
AREVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los rayos UVC, una solución práctica y segura para la desinfección de mascarillas N95, que permiten su reutilización durante la pandemia por SARS-Cov2

UVC rays, a practical and safe solution for the disinfection of N95 masks, allowing their reuse during the SARS-Cov2 pandemic.

Ximena Andrea Aguilera Correa¹

¹ Licenciado(a) en Medicina U. de Chile, Interno(a) de Medicina.

RESUMEN

Introducción: La pandemia por SARS-CoV-2 ha llevado a la necesidad de reutilizar mascarillas N95, esenciales en la protección de profesionales de la salud en la atención durante procedimientos generadores de aerosoles y análisis de laboratorio de muestras respiratorias de pacientes infectados por COVID-19.

Objetivos: El objetivo de esta revisión fue conocer la efectividad de la desinfección con rayos Ultravioleta tipo C (UVC) de las mascarillas N°95 infectadas con SARS-CoV-2, considerando su capacidad germicida y sus efectos sobre el material, y dilucidar qué características debería tener un prototipo de máquina desinfectante mediante rayos UVC que permita la reutilización de las mascarillas.

Metodología: Se buscaron en Pub-Med las palabras claves y se revisaron aquellos artículos de los últimos 5 años. Se seleccionaron aquellos que abordaban la capacidad germicida de los rayos UVC, así como de la distancia, e intensidad de la radiación efectiva para lograr una desinfección, y de sus efectos sobre el material de las mascarillas N°95.

Desarrollo: Los rayos UVC tienen una capacidad germicida del 99,9% de los microorganismos, siendo lábil toda la familia de coronavirus. La efectividad de la desinfección varía dependiendo de la distancia de la fuente de luz y del tiempo de exposición a esta.

Conclusión: Un prototipo de máquina que emite luz UVC para la desinfección de mascarillas N°95 es una alternativa viable y segura para la reutilización de estas hasta 5 veces.

PALABRAS CLAVE: Rayos UVC, COVID-19, SARS-Cov2, mascarillas N°95

ABSTRACT

Introduction: The SARS-CoV2 Pandemic has led to the need to reuse N95 masks, essential in the protection of health professionals in care during Aerosol-generating Procedures and laboratory analysis of respiratory samples from patients infected with COVID-19.

Objectives: The objective of this review was to know the effectiveness of disinfection with UV rays type C of the masks N°95 infected with COVID-19, considering their germicidal capacity and their effects on the material, and to elucidate what characteristics a prototype of a UVC disinfection machine should have that allows the reuse of masks.

Methodology: The keywords were searched in Pub-Med and those papers from the last 5 years were reviewed. Those that addressed the germicidal capacity of UVC rays, as well as the distance and intensity of the effective radiation to achieve disinfection, and their effects on the material of No. 95 masks were selected.

Development: UVC rays have a germicidal capacity of 99.9% of microorganisms, the entire coronavirus family being labile. The effectiveness of disinfection varies depending on the distance from the light source and the time of exposure to it.

Conclusion: A prototype machine that emits UVC light to disinfect N ° 95 masks is a viable and safe alternative to reuse these up to 5 times.

KEYWORDS: UVC rays, COVID-19, SARS-Cov2, masks No. 95.

INTRODUCCIÓN

La pandemia por SARS-CoV-2 ha modificado de múltiples maneras nuestras vidas. En el ambiente hospitalario el uso de mascarillas N95 por el personal de salud está indicado en procedimientos generadores de aerosoles, y por los tecnólogos médicos de laboratorio en la manipulación de muestras respiratorias de pacientes infectados con SARS-CoV-2 (1). Estos procedimientos corresponden a la intubación, resucitación cardiopulmonar, traqueotomía, ventilación no invasiva, tratamientos nebulizadores, máscaras de oxígeno, cánulas nasales de alto flujo, entre otros (2). También en ventilación manual, broncoscopia, autopsia o cirugía que involucren uso de dispositivos de alta velocidad (3). En nuestro país, Chile, la Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicio de Salud, adquirió 1 millón de mascarillas durante el mes de enero de este año (4). A la fecha, en nuestro país, ya van 330.930 casos COVID-19 confirmados acumulados (5). Considerando que el uso de mascarillas N95 está indicado en más condiciones clínicas que solo pacientes con COVID-19, por ejemplo tuberculosis y sarampión (3) y que hasta ahora estas estaban pensadas para un único uso por parte del personal de salud; el escenario actual ha llevado a la necesidad de replantearse la posibilidad de reutilizar los Elementos de Protección Personal (EPP), especialmente las mascarillas N95, haciendo que profesionales de todo el mundo, entre ellos ingenieros, estén desarrollando métodos para reutilizarlas en los centros asistenciales, con procesos estandarizados, y sin comprometer la calidad de los materiales para la función que originalmente fueron diseñados (6). La capacidad de desinfectar las mascarillas N95 es urgente porque los suministros están disminuyendo en todo el mundo (7). Por ello el objetivo de esta revisión es conocer la efectividad de la desinfección con rayos Ultravioleta tipo C de las mascarillas N^o95 infectadas con COVID-19, considerando su capacidad germicida y sus efectos sobre el material, para dilucidar qué características debería tener un prototipo que permita su reutilización.

DESARROLLO

Dentro de los métodos de descontaminación para mascarillas N95 destacan los rayos Ultravioleta C (UVC), el vapor de peróxido de hidrógeno (VHP), el calor húmedo (8); el autoclave estándar, sistema de nebulización en seco de ácido peracético, óxido de etileno, entre otros (9).

Los rayos UVC tienen una eficacia antimicrobiana del 99,9% (10).

Aunque dependiendo de las características de cada microorganismo, el tiempo de exposición necesario para

eliminarlo puede variar desde 10 a 30 minutos (11). Eliminan con efectividad varios de los microorganismos que se transmiten habitualmente en el ambiente intrahospitalario. Las bacterias más susceptibles a este tratamiento son *Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecium* resistente a Vancomicina, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus Aureus* Meticilino Resistente (SAMR), y *Escherichia coli* (12). Pero también es efectivo para las *E. coli* productoras de Beta Lactamasa de espectro extendido, y *Mycobacterium tuberculosis* (11). Sin embargo, las bacterias formadoras de esporas como *Bacillus subtilis*, *Clostridioides difficile*, y los hongos levaduriformes como *Candida albicans*, son resistentes a los rayos UVC (12). Los virus por su parte, DNA monohebra sin envoltura, RNA doble hebra con envoltura y RNA de hebra simple sin envoltura tienen una susceptibilidad media a los rayos UVC, ordenados de mayor a menor respectivamente (12). Aunque más bien, sería el tamaño del genoma viral el principal determinante de la sensibilidad a la radiación (13).

Los rayos UVC tienen la capacidad de eliminar no solamente microorganismos desde las superficies como el SAMR (14), si no también los virus transmitidos por aerosoles durante un estornudo como el virus Influenza tipo A. Este antecedente aumentó el estudio de la capacidad de desinfección de los rayos UVC de virus respiratorios con ahínco desde la pandemia por Influenza H1N1 (14). Y también analizado en otros virus Influenza como H3N2 (11). A partir de ese mismo modelo de estudio se evaluó la capacidad de los rayos UVC para inactivar los alfa coronavirus 229E y beta coronavirus OC43 aerosolizados, y se encontró que bajas dosis de rayos UVC 1.7 and 1.2 mJ/cm² inactivaron en un 99.9% estos virus; y que una exposición a 3 mJ/cm²/hour permite la inactivación viral en aproximadamente 25 minutos (13). Estos resultados muestran en la actualidad que la utilización de rayos UVC sería un método de desinfección para coronavirus (10). Esta conclusión se basa en que todos los coronavirus tienen una estructura y una longitud de su genoma RNA similar (16). Por lo que se espera que dosis similares de rayos UVC inactiven eficientemente a SARS-CoV-2 (13). El sustento molecular de esta inactivación se basa en que los fotones de rayos UV generan la formación de dímeros de Pirimidina como el Uracilo en la estructura del RNA de los virus, lo que afecta la replicación del genoma viral (16). Y, aún cuando el virus SARS-CoV-2 podría sufrir mutaciones a futuro, la estructura básica continuaría siendo sensible a los rayos UVC (16).

Por otro lado, es importante establecer que no solo se logran inactivar los microorganismos si no también que el elemento protector sometido a esta descontaminación mantenga su calidad para ser reutilizado. Una revisión sistemática comprobó que los parámetros de penetración de aerosoles y filtración de flujo de aire en las mascarillas N95 se mantenían después de un ciclo de desinfección, demostrando a su vez que no hubieron grandes cambios en la apariencia física de las mascarillas ni de su olor luego de la exposición a rayos UVC. Sin embargo, había variaciones en los resultados dependiendo de la cantidad de ciclos para cada modelo de máscara, llegando a la conclusión de que 5 ciclos de descontaminación y reutilización con estándares de calidad parecían posibles (17). Si bien la cantidad de ciclos totales de desinfección que soporta una mascarilla sin perjudicar su integridad funcional y estructural con rayos UVC es menor que con VHP (9), 5 versus 30 respectivamente, el proceso en total es mucho más rápido de llevar a cabo (15-30 minutos dependiendo de la potencia de la luz UVC versus 5 horas en el VHP), y no implica riesgos posteriores de intoxicación para el personal de salud, a diferencia del VHP que requiere una prolongada aereación para asegurar que la mascarilla no contenga gases tóxicos para la salud de las personas lo que ralentiza el proceso. Adicionalmente los rayos UVC han sido el método más ampliamente probado en diferentes modelos de mascarilla N95 por los Centros de Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de Estados Unidos (EEUU) (10).

Existen diferentes diseños de máquinas que pueden entregar rayos UVC para la desinfección de EPP, por ejemplo, los rayos UVC como método de desinfección son ampliamente utilizados en las campanas de bioseguridad antes de realizar cualquier experimento de laboratorio, tal como se ilustra en la figura N°1 A. La Universidad de Cleveland en EEUU estudió el proceso de esterilización de elementos de protección personal, en especial, las mascarillas N95, en campanas de bioseguridad, por estar estas ampliamente distribuidas en hospitales y campus clínicos; sugiriendo dosis de irradiación ideales, y distancia de la fuente de luz para una efectiva desinfección, siendo esta mayor a 1 Jcm^{-2} , a una distancia de 19 cm; este proceso sugiere dejar las mascarillas a lo menos 20 minutos por lado, lo que implica que el personal capacitado debe interferir en el proceso para girarlas (19); un dibujo de la máquina utilizada se presenta en la Figura N°1 B.

Al respecto, es importante mencionar que la distancia desde la fuente emisora de luz UVC a las mascarillas N95 pueden afectar la capacidad germicida sobre las mismas (19). En un estudio de Ohio, señalaron que para entregar la misma dosis de Cleveland, se requiere de 1 minuto y 40 segundos, si las mascarillas se ubican a 14 cm de la fuente de luz, con una irradiancia de 10 mW/cm^2 (7); un dibujo del modelo utilizado se presenta en la Figura N°2.

A su vez, diferentes intensidades de radiación pueden tener diferente capacidad germicida. Es así como en un estudio se evaluó la desinfección con una dosis de $800\text{-}1200 \text{ mJ/cm}^2$ of UV-C, sugiriendo que ciclos de 2 minutos reducirían la carga viral por SARS-CoV-2 en el orden de $>3\text{-log}$ en la superficie, y 2-log en el interior de la mascarilla, lo que es 100 veces menos que la dosis esperada que daña la mascarilla, lo que facilita que puedan realizarse más ciclos de descontaminación (20). Una revisión bibliográfica comparó 34 estudios que sometían a diferentes tipos de coronavirus a dosis similares de radiación ultravioleta, concluyó que la dosis promedio de radiación UVC que se relaciona con la máxima absorción del RNA es 260 nm, siendo el peak de irradiación de la mayoría de las lámparas comercializadas que son en base a vapor de mercurio de baja presión, de 254 nm, valor bastante cercano (16).

Dadas las dosis de radiación mencionadas anteriormente, un estudio de Estados Unidos estimó que la exposición directa a rayos solares al medio día entre 11 a 34 minutos debería tener un efecto similar en inactivar el 90% o más de los SARS-CoV-2 en la mayoría de las ciudades de EEUU y del mundo durante el verano, y que en contraste, el riesgo persistiría durante el invierno (21). Es por esto que modelos de desinfección con rayos UVC desde fuentes artificiales son necesarios.

Por otra parte, es importante saber que independiente de los parámetros anteriores, el grado de desinfección de las mascarillas puede variar dependiendo del modelo de estas y sus componentes (12).

La Universidad de Nebraska, en EEUU, presentó su proceso de desinfección de mascarillas N95 que implicaba la utilización de un prototipo de máquina con ruedas que tiene varias luces UV, las que se reflejan en la pared de una habitación y reinciden en las mascarillas que se cuelgan en cordones que van de pared a pared, y se enganchan con clips, es destacable de este proceso que identificaron cada una de las mascarillas por usuario y por número de ciclos en que habían sido desinfectadas, de manera de asegurar la calidad del filtro de los materiales (22), tal como se visualiza en la Figura N°3.

Modelos mucho más complejos, que desinfectan con rayos UV mediante robots que se desplazan por el suelo, y permiten desinfectar habitaciones hospitalarias, han sido desarrollados en Dinamarca (23). EEUU por su parte ha adquirido modelos similares de otras empresas para la desinfección de la Clínica Mayo (24).

Todo lo anteriormente expuesto demuestra que los rayos UVC representan una solución real para el proceso de desinfección de mascarillas N95, que es altamente replicable, sin perjudicar estructural y funcionalmente los materiales de estas; adicionalmente permitiría reutilizarlas disminuyendo los costos del centro de salud en la compra de EPP. No obstante, se requiere nuevos diseños que permitan un proceso más automatizado, cómodo y seguro para el personal de salud, que solucione algunos de los problemas antes presentados como la distancia entre la luz y la mascarilla, tener que girarlas manualmente, entre otros. Un nuevo diseño de prototipo de máquina de desinfección de mascarillas N95 con rayos UVC fue propuesto por el grupo ganador del premio Santander X de la convocatoria OpenBridge COVID-19 de OpenBeauchef, como se muestra en la figura N°4, este considera una menor distancia entre la fuente de luz y la EPP, permite la incidencia de los rayos por ambas superficies de la mascarilla, y a su vez desinfecta un gran número de las mismas en simultáneo, sin necesitar que un operador las tenga que girar, ni expone al personal que la utiliza a los rayos UVC, ya que está cubierta por una superficie plástica que bloquea el paso de los rayos, siendo una alternativa mucho más segura.

CONCLUSIÓN

Las mascarillas N°95 son un elemento de protección personal utilizado en procedimientos que generan aerosoles y durante la manipulación de muestras del tracto respiratorio para el diagnóstico de la enfermedad por SARS-CoV-2. La pandemia actual ha llevado a aumentar su uso, poniendo en riesgo el agotamiento de los suministros y la necesidad de generar mecanismos seguros de desinfección que permitan su reutilización.

La capacidad germicida de los rayos UVC ha sido ampliamente estudiada, en especial desde la pandemia por H1N1, e implican una excelente solución para la desinfección de las mascarillas. Este método de desinfección es una alternativa de bajo costo, que permite el ahorro de dinero mediante la reutilización de EPP. A su vez, en comparación con otros métodos de desinfección convencionales, implica menos tiempo de exposición a los rayos para la completa desinfección, permitiendo hasta 5 ciclos de limpieza, es decir, hasta 5 reusos de cada mascarilla antes de comprometer la calidad de los materiales.

Los rayos UVC están ampliamente disponibles en aparatos de uso regular en el ámbito hospitalario, y laboratorios, como son las campanas de bioseguridad, así como otros modelos más complejos que han desarrollado industrias del ámbito de la robótica.

No obstante, los modelos específicamente diseñados para la desinfección de mascarillas N°95 serían útiles en el escenario de la pandemia actual por SARS-CoV-2. En este sentido dichos diseños deberían considerar identificar en cada mascarilla los datos de su dueño, número de ciclos de desinfección, ponerlos a una distancia máxima de 14 cm de la fuente de luz, con rayos UVC de 254nm de longitud de onda, a una intensidad mínima de 800-1200 mJ/cm², durante 30 minutos promedio para permitir la inactivación de otros microorganismos aparte de SARS-CoV-2, que las mascarillas se puedan permitir girar de manera automática o bien que la fuente de luz venga de ambos lados, con un máximo de 5 ciclos de desinfección para asegurar el mantenimiento de la calidad del filtro de las mascarillas.

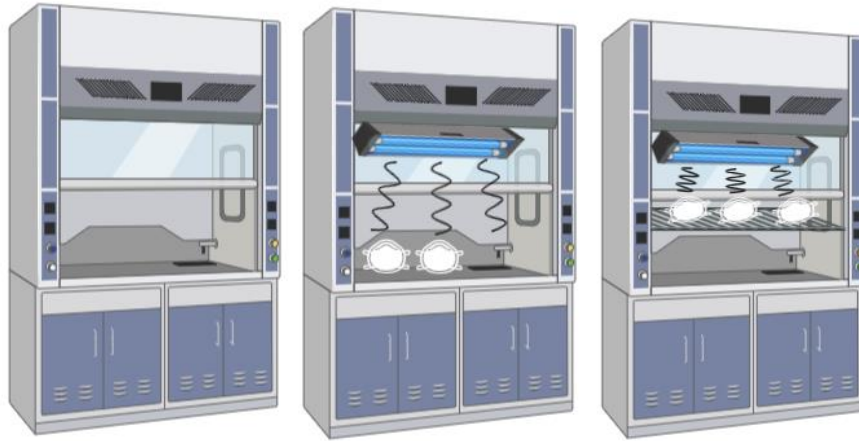


Figura N°1: En la letra A se ve una campana de bioseguridad común. En la letra B se ve cómo se disponen las mascarillas al interior de la campana. En la letra C se ve cómo se acerca a través de una repisa las mascarillas a la fuente de luz UV para favorecer la desinfección de estas.



Figura N°2. Esquematización de prototipo de diseño de desinfección de mascarillas N°95 mediante una mesa y una caja adaptadas para disminuir la distancia entre la fuente emisora de luz UV y la superficie de las mascarillas, este diseño implica que se necesita rotar manualmente las mismas después de un determinado tiempo para permitir que ambas caras o superficies reciban la luz y se desinfecten. Adaptación gráfica desde modelo presentado por Hamzavi et al, 2020.

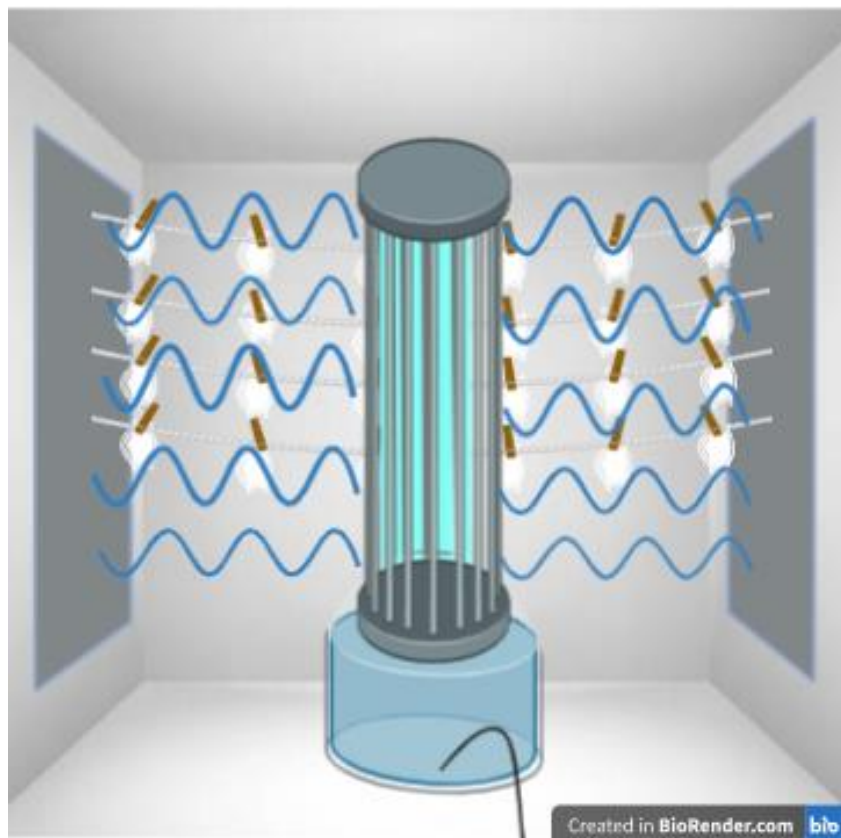


Figura N°3. Esquematización de prototipo de diseño de desinfección de mascarillas N°95 mediante una fuente de luz central que se ubica al interior de una habitación que cuenta con paredes reflectantes, e hilos y ganchos para colgar las mascarillas; el encendido y apagado de la máquina se realiza desde la habitación contigua. Adaptación gráfica desde modelo presentado por Lowe et al, 2020.



Figura N°4. Diseño propuesto por el grupo de estudiantes ganador del premio Santander X para la desinfección de mascarillas N95. En la figura se observa una manilla que permite desplazar una repisa de abajo hacia arriba que en su interior contiene finos alambres para colgar allí las mascarillas N°95; al interior se emite la radiación UV con una distancia mínima entre las mascarillas y la fuente emisora de luz, sin exponer al personal de salud a los rayos UV que se emiten desde la máquina.

Correspondencia

Ximena Andrea Aguilera Correa

ximena.aguilera.correa@gmail.com

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para la realización de este trabajo.

Conflictos de intereses

Esta revisión bibliográfica fue desarrollada para entregar un marco teórico al proyecto de “Diseño de un dispositivo de bajo costo para esterilizar Elementos de Protección Personal” ganador del premio Santander X de la convocatoria OpenBridge COVID-19 de OpenBeauchef, cuyo equipo está conformado por Marcelo Jiménez, Jorge del Río y Pablo Ilabaca, estudiantes de Ingeniería Eléctrica, y Daniel Rojas, estudiante de Ingeniería Industrial. Instancia en la cual me invitaron a colaborar desde la perspectiva de investigación y médica. Se agradece la colaboración de la Bioquímica Dra. Sandra Ampuero, que puso sus amplios conocimientos a disposición del grupo en esta revisión.

Información sobre el artículo

Recibido el 20 de julio de 2020.

Aceptado el 27 de agosto de 2020.

Publicado el 8 de octubre de 2020.

Referencias

1. Azap, A., & ERDİNÇ, F. Ş. (2020). Medical mask or N95 respirator: when and how to use?. *Turkish journal of medical sciences*, 50(SI-1), 633-637.
2. Harding H, Broom A, Broom J. Aerosol generating procedures and infective risk to healthcare workers: SARS-CoV-2-the limits of the evidence. *Journal of Hospital Infection*. 2020 Jun 1.
3. OMS. Enfermedades respiratorias agudas con tendencia epidémica y pandémica-Prevención y control de infección en la atención de la salud. [Online]. Available from: <https://www.who.int/csr/resources/publications/ai-dememoireepidemicpandemid/es/> [Accessed 18 July 2020].
4. Minsal. Autoridades de Salud constatan provisión de elementos de protección personal. [Online]. Available from: <https://www.minsal.cl/autoridades-de-salud-constatan-provision-de-elementos-de-proteccion-personal/> [Accessed 18 July 2020].
5. Minsal. Casos confirmados en Chile COVID-19. [Online]. Available from: <https://www.minsal.cl/nuevo-coronavirus-2019-ncov/casos-confirmados-en-chile-covid-19/> [Accessed 18 July 2020].
6. Mackenzie D. Reuse of N95 masks. *Engineering (Beijing, China)*. 2020 Apr 13.
7. Hamzavi IH, Lyons AB, Kohli I, Narla S, Parks-Miller A, Gelfand JM, Lim HW, Ozog D. Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2020 Apr 1.
8. N95 Decon. COVID-19 N95 DECON & REUSE. [Online]. Available from: https://static1.squarespace.com/static/5e8126f89327941b9453eeef/t/5ef307741b66670d0bd49ae6/1592985461622/200621_N95DECON_cautionsheet_v1-3_final.pdf [Accessed 18 July 2020].
9. Kumar A, Kasloff SB, Leung A, Cutts T, Strong JE, Hills K, Vazquez-Grande G, Rush B, Lother S, Zarychanski R, Krishnan J. N95 mask decontamination using standard hospital sterilization technologies. *medRxiv*. 2020 Jan 1.
10. CDC. Decontamination and Reuse of Filtering Facepiece Respirators. [Online]. Available from: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/ppe-strategy/decontamination-reuse-respirators.html> [Accessed 18 July 2020].
11. Szeto W, Yam WC, Huang H, Leung DY. The efficacy of vacuum-ultraviolet light disinfection of some common environmental pathogens. *BMC Infectious Diseases*. 2020 Dec;20(1):1-9.

12. Cadnum JL, Li DF, Redmond SN, John AR, Pearlmutter B, Donskey CJ. Effectiveness of ultraviolet-C light and a high-level disinfection cabinet for decontamination of N95 respirators. *Pathogens and Immunity*. 2020;5(1):52.
13. Buonanno M, Welch D, Shuryak I, Brenner DJ. Far-UVC light efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses.
14. Welch D, Buonanno M, Shuryak I, Randers-Pehrson G, Spotnitz HM, Brenner DJ. Far-UVC light applications: sterilization of MRSA on a surface and inactivation of aerosolized influenza virus. In *Light-Based Diagnosis and Treatment of Infectious Diseases 2018 Feb 8* (Vol. 10479, p. 104791D). International Society for Optics and Photonics.
15. Welch D, Buonanno M, Grilj V, Shuryak I, Crickmore C, Bigelow AW, Randers-Pehrson G, Johnson GW, Brenner DJ. Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Scientific Reports*. 2018 Feb 9;8(1):1-7.
16. Heßling M, Hönes K, Vatter P, Lingenfelder C. Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation—review and analysis of coronavirus photoinactivation studies. *GMS hygiene and infection control*. 2020;15.
17. O'Hearn K, Gertsman S, Webster R, Tsampalieros A, Ng R, Gibson J, Sampson M, Sikora L, McNally JD. Efficacy and Safety of Disinfectants for Decontamination of N95 and SN95 Filtering Facepiece Respirators: A Systematic Review.
18. Li DF, Cadnum JL, Redmond SN, Jones LD, Donskey CJ. It's not the heat, it's the humidity: Effectiveness of a rice cooker-steamer for decontamination of cloth and surgical face masks and N95 respirators. *American Journal of Infection Control*. 2020 Apr 22.
19. Card KJ, Crozier D, Dhawan A, Dinh M, Dolson E, Farrokhian N, Gopalakrishnan V, Ho E, Jagdish T, King ES, Krishnan N. UV sterilization of personal protective equipment with idle laboratory biosafety cabinets during the Covid-19 pandemic. *medRxiv*. 2020 Jan 1.
20. Huber T, Goldman O, Epstein AE, Stella G, Sakmar TP. Principles and Practice of SARS-CoV-2 Decontamination of N95 Masks with UV-C. *medRxiv*. 2020 Jan 1.
21. Sagripanti JL, Lytle CD. Estimated Inactivation of Coronaviruses by Solar Radiation With Special Reference to COVID-19. *Photochemistry and Photobiology*. 2020 Jun 5.
22. Lowe JJ, Paladino KD, Farke JD, Boulter K, Cawcutt K, Emodi M, Gibbs S, Hankins R, Hinkle L, Micheels T, Schwedhelm S. N95 filtering facepiece respirator ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) process for decontamination and reuse. *Nebraska Medicine*. 2020.
23. UVD Robots. HISTORY. [Online]. Available from: <http://www.uvd-robots.com/about/> [Accessed 18 July 2020].
24. Balzer, D. Mayo Clinic Minute: UV Robots Zapping Hospital Germs. [Online]. Available from: <https://newsnetwork.mayoclinic.org/discussion/mayo-clinic-minute-uv-robots-zapping-hospital-germs/> [Accessed 2020].
25. Li DF, Cadnum JL, Redmond SN, Jones LD, Donskey CJ. It's not the heat, it's the humidity: Effectiveness of a rice cooker-steamer for decontamination of cloth and surgical face masks and N95 respirators. *American Journal of Infection Control*. 2020 Apr 22.