с $28,0 \pm 6,6$ (20,0; 45,0) КОЕ/м³ до $19,5 \pm 5,4$ (12,0; 31,0) КОЕ/м³.

Нами также был проведен сравнительный анализ эффективности двух использованных методов обеззараживания воздуха. Сравнение исходных показателей общей бактериальной обсемененности и содержания жизнеспособных стафилококков в воздухе не выявили статистически значимой разницы между показателями, полученными до проведения обеззараживания с помощью светильника бактерицидного ОТ и ОР ($p > 0,05$). В то же время содержание спор плесневых грибов в воздухе помещения до проведения обеззараживания с помощью светильника бактерицидного ОТ оказалось достоверно более низким ($p < 0,001$), чем до начала работы ОР. Следует отметить, что пробы воздуха для оценки эффективности светильника бактерицидного ОТ были отобраны в период с 13.01.2022 г. по 22.02.2022 г. Пробы воздуха для анализа эффективности ОР были забраны в период с 09.11.2021 г. по 20.12.2021 г.

В связи с вышеизложенным для объективного представления данных нами были выполнены сравнения не абсолютных значений величин, а долей (%), на которые снизились показатели общей бактериальной обсемененности, концентрации стафилококков и спор плесневых грибов в воздухе после применения светильника бактерицидного ОТ (в течение 15 и 30 минут) и после использования ОР (табл.).

УФ-обеззараживание воздуха с использованием бактерицидного светильника ОТ даже в течение 15 минут более эффективно (в 1,2–1,9 раза), чем обеззараживание с использованием ОР в отношении снижения как общей бактериальной обсемененности ($p < 0,001$), так и содержания жизнеспособных стафилококков ($p = 0,026$) и плесневых грибов ($p < 0,001$). Проведение УФ-обеззараживания с использованием бактерицидного светильника ОТ в течение 30 минут более чем в 2 раза эффективнее использования ОР в отношении всех трех исследованных показателей ($p < 0,001$).

Обсуждение полученных данных

В настоящей работе установлены различия в содержании жизнеспособных спор плесневых грибов

в начале работы двух различных типов УФ-облучателей. Содержание спор плесневых грибов в регионах со сходными климатическими условиями имеет сезонность с максимально высокими показателями в весенний, летний и осенний период с дальнейшим снижением и минимальными уровнями в морозное, зимнее время года [4–8]. Эти показатели варьируют в зависимости от температуры и влажности воздуха в конкретные дни и месяцы. Однако сезонная динамика концентрации спор грибов, как правило, сохраняется. Аналогичные сезонные колебания содержания спор плесневых грибов отмечаются во внешней среде и в воздухе помещений, в том числе медицинских учреждений [4, 5, 7].

Результаты проведенных нами исследований указывают, что наиболее эффективным способом обеззараживания воздуха закрытых помещений является УФ-облучение продолжительностью 30 минут с использованием бактерицидных светильников ОТ. Более низкая (но достоверная) эффективность обеззараживания воздуха, согласно полученных нами результатов, достигается в случае использования ОР в сравнении с результатами облучения УФ-лучами источником ОТ даже в течение 15 минут. Вышеуказанные результаты согласуются с данными наших расчетов о том, что бактерицидное действие источника УФ-облучения ОТ UGL-S существенно превышает эффективность ОР «ДЕЗАР-4» вследствие значительно большей площади, подвергающейся обеззараживанию одновременно. В то же время, в отличие от облучателей ОТ, преимуществами УФ ОР «ДЕЗАР-4», имеющих фильтры, является возможность их использования в присутствии людей в течение длительного периода времени.

Таким образом, для повышения эффективности обеззараживания воздуха и поверхностей наиболее целесообразным является комбинированное применение облучателей открытого и закрытого типов для обработки одного и того же помещения. При отсутствии людей (до и после пребывания их в помещениях, а также во время достаточных перерывов) целесообразно использовать УФ-облучатели ОТ и затем проветривать помещение наружным воздухом. После этого в присутствии людей проводится постоянное УФ-обеззараживание воздуха с использованием ОР. Возможно параллельно с открытым ультрафиолетовым

Таблица

Сравнительный анализ эффективности использования светильника бактерицидного ОТ серии UGL-S и ОР бактерицидного «ДЕЗАР-4»

Этапы проведения исследований (n = 30)		Показатели Ме ± me (95% ДИ), %*		
		ОБО**	Стафилококки	Споры плесневых грибов
1	15 минут после обеззараживания светильником ОТ	53,0 ± 4,0 (45,0; 59,1)	40,9 ± 4,1 (34,4; 52,4)	46,6 ± 3,1 (37,5; 55,6)
2	30 минут после обеззараживания светильником ОТ	67,9 ± 2,6 (63,8; 72,7)	71,0 ± 3,5 (62,5; 80,0)	75,0 ± 2,6 (70,6; 83,3)
3	После использования ОР	27,9 ± 3,0 (25,0; 33,3)	34,1 ± 3,4 (31,8; 40,0)	30,4 ± 7,2 (21,4; 35,4)
p ₁₋₃		< 0,001	0,026	< 0,001
p ₂₋₃		< 0,001	< 0,001	< 0,001

Примечание: n – количество отобранных проб воздуха, * – доля, на которую снизился показатель, по сравнению с исходными значениями; ОБО** – общая бактериальная обсемененность.

облучением применение и озонаторов, эффективность одной из модели которых показана нами ранее [9]. Озон полностью заполняет помещение, проникая в участки, недоступные для ультрафиолетовых лучей. В связи с растущей угрозой инфекций, передающихся воздушно-капельным и аэрозольным путями, такую возможность усиления профилактики инфекций не следует считать излишней.

Заключение

УФ-обеззараживание с использованием бактерицидного светильника ОТ в течение 15–30 минут достоверно более эффективно, чем обеззараживание с использованием ОР, в отношении снижения общей бактериальной обсемененности ($p < 0,001$), содержания жизнеспособных стафилококков ($p < 0,001 - p = 0,026$) и спор плесневых грибов ($p < 0,001$) в воздухе. В качестве наиболее надежного способа обеззараживания воздуха помещений целесообразно сочетать чередование УФ-обеззараживания источниками ОТ в отсутствие людей с последующим проветриванием с использованием ОР в помещении весь период времени, когда в нем находятся люди.

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования: авторы заявляют о финансировании проведенного исследования из собственных средств.

Участие авторов:

Концепция и дизайн исследования – КСВ, ПАС, ЯЛИ

Сбор и обработка материала – КСВ, ЯЛИ

Статистическая обработка – ТКЕ

Написание текста – ПАС, КСВ, ТКЕ, ЯЛИ

Редактирование – ПАС, ТКЕ

Литература / References

1. 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):224–32. [Prilutskiy AS, Miminoshvili VR. Transmission mechanisms of SARS-COV-2 and methods of their prevention. Communication 1. Airborne and aerosol pathways. *Vestnik of Hygiene and Epidemiology*. 2020;24(2):224–32 (In Russ.)].
2. Наголкин А.В., Володина Е.В., Загидуллов М.Ф., Акимкин В.Г., Борисоглебская А.П., Сафатов А.С., Кузин В.В., Дмитриева В.А. Современные научные и практические тенденции в области обеззараживания воздуха в медицинских организациях. *Здоровье населения и среда обитания*. 2016;2(275):47–51. [Nagolkin AV, Volodina EV, Zagidullov MF, Akimkin VG, Borisoglebskaja AP, Safatov AS, Kuzin VV, Dmitrieva VA. Modern scientific and practical trends in the field of air disinfection in medical organizations. *Public Health and Life Environment*. 2016;2(275):47–51 (In Russ.)].
3. 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):233–42. [Prilutskiy AS, Miminoshvili VR. Transmission mechanisms of SARS-COV-2 and methods of their prevention. Communication 2. Air-dust and aerosol paths. Use of respirators and masks. *Vestnik of Hygiene and Epidemiology*. 2020;24(2):233–42 (In Russ.)].
4. Варламов Е.Е., Пампура А.Н., Асманов А.И. Значение аллергенов плесневых грибов в развитии аллергических заболеваний полости носа: подходы к диагностике, терапии и профилактике. *Педиатрия (Прил. к журн. Consilium Medicum)*. 2018;4:67–71. [Varlamov EE, Pampura AN, Asmanov AI. The significance of mold allergens in the development of allergic diseases of the nasal cavity: Approaches to diagnosis, therapy and prevention. *Pediatrics (app. to the journal Consilium Medicum)*. 2018;4:67–71 (In Russ.)]. doi: 10.26442/24138460.2018.4.000016
5. Зиятдинов В.Б., Бадамшина Г.Г., Исаева Г.Ш. Характеристика микологической обсемененности воздуха в медицинских организациях. *Пермский медицинский журнал*. 2016;4(33):107–12. [Ziatdinov VB, Badamshina GG, Isaeva GSh. Characteristics of mycological contamination of air in medical organizations. *Perm Medical Journal*. 2016;4(33):107–12 (In Russ.)].
6. Бадамшина Г.Г., Зиятдинов В.Б., Бакиров А.Б., Валеев А.А., Ставропольская Л.В., Исаева Г.Ш., Каримов Д.О., Ахметшина В.Т. Необходимость создания нормативов, регламентирующих содержание дрожжеподобных и плесневых грибов в больничной среде медицинских организаций. *Медицина труда и экология человека*. 2017;2:48–52. [Badamshina GG, Ziatdinov VB, Bakirov AB, Valeev AA, Stavropol'skaja LV, Isaeva GSh, Karimov DO, Ahmetshina VT. The need to create standards regulating the content of yeast-like and mold fungi in the hospital environment of medical organizations. *Occupational medicine and human ecology*. 2017;2:48–52 (In Russ.)].
7. Sautour M, Sixt N, Dalle F, L'Ollivier C, Fourquenot V, Calinon C, Paul K, Valvin S, Maurel A, Aho S, Couillault G, Cachia C, Vagner O, Cuisenier B, Caillot D, Bonnin A. Profiles and seasonal distribution of airborne fungi in indoor and outdoor environments at a French hospital. *Sci Total Environ*. 2009;407(12):3766–71. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.02.024
8. Lonc E, Plewa K, Kiewra D, Szczepańska A, Firling CE. Quantitative assessment of mycological air pollution in selected rooms of residential and dormitory housing facilities. *Ann Parasitol*. 2013;59(4):183–7.
9. Прилуцкий А.С., Капранов С.В., Ткаченко К.Е., Яловега Л.И. Озонирование воздуха для профилактики бактериальных и вирусных инфекций. *Пермский медицинский журнал*. 2021;38(6):109–19. [Prilutskiy AS, Kapranov SV, Tkachenko KE, Jalovega LI. Air ozonization for prevention of bacterial and viral infections. *Perm Medical Journal*. 2021;38(6):109–19 (In Russ.)].