تاثیر ازون در غیرفعال‌سازی ویروس‌های منتقله از هوای محیط‌های داخلی با رویکرد به ویروس COVID-19: یک مطالعه مروری نظام‌مند

مازیار نادری[۱و۲*]، غلامرضا ابراهیم‌زاده[۳]، محمود علی‌محمدی[۱و۴]، ویدا پاست[۱]

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۲- مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویان (SSRC)، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.
۳- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زابل، زابل، ایران.
۴- مرکز تحقیقات کیفیت آب، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

*نویسنده مسئول: تهران، خیابان انقلاب، خیابان قدس، خیابان پورسینا، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط.
کدپستی: ۱۴۱۷۶۱۳۱۵۱
تلفن: ۸۸۹۵۰۱۸۸-۰۲۱
E-mail: maziar.naderi@gmail.com

چکیده

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۸ ویرایش: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۴ آنلاین: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱

زمینه و هدف: امروزه پاندمی COVID-19 به یک معضل جهانی تبدیل شده است و به‌منظور پیشگیری از آن باید روش‌های نوینی به‌کار گرفته شود. ویروس این بیماری بسیار واگیردار است و عمدتا از طریق هوا منتقل می‌شود. ازون یک ماده اکسیدکننده قوی است که می‌تواند به‌منظور غیرفعال کردن طیف وسیعی از ویروس‌ها که ممکن است در برابر سایر ضدعفونی‌کننده‌ها مقاوم باشند، استفاده شود. هدف از این مطالعه، بررسی مروری کاربرد و تاثیر ازون در غیرفعال‌کردن ویروس‌های محیط‌های بسته بود.

روش بررسی: به‌منظور جستجوی مقالات از لغات کلیدی مانند ازون، ویروس و هوا در پایگاه‌های اطلاعاتی PUBMED و Scopus استفاده شد. جستجوی مقالات از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ صورت گرفت. در نتیجه جستجو تعداد ۵۷ مقاله در این زمینه انتخاب گردید و از محتوا و نتایج آنها در این مطالعه مروری استفاده شد.

یافته‌ها: این مطالعه مروری نشان داد که ازون به‌طور موفقیت‌آمیزی با هدف پیشگیری از چندین بیماری ویروسی مانند COVED-19 استفاده شده است. افزون‌براین، برخی از ویروس‌ها مانند کروناویروس‌ها حاوی گروه‌های عاملی سولفیدریل حاوی سیستیین و تریپتوفان هستند که با گاز ازون واکنش بهتری نشان می‌دهند. عطسه فرد مبتلا به COVED-19 ممکن است منجر به تشکیل ۴۰۰۰۰ قطره در هوا شود. این قطرات می‌توانند پیش از سقوط به نزدیکترین سطح تا فاصله دو متری منتقل شوند و همچنین ممکن است ۳۰ ساعت در هوا باقی بمانند.

نتیجه‌گیری: استفاده از گاز ازون کاربردهای بالقوه زیادی در غیرفعال کردن ویروس‌ها در فضاهای محصور آلوده دارد. با توجه به اهمیت آئروسل‌های حاوی ویروس در انتقال COVED-19، ازون می‌تواند روشی امیدوارکننده در پیشگیری از این بیماری باشد. میزان غیرفعال شدن ویروس‌ها توسط گاز ازون به غلظت گاز، زمان تماس، دما، رطوبت و نوع ویروس بستگی دارد. به‌طورکلی، بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه کاربرد گاز ازون را در پیشگیری از شیوع بیماری‌های ویروسی مثل COVED-19 را نشان داد. همچنین در به‌کار بردن این گاز اقدامات و احتیاط‌های ایمنی لازم توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: کوید ۱۹، ضدعفونی‌کننده، ازون، غیرفعال‌سازی ویروس.

مقدمه

سازمان جهانی بهداشت (WHO) گزارش داده است که در محیط‌های داخلی، بیماری‌های ویروسی می‌توانند از راه هوا توسط آئروسل منتقل شوند و در مدت زمان کوتاهی منجر به شیوع و گسترش بیماری میان افراد شوند.[۱-۳] انتقال ویروس‌های منتقل شده از هوا به فرد از سه طریق رخ می‌دهد که شامل ۱- تماس مستقیم یا غیرمستقیم با ترشحات عفونی افراد آلوده، ۲- تماس قطرات حاوی

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

ویروس با دستگاه تنفسی فوقانی و ۳- استنشاق آئروسل‌های حاوی ویروس به دستگاه تنفسی فوقانی می‌باشد.[۴] اولین مورد در ارتباط با توانایی زنده ماندن ویروس در هوا در دهه ۱۹۶۰ گزارش شد.[۵] در آن دهه محققین نتایج بسیار جالبی را در مورد رفتار ویروس در هوا و پتانسیل انتقال ویروس گزارش دادند. یک عطسه عفونی ممکن است منجر به تشکیل ۴۰۰۰۰ قطره در هوا شود و در لحظه خروج از دهان و بینی فرد این قطرات می‌توانند پیش از سقوط تقریبا تا ۲ m به نزدیکترین سطح انتقال یابند. همچنین این قطرات ممکن است تبخیر شوند و در نتیجه این تبخیر، تنها هسته قطرات باقی بماند که می‌توانند تا ۳۰ ساعت در هوا بمانند و منجر به عفونت‌های دستگاه تنفسی تحتانی شوند.[۶] بلافاصله پس از آزاد شدن این قطرات، بخش مایع آن شروع به تبخیر شدن می‌کند و برخی از قطرات آنقدر کوچک می شوند که انتقال توسط جریان هوا بیشتر از نیروی جاذبه بر روی آنها تأثیر می‌گذارد.[۷] این قطرات کوچک به راحتی در هوا حرکت می‌کنند و می‌توانند ده‌ها متر دورتر از محل خروجشان جابه‌جا شوند.[۱] در حضور مقاومت هوا، ذرات با جرم کم یا حرکت براونی را از خود نشان می‌دهند و یا از الگوی جریان آشفته هوا پیروی می‌کنند. برای قطرات حاوی ویروس، مرز بین این دو رفتار به اندازه آئروسل بستگی دارد.[۸] عطسه و سرفه منجر به تولید ذرات معلق در هوا در محدوده ۱ تا ۵۰۰ میکرون می‌شود. در هنگام عطسه یا سرفه، قطرات حامل ویروس، که قطر آنها معمولاً بیش از ۵ میکرون است، از دستگاه تنفسی خارج شده و به‌طور مستقیم بر روی افراد آسیب‌پذیر تأثیر می‌گذارد. یک فرد آسیب‌پذیر می‌تواند ذرات کوچک آئروسل را که برای ماندن در هوا به اندازه کافی ریز هستند (کوچکتر از ۵ میکرون) را استنشاق کند.[۹] آئروسل‌های حاوی ویروس با اندازه کمتر از ۲ میکرون بیشتر از خود ویروس عفونی هستند.[۱۰] پایداری چنین ویروس‌هایی در هوا به عوامل مختلفی از جمله دما و رطوبت نسبی مرتبط است و همچنین غلظت ویروس تحت تأثیر نوع ویروس، میزان تهویه، ماهیت منابع و فاصله آنها از منابع است.[۱۱] حضور ویروس‌ها در آئروسل‌ها پتانسیل انتقال از طریق هوا را نشان می‌دهد، اگرچه در بسیاری از مطالعات فقط مقدار RNA ویروسی اندازگیری شده است.[۱۲] معمولاً مقادیر قابل‌توجهی از قطرات تنفسی در مواقع صحبت کردن دفع می‌شود. مکالمه ۱۰ دقیقه‌ای با یک فرد آلوده می‌تواند ۶۰۰۰ قطره تولید کند.[۹] بیماری‌های ویروسی متعددی از طریق هوا منتقل می‌شوند.[۱۳] در طی یک دوره آموزش نظامی، افزایش موارد عفونت‌های آدنوویروسی رخ داد که با افزایش تشخیص فیلترهای هوای PCR مثبت همراه بود.[۱۲] همچنین، گزارش‌هایی همبستگی میان میزان شیوع بیماری و میزان تهویه نشان دادند که با تهویه بیشتر هوا بیماری‌های تنفسی کمتر می‌شود.[۱۲] در گزارشی دیگر، انتقال عفونت‌های ویروسی ناشی از ویروس شبه نورواک از طریق هوا در میان کودکان مدارس مشاهده شد.[۱] سرخک یکی از واگیرترین بیماری‌های ویروسی در انسان است که برای مدت‌هاست با انتقال قطرات از راه هوا در ارتباط بوده است.[۱۲] مطالعات مختلفی بر روی شناسایی و سنجش ویروس‌های آنفلوانزای موجود در قطرات خارج شده از طریق تنفس، عطسه و سرفه افراد آلوده متمرکز شده‌اند. در مطالعه‌ای ماده ژنتیکی (RNA) ویروس آنفلوانزا در هوا تا ۳/۷ m دورتر از افراد مبتلا با حداکثر RNA ویروسی موجود در قطرات هوا شناسایی شد.[۱۲] Coleman و همکاران اولین شناسایی و کمی‌سازی ویروس آنفلوانزای منتقل شده در هوا را در یک مدرسه ابتدایی انجام دادند و نتایج مطالعه آنها نشان داد که ویروس آنفلوانزای A منتقل شده از هوا پتانسیل گسترش در مدارس را در طول فصل آنفلوانزا دارد. ماده ژنتیکی (RNA) ویروس آنفلوانزا در قطرات گردآوری شده از بیماران آلوده هنگام سرفه و تنفس یافت شده است.[۶] Lindsley و همکاران گزارش دادند که هفت نفر از ۱۷ بیمار مبتلا به آنفلوانزا تا ۱۰۰۰ ویروس آنفلوانزای زنده را در طول ۳۰ دقیقه تنفس منتشر کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تولید آئروسل های حاوی ویروس آنفلوانزای زنده در بین افراد آلوده معمول بود و عمل تنفس ذرات عفونی معلق بیشتری را نسبت به سرفه کردن تولید کرد.[۱۴] Xie و همکارانش همچنین از وجود ذرات حاوی ویروس تنفسی در تنفس بازدم بیماران و در هوای نمونه‌گیری شده در مراکز درمانی خبر دادند.[۱۵] کروناویروس‌ها توانایی زنده ماندن در ذرات آئروسل را برای مدت طولانی دارند. به‌عنوان مثال، آئروسل HCoV-229E به‌مدت شش روز به شکل عفونی باقی مانده بود.[۱۶] Otter و همکارانش بقای ذرات معلق حاوی MERS-CoV را در هوای فضاهای بسته مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که با گذشت ۱۰ دقیقه از زمان ماند ویروس، کاهش ۷ درصدی در غلظت رخ داد.[۱۶] در مطالعه‌ای پتانسیل ویروس MERS در انتقال توسط هوا به‌وسیله نمونه‌برداری از هوا مورد بررسی قرار گرفت. ماده ژنتیکی ویروس در

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

ورودی تجهیزات تهویه هوا شناسایی شده و ویروس از نمونه‌های هوا جدا گردید.[۱۲] شیوع ویروس SARS نیز در آغاز با مراکز بهداشتی درمانی مرتبط بود، با ٤۹٪ موارد مربوط به بیمارستان‌ها که احتمالاً ناشی از آئروسل‌های تولید شده توسط بیماران بود.[۱۲] در حال حاضر، ظهور کروناویروس انسانی جدید (ویروس ایجادکننده COVID-19) به یک نگرانی بهداشتی در مقیاس جهانی تبدیل شده است که منجر به عفونت‌های شدید دستگاه تنفسی در انسان می‌شود.[۱۱] ویروس COVID-19 از کروناویروس دو سندرم شدید تنفسی حاد (SARS-CoV-2) ایجاد شده است.[۱۷] انتقال از انسان به انسان با دوره نهفتگی بین ۱۰-۲ روز گزارش شده است و گسترش آن از طریق قطرات موجود در هوا، دست‌ها و سطوح آلوده رخ داده است.[۱۸] با توجه به شباهت‌های زیاد بین دو ویروس SARS و COVID-19 و به‌طور کلی شواهد مربوط به انتقال ویروس، به احتمال زیاد ویروس COVID-19 از طریق هوا نیز پخش می‌شود.[۱] معلق بودن ویروس در هوا ممکن است یکی از چندین دلیلی باشد که گسترش در مدت زمان کوتاه شخص به شخص COVID-19 را در سراسر جهان توضیح دهد.[۱۹] حتی بزرگترین قطرات عطسه نیز می‌تواند ویروس COVID-19 را به مدت ۱۰ دقیقه در هوا پخش کند و تا انتهای یک اتاق بزرگ منتقل کند.[۸] تعدادی از مطالعات در مورد COVID-19 انتقال آئروسل را تأیید کرده‌اند. یک مطالعه ویروس را در فاصله ٤ متری از افراد آلوده ثبت کرده است که سه ساعت پس از رهاسازی زنده مانده است.[۲۰] Asadi و همکارانش گزارش دادند که ویروس آیروسل شده COVID-19 با نیمه عمر یک ساعت در هوا زنده می‌ماند و نتیجه‌گیری کردند که انتقال آئروسل ویروس COVID-19 امکان‌پذیر است.[۹] گندزدایی هوا در فضاهای بسته مانند مراکز بهداشتی درمانی از جنبه‌های مهم پیشگیری از عفونت است.[۲۱] اخیراً، علاقه به استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده بر پایه گاز برای ضدعفونی کردن هوای محیط‌های داخلی افزایش یافته است.[۲۱] یکی از امیدوارکننده‌ترین روش‌ها برای غیرفعال سازی ویروس در هوای داخلی، استفاده از گاز ازون (Ozone) است.[۲۲] ازون (O_3) یک ماده اکسید کننده قوی است که اغلب در صنایع دارویی و غذایی و در گندزدایی آب و همچنین کنترل محیطی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا استفاده می‌شود.[۲۳] قدرت گندزدایی ازون ۲۵ برابر اسید هایپوکلریک (HOCl) و ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ برابر یون هایپوکلریت (OCl^-) است.[۲٦-۲٤] تولید گاز ازون آسان و مقرون به صرفه است و کار با آن ایمن است.[۲۷] همچنین، این گاز یک ترکیب طبیعی است که نیمه عمری در حدود ۲۰ دقیقه دارد و بسیار سریع به اکسیژن تجزیه می‌شود.[۲۸] ضدعفونی هوا به‌وسیله گاز ازون می‌تواند در اماکن مختلف مثل بیمارستان‌ها، مراکز درمانی، مطب‌های دندانپزشکی، باشگاه‌های ورزشی، خطوط مسافرتی و سایر مکان‌هایی که شیوع بیماری‌های عفونی به‌نسبت شایع است، مفید و کارآمد باشد. با این وجود، گاز ازون سمی است و استنشاق آن خطرناک است.[۲۹] سمیت این گاز را می‌توان براساس غلظت و مدت زمان مواجهه کنترل کرد. ازون دارای یک سری مزایای بالقوه نسبت به سایر گازهای ضدعفونی‌کننده و مواد شیمیایی مایع است.[۳۰و۳۱] این گاز می‌تواند با پخش شدن فضای اتاق را کاملاً پر کند و باقیمانده‌ای را از خود بر جای نگذارد. چندین مطالعه قدرت کشندگی ۱۰۰ درصدی گاز ازون را در مقابل ویروس‌ها به اثبات رساندند. اگرچه ممکن است هزینه اولیه تولیدکننده‌های گاز ازون زیاد باشد ولی استفاده از آن در طولانی‌مدت می‌تواند است هزینه را توجیه کند. میزان غیرفعال‌سازی ویروس‌ها به‌وسیله گاز ازون به غلظت گاز، زمان تماس، دما، رطوبت و نوع ویروس بستگی دارد. ازون به‌عنوان یک روش تصفیه موثر در برابر ویروس‌های موجود در هوا شناخته شده است.[۳٤-۳۲] حداقل کاهش استاندارد ویروس‌ها که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (USEPA) اعلام شده است، کاهش چهار لوگ ویروس که به معنی غیرفعال سازی ۹۹/۹۹٪ ویروس‌ها است.[۲۷] ویروس‌ها بر خلاف "سلول‌های زنده"، هیچ مکانیزمی برای ترمیم خود ندارند.[۳۵] مکانیسم اصلی غیرفعال‌سازی ویروس‌ها توسط ازون، آسیب مستقیم به ماده ژنتیک ویروس است.[۳٦] ازون همچنین ممکن است به کپسید یا پوشش پروتیینی خارجی ویروس آسیب برساند.[۳۳] مشخص شده است که ویروس‌های پوشیده از لیپید به گاز ازون حساسیت بیشتری دارند.[۳۲] اولین غیرفعال‌سازی ویروس‌ها به‌وسیله ازون در رابطه با غیرفعال‌سازی ویروس اوریون در هوای داخلی اتاقی بود که سطوح داخلی آن اتاق آلوده به ویروس اوریون بود.[۲۳] مطالعات اخیر نشان می‌دهد که غلظت ازون نسبتاً کم (کمتر از ۱ mg/l) و زمان تماس کوتاه (یک دقیقه) برای غیرفعال‌سازی ۹۹٪ روتاویروس‌ها، پاروویروس‌ها و ویروس هپاتیت A کافی است.[۱۰] Maier و همکارانش اثر ویروس کشی ازون گازی را در ۱۲۰ دقیقه نشان دادند.[۳۷] این گاز در غلظت‌های نسبتاً بالا (۲۵ ppm) نیز برای

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

غیرفعال‌سازی نورووویروس‌ها در هوای داخلی ادارات و هتل‌ها استفاده شد.[۲۱] کروناویروس‌ها که به‌مدت ۹ روز بر روی سطوح عفونی باقی می‌مانند و به آسانی توسط گاز ازون غیرفعال می‌شوند.[۳۸] مطالعات مختلف نتایج غیرفعال‌سازی را برای ویروس‌های مختلف، آدنوویروس‌ها و چندین باکتریوفاژ گزارش کرده‌اند.[۳۹] همچنین مطالعات نشان داده‌اند که به‌منظور دستیابی به تأثیر قابل توجه اثر ویروس کشی گاز ازون در هوا، رطوبت نسبی هوا باید بالا باشد.[۴۰] مرطوب‌سازی هوا می‌تواند زمان ضدعفونی را کاهش داده و منجر به اثربخشی بهتر شود.[۴۱] به‌دلیل بی‌ثباتی مولکول ازون، باید بلافاصله پیش از استفاده این گاز تولید گردد.[۴۲] تنها محدودیت استفاده از ازون سمیت بالقوه برای انسان در غلظت‌های بالا است. اگرچه به‌وسیله ایزوله کردن فضای اتاق و دادن زمان ماند جهت تجزیه گاز ازون و سپس اجازه ورود افراد به مکان ضدعفونی شده می توان بر خطرات این گاز غلبه کرد.

روش جستجو: به‌منظور انجام این مطالعه مروری، مطالعات انجام‌شده در زمینه غیرفعال‌سازی ویروس‌های منتقله از راه هوا به‌وسیله ازون گازی مورد بررسی قرار گرفت. برای جستجو از لغات کلیدی مانند ازون، ویروس و هوا در پایگاه‌های اطلاعاتی PUBMED و Scopus استفاده شد. جستجوی مقالات از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ صورت گرفت. در نتیجه جستجو تعداد ۵۷ مقاله در این زمینه انتخاب گردید و از محتوا و نتایج آنها در این مطالعه مروری به‌کار رفت.

ویروس‌های منتقله از هوا: ویروس‌ها انگل‌های اجباری هستند که نمی‌توانند خارج از سلول‌های میزبان تکثیر یابند و اندازه آنها از ۲۰ تا ۳۰۰ nm است.[۲۷] آنها ابتدا باید مواد ژنومی خود را به سلول میزبان منتقل کنند و از امکانات سلولی برای تکثیر ژنوم خود و تولید پروتیین استفاده کنند.[۲۷] ویروس‌ها به روش‌های مختلفی منتقل می‌شوند که شامل ناقل و ذرات می‌باشد. انتقال توسط ذرات می‌تواند شامل انتقال تنفسی توسط قطرات و آئروسل باشد.[۱۰] در خارج از میزبان خود، ویروس‌ها به هیچ غذایی احتیاج ندارند، این باعث می‌شود آنها بسیار پایدار باشند و بتوانند برای مدت طولانی پیش از آلوده شدن میزبان جدید زنده بمانند. آنها افزون‌بر نیاز به سلول میزبان خاص خود، باید در دمای مطلوب نیز باشند که برای اکثر ویروس‌های بیماری‌زا همان دمای بدن انسان است.[۲۷] ویروس‌ها را می‌توان به سادگی توسط یک ژنوم حاوی RNA یا DNA نشان داد، که توسط یک کپسید پروتیین احاطه شده و گاهی اوقات توسط غشای لیپیدی پوشانده شده است (به‌عنوان مثال ویروس‌های آنفلوانزا یا COVID-19).[۲۷] تخمین زده می‌شود که ویروس‌ها مسئول ۶۰٪ کل بیماری‌ها هستند، از یک سرفه ساده گرفته تا یک بیماری جدی مانند ایدز یا ابولا. آنها همچنین مسئول بیماری‌های جدی انسانی مانند اپیدمی آبله که باعث کشته شدن ۵۰۰–۳۰۰ میلیون نفر در قرن بیستم شد، یا اپیدمی آنفلوآنزا در اوایل قرن بیستم که مسئول بیش از ۵۰ میلیون مرگ‌ومیر شد.[۲۷] ویروس‌های انسانی اغلب بین افراد از طریق انتقال عمودی (از مادر به فرزند)، از طریق انتقال افقی (از شخصی به شخص دیگر) از طریق تبادل مایعات بدن (به‌عنوان مثال HIV، ویروس هپاتیت C) یا از طریق تنفس آئروسل یا قطرات دفع شده از بدن افراد آلوده (به‌عنوان مثال ویروس‌های کرونا، ویروس آنفلوانزا، رینوویروس‌ها) منتقل می‌شوند. برای جلوگیری از این انتقال، یا باید موانعی ایجاد کرد که از نفوذ ویروس‌ها جلوگیری کند و یا ویروس‌ها را از فضاها یا سطوح از بین برد.[۲۷] انتقال ویروس‌های عفونی از طریق هوا با این واقعیت که نفس بازدم افراد با علایم آنفولانزا حاوی مقادیر زیادی ویروس آنفلوانزا است، تقویت می‌شود.[۳۶] در حال حاضر، COVID-19 با تقریباً یک میلیون مورد تایید شده، یک بیماری همه‌گیر است که باعث ایجاد اختلالات عمده در تقریباً همه جنبه‌های زندگی روزمره در سراسر جهان شده است. این بیماری در اثر سندرم شدید تنفسی حاد کرونا ویروس ۲ (SARS-CoV-2) ایجاد می‌شود که اولین بار در ووهان چین شناسایی شد. ویروس از طریق آنزیم ۲ مبدل آنژیوتانسین (ACE2) وارد سلول‌های انسانی می‌شود. این آنزیم یک پروتیین غشایی است که نقطه ورود ویروس‌های کرونا در ریه‌ها، قلب، کلیه‌ها و روده‌ها است و وظیفه تنظیم فشارخون را بر عهده دارد. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (WHO)، SARS-CoV-2 حداقل ۱۴ روز دوره انکوباسیون دارد.[۳۵] مشخص شده است که SARS-CoV-2 در مقایسه با SARS-CoV به‌طور بسیار کارآمدتری از ACE2 استفاده می‌کند که ممکن است دلیل واگیردار بودن بیماری را توضیح دهد.[۴۳] ذرات بزرگ معمولاً مسافت کمتری را طی می‌کنند. آئروسل‌های با اندازه کوچکتر به‌طور معمول می‌توانند برای مدت زمان طولانی‌تری در هوا بمانند و سپس در مسافت‌های طولانی حرکت کنند. همچنین آئروسل‌ها می‌توانند پس از مدت زمان طولانی ته‌نشین شده و منجر به آلودگی سطحی شوند. معلق شدن مجدد

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

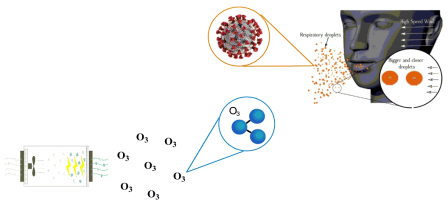
آئروسل‌ها از سطوح آلوده نیز ممکن است باعث گسترش بیشتر عوامل بیماری‌زا شود.[٤١] عفونت‌های به‌دست آمده در محیط بیمارستان یکی از نگرانی‌های عمده بیماران، کارمندان و عیادت‌کنندگان است. این عفونت‌ها مسئول بستری شدن طولانی‌تر در بیمارستان، افزایش هزینه‌ها و حتی مرگ بیمار هستند.

گندزدایی هوا به‌وسیله گاز ازون: حضور ویروس‌ها در فضاهای بسته منجر به افزایش نیاز به ضدعفونی در اتاق بیماران و سایر مناطق آلوده می‌شود. برای جلوگیری از شیوع بیماری‌های ویروسی، اقدامات مناسب برای هر مسیر انتقالی ممکن است لازم باشد. یکی از این مسیرها انتقال به‌وسیله قطرات است که شامل انتقال از طریق قطرات ناشی از عطسه یا سرفه می‌باشد.[٤٤] انتقال از طریق تماس به‌وسیله تماس با ویروس‌هایی که بر روی سطح پوست دست و انگشتان یا اشیای مختلف وجود دارند رخ می‌دهد. اگرچه در این راه انتقال تعداد کمی ویروس در هوا منتشر می‌شود.[٢٢] بر این اساس، فیلتر کردن این ویروس‌ها از هوا یا خارج کردن آنها از اتاق با استفاده از دستگاه تصفیه هوا دشوار است. افزون‌براین، تأیید شده است که ویروس‌های آنفلوانزا که به سطح ماده می‌چسبند، حتی ٢٤ ساعت پس از اتصال به سطوح می‌توانند عفونت‌زایی خود را حفظ کنند. بنابراین اقدامات پیشگیرانه موثر لازم است.[٢٢] غیرفعال‌سازی موثر ویروس‌های موجود در هوا با روش‌های مختلف ضدعفونی در فضاهای داخلی، نقش مهمی در کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های عفونی از انسان به انسان دارد.[٤٥] حداقل کاهش استاندارد برای ویروس‌های USEPA برای تصفیه آب، کاهش چهار لوگ است که به معنی غیرفعال‌سازی ۹۹/۹۹٪ ویروس‌ها است.[٣٦] استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده روش استاندارد در غیرفعال‌سازی عوامل بیماری‌زای موجود در هوای داخلی است. در بسیاری از بیمارستان‌ها برای این منظور از روش تدخینی به‌وسیله فرمالدیید، اسید پراستیک یا کلرهگزیدین (Formaldehyde, Peracetic acid or Chlorhexidine) استفاده می‌شود.[٤٠] اخیراً، از فرمولاسیون اکسید هیدروژن طرفداری شده است، اگرچه هنوز تأثیر این عوامل در کاهش انتقال عفونت در بیمارستان‌ها مشخص نیست. چنین روش‌هایی دارای معایبی از جمله هزینه بر بودن، مشکلات کاربرد آن، امکان استنشاق بخارات ضدعفونی‌کننده توسط کارکنان بیمارستان، ایجاد لکه در سطوح شیشه‌ای و بوی نامطبوع ضدعفونی‌کننده پس از آلودگی است.[٣٠] در سال‌های اخیر، استفاده از مواد ضدعفونی‌کننده گازی به‌منظور غیرفعال‌سازی ویروس‌ها از سطوح و هوا مطرح شده است. در میان ضدعفونی‌کننده‌های گازی مانند ازون، دی اکسید کلر (ClO_2) و پلاسمای سرد، ازون یک اکسیدان قوی برای گندزدایی هوا بوده است.[٤٦] گاز ازون می‌تواند یک گزینه مناسب برای اهداف ضدویروسی باشد، زیرا می‌تواند در تمام فضاهای اتاق نفوذ کند.[٤٦] انتشار ازون به خارج از اتاق نیز قابل کنترل است. بنابراین، به‌عنوان یک ماده ضدعفونی کننده، ازون گازی دارای مزایای بالقوه نسبت به عوامل آزادکننده کلر و سایر مواد ضدعفونی‌کننده است.[٣٠] ازون به‌دلیل داشتن نیمه عمر کوتاه، سمی بودن و واکنش‌پذیری بالا، باید در محل استفاده تولید شود. به‌ویژه در مکان‌هایی که مواد دارای پیوندهای دوگانه کربن-کربن و ساختارهای معطر فعال می‌باشند. ازون واکنش‌پذیری کمتری با اسیدهای چرب و کربوهیدرات‌ها دارد، درحالی‌که با پروتیین‌ها، آمین‌ها، اسیدهای آمینه، اسیدهای نوکلئیک و گروه‌های عاملی پروتیینی واکنش سریع‌تری نشان می‌دهد.[٤٦] از آنجا که این گاز می‌تواند به تمام قسمت‌های اتاق نفوذ کند، بسیار کارآمدتر از اسپری‌های مایع است.[٢٨] از معایب کاربرد گاز ازون جهت گندزدایی، واکنش‌پذیری آن با برخی مواد مانند لاستیک طبیعی و سمیت بالقوه آن برای انسان است.[٤٧] اطمینان از بسته شدن موقت اتاق در هنگام گندزدایی به‌منظور جلوگیری از نشت این گاز به محیط، خطرات این گاز برای افراد در معرض را کاهش می‌دهد.[٢٨] در صورت لزوم، مواد حساس را می‌توان به‌طور موقت پوشانده یا از محل خارج کرد. افزون‌براین، پس از عمل گندزدایی می‌توان با استفاده از مبدل کاتالیزوری گاز ازون را با سرعت بیشتری حذف کرد. این عمل در طی چند دقیقه انجام می‌شود که در آن ازون گازی به مولکول‌های اکسیژن تجزیه می‌شوند.[٤٧]

غیرفعال‌سازی ویروس به‌وسیله گاز ازون: اصطلاح ضدعفونی بیشتر برای عوامل زنده مانند باکتری‌ها استفاده می‌شود، اما غیرفعال‌سازی برای عوامل بیماری‌زا که زنده نیستند مانند ویروس‌ها به‌کار می‌رود. همچنین، در روند غیرفعال‌سازی، عامل زنده یا غیرزنده ممکن است برای مدت کوتاهی غیرفعال باشد و دوباره فعال و قدرت بیماری‌زایی خود را به‌دست آورند.[٤٨] اولین کاربرد ازون به‌عنوان ضدعفونی کننده در فرانسه در سال ١٨٨٦ انجام شد.[٤٩] گاز ازون به‌دلیل توانایی‌اش در اکسید کردن مواد و از بین بردن

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

میکروارگانیسم‌ها، به‌طور گسترده‌ای برای ضدعفونی کردن هوا، تصفیه آب و از بین بردن بو به‌کار رفته است.[۵۰] غیرفعال‌سازی ویروس COVID-19 انتشار یافته در هوا به‌وسیله گاز ازون در شکل ۱ نشان داده شده است. مکانیسم‌های مختلفی در اثربخشی عمل ضدعفونی به‌وسیله ازون دخیل هستند. در رابطه با ضدعفونی کردن ویروس‌ها، ازون با قطع ارتباط ویروس و سلول چرخه تولیدمثل را می‌شکند و از طریق فرآیند پراکسیداسیون، به کپسید ویروس‌ها آسیب می‌رساند.[۵۰] ازون زنی یک روش قابل اعتماد برای کاهش غلظت ویروس‌ها در هوا است.[۵۱] گاز ازون به‌عنوان یک عامل ضدویروسی کاربردی، مزایای مختلفی دارد. این گاز می‌تواند به‌طور موثر به هر قسمت از اتاق نفوذ کند، از جمله مکان‌هایی که دسترسی به مایعات ضدعفونی‌کننده معمول و روش‌های تمیز کردن دستی را دشوار می‌کند.[۳۹] گفته شده است که ویروس‌های کرونا تا ۹ روز بر روی سطوح باقی می‌مانند و با ضدعفونی‌کننده‌های بر پایه خاصیت اکسیدکنندگی به‌سرعت غیرفعال می‌شوند. به‌تازگی گزارش شده است که ازون گازی قادر به غیرفعال کردن ویروس‌های کرونا است.[۳۰] Hudson با موفقیت گاز ازون را در شرایط آزمایشگاهی و میدانی در برابر ۱۲ ویروس، به‌طور عمده عوامل بیماری‌زای انسانی، آزمایش کرد. وی نشان داد که ازون قادر به غیرفعال کردن سه لوگ ویروس به‌ویژه ویروس‌های عفونی در ادارات و هتل‌ها بود.[۴۷] مکانیسم‌های احتمالی عملکرد ضد ویروسی ازون شامل دناتوراسیون ویروس، تشکیل پروکساید لیپید و پروکساید پروتیین است.[۳۲] ویروس‌های کرونا، از جمله ویروس COVID-19، سرشار از سیستیین هستند. سیستیین یک آمینواسید حامل یک گروه عاملی سولفیدریل است که به آن گروه "تیول" نیز گفته می‌شود. سیستیین در برابر اکسیداسیون برای تبدیل شدن به دی‌سولفید بسیار آسیب‌پذیر است و ساختار سه بعدی آنها را تغییر می‌یابد. ازون می‌تواند گروه‌های عاملی سولفیدریل را به محض تماس اکسید کند.[۵۲] Karlberg و همکارانش دریافتند که سایتومگالوویروس در صورت اکسید شدن گروه‌های تیول، قدرت عفونت‌زایی‌اش را از دست می‌دهد. احیای مجدد تیول‌های اکسیدشده ویروس را قادر می‌سازد تا ٦٥٪ قدرت عفونت‌زایی خود را به‌دست آورد.[۵۳] Rowen در مطالعه‌ای نشان داد که ویروس HIV با گروه‌های سولفیدریل احیا شده به‌منظور عفونت‌زایی و همچنین ورود ویروس ابولا به داخل سلول در ارتباط است.[۳۸] مانند ویروس ابولا، ساختار ویروس COVID-19 نیز مناطقی غنی از سیستیین دارد که شامل پروتیین‌های پوششی است.[۵۴] همچنین، پروتیین‌های موجود در پوشش کروناویروس‌ها نیز سرشار از تریپتوفان است که در مقابل حساسیت به اکسیداسیون پس از سیستیین قرار دارد.[۵۵] گروه‌های تیول در کروناویروس‌ها و ویروس‌های دیگر خوشبختانه بر خلاف سلول‌های زنده مکانیسم خود ترمیمی ندارند. ازون به راحتی روی اسیدهای چرب غیراشباع که در پوشش ویروس‌ها وجود دارد، عمل می‌کند.[۴۲] در هوا با زمان تماس کوتاه، آسیب‌پذیری ویروس در برابر ازون می‌تواند به نوع ساختار کپسید ویروس و یا پوشش‌دار بودن یا نبودن آن مرتبط باشد. کپسید ویروس می‌تواند از غیرفعال شدن توسط ازون جلوگیری کند و همچنین از ویروس‌های پوشش‌دار که حساسیت بیشتری به ازون دارند محافظت کند.[۵۶] Tanaka و همکارانش ویروس‌های آنفلوانزا، ویروس هرپس، آدنوویروس و ویروس استوماتیت وزیکولار را در تماس با غلظت‌های مختلف ازون در گستره ppm ۱۵۰۰ تا ۸۰۰ قرار داد و نتایج مطالعه آنها نشان داد که ازون در غیرفعال کردن طیف وسیعی از ویروس‌ها موثر است.[۲۲] همچنین آنها مطالعه دیگری در زمینه غیرفعال‌سازی ویروس‌ها توسط ازون انجام دادند و از مطالعه خود نتیجه‌گیری کردند که ۱- هنگامی که غلظت ازون ppm ۰ بود، ویروس آنفلوانزا که بر روی حامل‌هایی خشک شده بود، حتی پس از ۱۰ ساعت نیز قدرت عفونت‌زایی خود را حفظ کرده بود ۲- هنگامی که غلظت ازون بین ۱۰ تا ppm ۲۰ بود، با گذشت زمان، عفونت‌زایی ویروس آنفلوانزا به‌صورت لگاریتمی کاهش یافت ۳- هنگامی که غلظت گاز ازون ppm ۲۰ بود، ۹۹/۹۹٪ ویروس‌های آنفلوانزا پس از ۲/۵ ساعت تماس غیرفعال شدند و ٤- هنگامی که غلظت ازون ppm ۱۰ بود، کمتر از ۹۹/۹۹٪ ویروس‌ها پس از ۳/۵ ساعت تماس غیرفعال شدند.[۲۲] در مقایسه با ویروس‌های



شکل ۱: غیرفعال‌سازی ویروس COVID-19 انتشار یافته در هوا به‌وسیله گاز ازون

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

بدون پوشش، ویروس‌های پوشش‌دار نسبت به مواد اکسیدکننده مثل ازون حساسیت بیشتری دارند.[۱۰] زیرا ویروس‌ها به منظور آلوده کردن سلول‌های میزبان به یک پوشش چربی دست نخورده نیاز دارند و این پوشش اگر به‌وسیله عوامل شیمیایی و فیزیکی آسیب ببیند قدرت عفونت‌زایی و بیماری‌زایی خود را از دست می‌دهد.[۳۷] حد مجاز توصیه شده توسط موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) برای ازون ppm ۰/۱ تعیین شده است و نباید غلظت ازون در هوا از این فراتر برود.[۵۷] غلظت‌های بالاتر از این مقدار برای انسان مضر است و اگر غلظت ازون در هوا بالاتر از این مقدار تعیین شده باشد، بیماران و کارکنان نباید در هنگام ضد عفونی هوا در محل حضور داشته باشند.[۴۱] افزون‌براین، برای ارزیابی امکان نشت احتمالی ازون در محل پس از بسته شدن درب اتاق موردنظر و در حال ضدعفونی باید غلظت ازون در هوا شناسایی و تعیین شود. همچنین می‌توان از تخریب‌کننده‌های ازون (روش‌های کاتالیستی یا حرارتی) به‌منظور حذف ازون اضاف و نشت یافته در هنگام انجام عمل ازون زنی استفاده کرد.

ویروس‌هایی که دارای همه‌گیری هستند از جمله آنفلوانزا و در حال حاضر COVID-19 می‌توانند برای مدت طولانی در هوا زنده بمانند و برای اطمینان از پیشگیری و کنترل موثر عفونت، سطوح و هوا ممکن است به تمیز کردن و ضدعفونی پیشرفته نیاز داشته باشند. به‌دلیل افزایش میزان آئروسل‌های حاوی ویروس، می‌توان به‌طور بالقوه ازون گازی را یک روش امیدوار کننده برای غیرفعال‌سازی ویروس‌های منتقل شده از هوا دانست. نتایج مطالعه مروری حاضر نشان داد که استفاده از گاز ازون کاربردهای بالقوه بسیاری در غیرفعال‌سازی ویروس‌ها در فضای آلوده دارد. ازون با قطع ارتباط ویروس و سلول میزبان از طریق فرآیند پراکسیداسیون، به کپسید ویروس آسیب می‌رساند و چرخه تولیدمثل را می‌شکند. افزون‌براین، کروناویروس‌ها مانند ویروس COVID-19، دارای اسیدهای آمینه سیستیین و تریپتوفان هستند و این گروه‌ها در برابر اکسیداسیون ازون بسیار واکنش‌پذیر هستند. به‌طورکلی، مطالعه ما استفاده از گاز ازون به‌عنوان ضدعفونی کننده را برای مقابله با شیوع COVID-19 نشان داد.

سپاسگزاری: این مقاله حاصل طرح تحقیقات تحت عنوان "ارزیابی تاثیر ازون گازی در غیرفعال سازی ویروس‌های منتقله از هوا در فضاهای داخلی- مطالعه مروری" مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران در سال ۱۳۹۹ به کد ۹۹-۲-۹۹-۴۸۳۷۷ می باشد که با حمایت مرکز پژوهش‌های علمی دانشجویان (SSRC)، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران اجرا شده است.

References

1. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environ Int* 2020;139:105730.
2. Borujeni ET, Yaghmaian K, Naddafi K, Hassanvand MS, Naderi M. Identification and determination of the volatile organics of third-hand smoke from different cigarettes and clothing fabrics. *J Environ Health Sci Eng* 2022:1-11.
3. Mehrizi E, Biglari H, Amiri R, Baneshi M, Mobini M, Ebrahimzadeh G, et al. Determine the important heavy metals in air dust of zahedan, Iran. *Pollut Res* 2017;36:474-80.
4. Pan M, Lednicky JA, Wu CY. Collection, particle sizing and detection of airborne viruses. *J Appl Microbiol* 2019;127(6):1596-611.
5. Pyankov OV, Bodnev SA, Pyankova OG, Agranovski IE. Survival of aerosolized coronavirus in the ambient air. *J Aerosol Sci* 2018;115:158-63.
6. Coleman KK, Sigler WV. Airborne Influenza A Virus Exposure in an Elementary School. *Sci Rep* 2020;10(1):1-7.
7. Moradi M, Alimohammadi M, Naderi M. Measurement of total amount of volatile organic compounds in fresh and indoor air in four kindergartens in Ahvaz City. *ISMJ* 2016;19(5):871-6.
8. Anchordoqui LA, Chudnovsky EM. A physicist view of the airborne infection. 2020.
9. Asadi S, Bouvier N, Wexler AS, Ristenpart WD. The coronavirus pandemic and aerosols: Does COVID-19 transmit via expiratory particles? *Aerosol Sci Technol* 2020;0(0):1-4.
10. Tseng C-C, Li C-S. Ozone for inactivation of aerosolized bacteriophages. *Aerosol Sci Technol* 2006;40(9):683-9.
11. Kampf G. Efficacy of ethanol against viruses in hand disinfection. *J Hosp Infect* 2018;98(4):331-338.
12. Kutter JS, Spronken MI, Fraaij PL, Fouchier RA, Herfst S. Transmission routes of respiratory viruses among humans. *Curr Opin Virol* 2018;28:142-51.
13. Turgeon N, Toulouse MJ, Ho J, Li D, Duchaine C. Neuraminidase as an enzymatic marker for detecting airborne Influenza virus and other viruses. *Can J Microbiol* 2017;63(2):119-28.
14. Lindsley WG, Blachere FM, Beezhold DH, Thewlis RE, Noorbakhsh B, Othumpangat S, et al. Viable influenza A virus in airborne particles expelled during coughs versus exhalations. *Influenza Other Respir Viruses* 2016;10(5):404-13.
15. Xie C, Lau EHY, Yoshida T, Yu H, Wang X, Wu H, et al. Detection of Influenza and Other Respiratory Viruses in Air Sampled From a University Campus: A Longitudinal Study. *Clin Infect Dis* 2020;70(5):850-8.
16. Otter JA, Donskey C, Yezli S, Douthwaite S, Goldenberg SD, Weber DJ. Transmission of SARS and MERS coronaviruses and influenza virus in healthcare settings: the possible role of dry surface contamination. *J Hosp Infect* 2016;92(3):235-50.
17. Ianiro G, Mullish BH, Kelly CR, Sokol H, Kassam Z, Ng SC, et al. Screening of faecal microbiota transplant donors during the COVID-19 outbreak: suggestions for urgent updates from an

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

international expert panel. *Lancet Gastroenterol Hepatol* 2020;5(5):430-2.
18. Kampf G, Todt D, Pfaender S, Steinmann E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and its inactivation with biocidal agents. *J Hosp Infect* 2020;104(3):246-51.
19. Leung WWF, Sun Q. Electrostatic Charged Nanofiber Filter for Filtering Airborne Novel Coronavirus (COVID-19) and Nano-aerosols. *Sep Purif Technol* 2020;250:116886.
20. Bahl P, Doolan C, De Silva C, Chughtai AA, Bourouiba L, MacIntyre CR. Airborne or droplet precautions for health workers treating coronavirus disease 2019? *J Infect Dis* 2020.
21. Moat J, Cargill J, Shone J, Upton M. Application of a novel decontamination process using gaseous ozone. *Can J Microbiol* 2009;55(8):928-33.
22. Tanaka H, Sakurai M, Ishii K, Matsuzawa Y. Inactivation of influenza virus by ozone gas. *IHI Engr Rev* 2009;42:108-11.
23. Pekovic DD, Kacimi H. Efficacy of Ozone Gas against Mumps Virus under Experimental Environment Condi-tions. *EC Microbiol* 2015;1(4):184-9.
24. Naderi M, Nasseri S. Optimization of free chlorine, electric and current efficiency in an electrochemical reactor for water disinfection purposes by RSM. *J Environ Health Sci Eng* 2020;18(2):1343-50.
25. Gholami S, Naderi M, Yousefi M, Arjmand MM. The electrochemical removal of bacteria from drinking water. *Desalin Water Treat* 2019;160:110-5.
26. Gholami S, Naderi M, Moghaddam AM. Investigation of the survival of bacteria under the influence of supporting electrolytes KCl, CuI and NaBr in the electrochemical method. *Mental Health* 2018;4(2):104-11.
27. Sigstam AT. Mechanistic insight into virus disinfection. EPFL; 2014.
28. Hudson JB, Sharma M, Vimalanathan S. Development of a practical method for using ozone gas as a virus decontaminating agent. *Ozone Sci Eng* 2009;31(3):216-23.
29. Alimohammadi M, Naderi M. Effectiveness of Ozone Gas on Airborne Virus Inactivation in Enclosed Spaces: A Review Study. *Ozone Sci Eng* 2021;43(1):21-31.
30. Sharma M, Hudson JB. Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent. *Am J Infect Control* 2008;36(8):559-63.
31. Pascual A, Llorca I, Canut A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. *Trends Food Sci Technol* 2007(18):S29-S35.
32. Turkmen A, Kesici S, Elmali N, Cangir CC, Cakirguz M. Chronic hepatitis B and ozone therapy. *J Case Rep Pract* 2015;3(2):38-9.
33. Garrido Sanchis A, Pashley R, Ninham B. Virus and bacteria inactivation by CO2 bubbles in solution. *NPJ Clean Water* 2019;2(1):1-9.
34. Naderi M, Nasseri S, Mahvi AH, Mesdaghinia A, Naddafi K. Mechanical trajectory control of water mineral impurities in the electrochemical-magnetic reactor. *Desalination Water Treat* 2021;238:67-81.
35. Rowen RJ, Robins H. A Plausible "Penny" Costing Effective Treatment for Corona Virus Ozone Therapy. *J Infect Dis Epidemiol* 2020;6(2):113.
36. Wu G, Selden D, Fooks AR, Banyard A. Inactivation of rabies virus. *J Virol Methods* 2017;243:109-12.
37. Maier I ,Chu T. Use of Ozone for Inactivation of Bacteria and Viruses in Cryostats. *J Cytol Histol* 2016;7(3):1000428.
38. Rowen RJ, Robins H, Carew K, Kamara MM, Jalloh MI. Rapid resolution of hemorrhagic fever (Ebola) in Sierra Leone with ozone therapy. *Afr J Infect Dis* 2016;10(1):49-54.
39. Wolf C. Inactivation of waterborne viruses by ozone: Kinetics and mechanisms. EPFL, 2019.
40. Malav LC, Yadav KK, Gupta N, Kumar S, Sharma GK, Krishnan S, et al. A review on municipal solid waste as a renewable source for waste-to-energy project in India: current practices, challenges, and future opportunities. *J Clean Prod* 2020;277:123227.
41. Dubuis ME, Dumont-Leblond N, Laliberté C, Veillette M, Turgeon N, Jean J, et al. Ozone efficacy for the control of airborne viruses: Bacteriophage and norovirus models. *Plos One* 2020;15(4):e0231164.
42. Gupta G, Mansi B. Ozone therapy in periodontics. *J Med life* 2012;5(1):59.
43. Liao L, Xiao W, Zhao M, Yu X, Wang H, Wang Q, Chu S, Cui Y. Can N95 Respirators Be Reused after Disinfection? How Many Times? *ACS Nano* 2020 26;14(5):6348-56.
44. Andersen BM. Disinfection of rooms and surfaces. Prevention and Control of Infections in Hospitals: Springer; 2019. p. 897-905.
45. Wu Y, Yao M. In situ airborne virus inactivation by microwave irradiation. *Chin Sci Bull* 2014;59(13):1438-45.
46. Martinelli M, Giovannangeli F, Rotunno S, Trombetta CM, Montomoli E. Water and air ozone treatment as an alternative sanitizing technology. *J Prev Med Hyg* 2017;58(1):E48-E52.
47. Hudson J, Sharma M, Petric M. Inactivation of Norovirus by ozone gas in conditions relevant to healthcare. *J Hosp Infect* 2007;66(1):40-5.
48. Nardell EA, Nathavitharana RR. Airborne Spread of SARS-CoV-2 and a Potential Role for Air Disinfection. *JAMA* 2020;324(2):141-2.
49. Zoutman D, Shannon M, Mandel A. Effectiveness of a novel ozone-based system for the rapid high-level disinfection of health care spaces and surfaces. *Am J Infect Control* 2011;39(10):873-9.
50. Wang X. Emerging roles of ozone in skin diseases. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban* 2018;43(2):114-123.
51. Wolf C, Pavese A, von Gunten U, Kohn T. Proxies to monitor the inactivation of viruses by ozone in surface water and wastewater effluent. *Water Res* 2019;166:115088.
52. Viebahn-Hänsler R. The use of ozone in medicine: mechanisms of action; Munich-May 23-25, 2003.
53. Karlberg H, Tan YJ, Mirazimi A. Induction of caspase activation and cleavage of the viral nucleocapsid protein in different cell types during Crimean-Congo hemorrhagic fever virus infection. *J Biol Chem* 2011;286(5):3227-34.
54. Zamora ZB, Borrego A, López OY, Delgado R, González R, Menéndez S, et al. Effects of ozone oxidative preconditioning on TNF-α release and antioxidant-prooxidant intracellular balance in mice during endotoxic shock. *Mediators Inflamm* 2005;2005(1):16-22.
55. Schulz S, Ninke S, Watzer B, Nüsing RM. Ozone induces synthesis of systemic prostacyclin by cyclooxygenase-2 dependent mechanism in vivo. *Biochem Pharmacol* 2012;83(4):506-13.
56. Shin G-A, Sobsey MD. Reduction of Norwalk virus, poliovirus 1, and bacteriophage MS2 by ozone disinfection of water. *Appl Environ Microbiol* 2003;69(7):3975-8.
57. Pottinger TL, Marcham CL. An Analysis of Cabin Ozone Regulations. *Collegiate Aviation Review International* 2018;36(2).

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

TUMJ Tehran University Medical Journal, May 2022; Vol. 80, No. 2: 82-90 Original Article

Effect of ozone on the inactivation of indoor airborne viruses with the COVID-19 virus approach: a systematic review

Maziar Naderi Ph.D.[1,2*]
Gholamreza Ebrahimzadeh Ph.D.[3]
Mahmood Alimohammadi Ph.D.[1,4]
Vida Past M.Sc.[1]

1- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2- Students' Scientific Research Center (SSRC), School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
3- Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Zabol University of Medical Sciences, Zabol, Iran.
4- Center for Water Quality Research (CWQR), Institute for Environmental Research (IER), Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

*Corresponding author: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Poursina St., Ghods St., Enghelab St., Tehran, Iran.
Postal Code: 1417613151
Tel: +98-21-88950188
E-mail: maziar.naderi@gmail.com

Abstract

Received: 09 Nov. 2021 Revised: 16 Nov. 2021 Accepted: 13 Apr. 2022 Available online: 21 Apr. 2022

Background: Nowadays, the COVID-19 pandemic has become a global problem that new methods must be used to prevent it. The virus is highly contagious and is mainly transmitted through the air. Ozone is a powerful oxidant that can be used to inactivate a wide range of viruses that may be resistant to other disinfectants. The purpose of this study was to review the use and effect of ozone in inactivating indoor viruses.

Methods: To conduct this review study, the keywords such as ozone, virus and air were used to search the PubMed and Scopus databases. Articles were searched from 2010 to 2020. As a result of the search, 57 articles in this field were selected and their content and results were used in this review study.

Results: This review study showed that ozone has been successfully used to prevent several viral diseases such as COVED-19. In addition, some viruses, such as coronaviruses, contain sulfhydryl functional groups containing cysteine and tryptophan that react better with ozone gas. The infected person's sneezing may result in the formation of 40,000 droplets in the air. The droplets can be transferred to the nearest surface up to approximately 2 meters before falling and also may remain in the air for 30 hours.

Conclusion: The use of ozone gas has many potential applications in inactivating viruses in enclosed spaces. Given the importance of virus-containing aerosols in the transmission of COVED-19, ozone can be a promising way to prevent the disease. The degree of inactivation of viruses by ozone gas depends on the gas concentration, contact time, temperature, humidity and type of virus. In general, studies in this field have shown the use of ozone gas in preventing the spread of viral diseases such as COVED-19. Necessary safety measures and precautions are also recommended in using this gas.

Keywords: COVED-19, disinfectant, ozone, virus inactivation.

Copyright © 2022 Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]