



International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Eclairage
Internationale Beleuchtungskommission

CIE 关于采用紫外辐射管控 COVID-19 传播风险的立场声明

2020 年 5 月 12 日

介绍

冠状病毒病(COVID-19)大流行加速了人们对环境控制的探索，以抑制或减轻导致该疾病的严重急性呼吸综合征冠状病毒 2 型(SARS-CoV-2)的传播。SARS-CoV-2 在通常是通过直接接触大量呼吸道飞沫，或者接触过病毒污染后的表面（又称为污染物）后触摸眼睛、鼻子或嘴巴，从而造成人与人之间传播。值得注意的是，越来越多的证据表明病毒也可通过空气传播，因为大量呼吸飞沫变干后形成的飞沫核可以在空气中停留数小时。根据表面性质和环境因素的不同，污染物可以保持数天的传染性（van Doremalen, 2020）。

使用杀菌紫外辐射（英文: **germicidal UV, GUV**）是一种重要的环境干预措施，既可以减少接触传播，也可以减少传染病原体（如细菌和病毒）通过空气传播。UV-C 范围（200 nm–280 nm）内的 GUV，以 254 nm 为主，已经成功安全地使用了 70 多年。但是，在使用 GUV 时必须具备相关知识，注意剂量和安全性。不恰当的使用 GUV 会带来人体健康和安全问题，且可能导致感染性病原体的灭活不充分。不建议居家使用 GUV，除非有临床依据，否则绝不应该使用 GUV 对皮肤消毒。

什么是 GUV?

紫外辐射是光学辐射光谱中的一部分，与我们体验到的光(即可见辐射)相比，它具有更高的能量（波长更短），GUV 是用于杀菌消毒的紫外辐射。

根据紫外辐射对生物作用的生物效应，将紫外光谱分为多个区域：CIE 定义 UV-A 是波长范围在 315 nm–400 nm 之间的辐射；UV-B 是波长范围在 280 nm–315 nm 之间的辐射；UV-C 的波长范围为 100 nm–280 nm。紫外光谱中 UV-C 部分的能量最高。虽然大部分紫外辐射谱线都可能破坏某些微生物和病毒，但 UV-C 最有效，因此最常使用 UV-C 来杀菌消毒。

使（空气中或表面上的）感染性病原体灭活率达到 90 %所需的辐射剂量取决于环境条件（如相对湿度）和感染性病原体的种类。对于主要发射 254 nm 辐射的汞灯，所需剂量通常在 20 J/m² 到 200 J/m²（CIE, 2003）之间。此前，254 nm 的 GUV 已被证明可以有效地对被埃

博拉病毒污染表面消毒（Sagripanti 和 Lytle, 2011; Jinadatha 等人, 2015; Tomas 等人, 2015）。其它研究也表明了 GUV 的有效性，如在流感爆发期间利弗莫尔退伍军人医院的应用（Jordan, 1961）。然而尽管研究正在进行，目前还没有关于 GUV 对 SARS-CoV-2 有效性的公开数据。

使用 GUV 进行消毒

多年来，UV-C 已被成功地应用于水体消毒。此外，在通风系统中，UV-C 消毒通常被嵌入到空气处理单元，以管理生物膜的形成并进行空气消毒（CIE, 2003）。

在医疗卫生领域引入聚合物材料以及提供抗生素和疫苗之前，一些国家经常使用 UV-C 源对手术室和其他房间进行夜间消毒。最近，在医疗卫生环境中使用 UV-C 设备对全屋空气和可接触到的表面进行消毒再次引发了人们的兴趣。这类设备可以在一段时间内放置在房间内的特定位置，也可以是能在环境中移动的机器人单元，以减少阴影影响。对于表面消毒，除了在房间内放置 UV-C 源，还可以将 UV-C 源置于表面附近。

大流行期间，一些国家还探索了限制性使用 UV-C 对个人有防护设备进行消毒（Jinadatha 等人, 2015 年; Nemeth 等人, 2020）。

越来越多的证据表明，在医院中使用 UV-C 作为标准人工清洁的补充，实践中是有效的，尽管仍需制定更为具体的应用指南和标准测试程序。

用于上层空气消毒的 UV-C 光源通常安装在房间头顶上方，并连续工作以对循环空气进行消毒。这种光源已被成功地用于限制结核病的传播（Mphaphaphlelelele, 2015; Escombe 等, 2009; DHHS, 2009）。根据对文献的系统性回顾，世界卫生组织（WHO）推荐使用房间上层 GUV 作为预防和控制结核病感染的手段（WHO, 2019）。

一些实验室研究发现，上层空气 UV-C 消毒的效果取决于相对湿度、温度条件和空气循环（Ko 等, 2000; Peccia 等, 2001）。Escombe 等（2009）在秘鲁利马一个无空调的医院病房对房间上层 GUV 进行了研究，发现即使相对湿度高达 77%，结核病的空气传播风险仍显著降低。

使用 UV-C 的风险

自然条件下，人们并不会暴露于 UV-C 下：即使在高海拔地区，来自太阳的 UV-C 辐射也会被大气层所过滤（Piazana 和 Häder, 2009）。人类暴露的 UV-C 通常是来自于人工光源。UV-C 只能穿透皮肤的最外层，几乎不能到达表皮的基底层，也不会穿透眼睛角膜的表层到达更深

层。眼睛暴露在 UV-C 中，会导致光性角膜炎，这是一种非常痛苦的症状，感觉就像沙子擦到眼睛上。光性角膜炎的症状最多在暴露后 24 小时出现，并且大约需要 24 小时后才能消退。

当皮肤暴露在高强度的 UV-C 下时，会出现红斑（类似于晒伤的皮肤发红）（ISO/CIE, 2019）。红斑病通常比 UV-C 作用到眼睛上产生的疼痛要小。但 UV-C 诱发的红斑可能会被误诊为皮炎，尤其在不知道近期有 UV-C 暴露史的情况下。有证据表明，皮肤反复暴露在引起红斑的 UV-C 水平下会损伤人体免疫系统（Gläser 等人，2009）。

紫外辐射通常被认为具有致癌性（ISO/CIE, 2016），但没有证据表明单独的 UV-C 会致癌。CIE 187:2010 技术报告（CIE, 2010）讨论了这一问题，并得出结论："尽管低压汞灯的杀菌紫外辐射已被确定为潜在致癌物，但皮肤癌的相对风险却明显低于工人们经常会接触到的其它辐射源（如太阳）的风险。紫外杀菌辐射可以安全有效地用于上层空气消毒，而不会引起皮肤癌等长期迟滞效应的重大风险。"

国际非电离辐射防护委员会（ICNIRP, 2004）发布了包括 UV-C 辐射在内的紫外辐射职业暴露指南：对于未受保护的眼睛/皮肤，270 nm 的辐射不应超过 30 J/m²，270 nm 是皮肤和眼睛的光化学紫外危害光谱加权函数的峰值波长。由于紫外辐射的危害效应取决于波长，因此波长 254 nm 辐射的最大暴露限值为 60 J/m²。对于 222 nm 的辐射，最大（光化学紫外危害）限值更高，约为 240 J/m²。（Buonanno 等，2017；Welch 等，2018；Narita 等，2018；Taylor 等，2020；Yamano 等，2020）已经研究了杀菌消毒用的波长。针对产品光生物安全的 IEC/CIE 标准中规定了（每天的）紫外线暴露限值（IEC/CIE, 2006）。

典型的 UV-C 源通常也会发出 UV-C 范围之外的各种波长的辐射。某些 UV-C 产品可能也会发出 UV-B 或 UV-A，有些宣称为 UV-C 的紫外杀菌光源甚至并不发出 UV-C。暴露在这些产品的紫外线照射下会增加患皮肤癌的风险，因此必须采取保护措施以最大程度地降低该风险。在正常使用中，固定在管道系统内部用于循环空气或水体消毒的紫外源，不应产生照射人体的风险。在紫外照射区域中工作时，工人们应穿戴个人防护设备，例如工业服装（如厚重的织物）和工业面部防护设备（如面罩）（ICNIRP, 2010）。全脸呼吸器（CIE, 2006）和一次性手套的手部防护（CIE, 2007 年）也可阻止紫外线。

UV-C 的测量

通常使用手持式 UV-C 辐射度计进行 UV-C 的现场测量。辐射度计应由经 ISO/IEC 17025（ISO/IEC, 2015）认证的实验室进行校准，以使校准溯源至国际单位制（SI）（BIPM, 2019a; BIPM, 2019b）。此外在使用仪器时，检查校准报告并应用报告中包含的校正因子也很重要。校准证书通常仅对校准中使用的 UV-C 源有效，用该仪器测量其他类型的 UV-C 源时，

可能会产生很大的误差。大多数仪器在低压汞灯的 254 nm 发射线下校准，如用校准后的仪器测量波长（波长范围）明显不同于 254 nm 的紫外源，则可能会产生百分之几十的光谱失配误差。一些 UV-C 辐射度计可用 254 nm 以外其它波长校准，例如，UV LED 辐射源或准分子灯。

校准紫外辐射度计时，校准实验室最好询问用户要用该仪器评估何种光源，理想地，采用与用户待测辐射源具有相似光谱成分的辐射源来校准仪器，以减少光谱失配误差。CIE 220:2016（CIE，2016）为紫外辐射度计的特征和校准提供了指南。关于光辐射危害测量的更多信息，请参见资料（ICNIRP/CIE，1998）。目前，CIE 和 ICNIRP 正在组织有关光辐射的测量及其对光生物系统影响的线上课程（CIE/ICNIRP，2020）。

消费产品

随着当前 COVID-19 大流行的蔓延，市场上出现了许多承诺能对表面和空气有效消毒的 UV-C 产品。有关消费品安全的具体准则由国际电工委员会（IEC）等国际组织负责，CIE 并不提供。因此，本《立场声明》仅覆盖安全使用和应用紫外辐射杀菌消毒这一广泛问题。市场上供消费者使用的产品趋向于手持式设备。CIE 担心此类设备的用户可能会接触到有害剂量的 UV-C，而且消费者可能会不当使用/操作这些紫外产品（因此无法实现有效的杀菌消毒效果），或者购买到的产品实际并没有发出 UV-C。

总结建议

发出 UV-C 的产品对空气和表面的杀菌消毒或水体消毒非常有用。CIE 和 WHO 警告，除非有临床依据，否则不要使用紫外杀菌灯对手部或其他皮肤区域进行消毒（WHO，2020）。UV-C 对人和动物都非常危险，因此只能应用在符合安全法规的具有合理结构的产品中，或在将安全作为第一要务的高度受控的条件下使用，以确保不超过 ICNIRP（2004）和 IEC/CIE（2006）规定的暴露限值。为合理的 UV 评估和风险管理，适当的紫外测量至关重要。

参考文献

BIPM (2019a) The International System of Units (SI), 9th Edition. Downloadable at <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9-EN.pdf>

BIPM (2019b) The International System of Units (SI), 9th Edition – Appendix 3: Units for photochemical and photobiological quantities. Downloadable at <https://www.bipm.org/utis/common/pdf/si-brochure/SI-Brochure-9-App3-EN.pdf>, accessed 2020-04-24.

Buonanno, M., Ponnaiya, B., Welch, D., Stanislauskas, M., Randers-Pehrson, G., Smilenov, L., Lowy, F.D., Owens, D.M. and Brenner, D.J. (2017) Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light. *Radiat Res* 187(4): 483-491. DOI:10.1667/RR0010CC.1

CIE (2003) CIE 155:2003 Ultraviolet Air Disinfection. Freely available at <http://cie.co.at/news/cie-releases-two-key-publications-uv-disinfection>¹

CIE (2006) CIE 172:2006 UV protection and clothing.

CIE (2007) CIE 181:2007 Hand protection by disposable gloves against occupational UV exposure.

CIE (2010) CIE 187:2010 UV-C photocarcinogenesis risks from germicidal lamps. Freely available at <http://cie.co.at/news/cie-releases-two-key-publications-uv-disinfection>¹

CIE (2016) CIE 220:2016 Characterization and Calibration Methods of UV Radiometers.

CIE/ICNIRP (2020) CIE/ICNIRP Online Tutorial on the Measurement of Optical Radiation and its Effects on Photobiological Systems, August 25, 2020 to August 27, 2020. <http://cie.co.at/news/cieicnirp-online-tutorial-measurement-optical-radiation-and-its-effects-photobiological-systems>, accessed 2020-04-24.

DHHS (2009) Environmental Control for Tuberculosis: Basic Upper-Room Ultraviolet Germicidal Irradiation Guidelines for Healthcare Settings, DHHS (NIOSH) Publication Number 2009-105, <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2009-105/default.html>, accessed 2020-04-25.

Escombe, A.R., Moore, D.A., Gilman, R.H., Navincopa, M., Ticona, E., Mitchell, B., Noakes, C., Martínez, C., Sheen, P., Ramirez, R., Quino, W., Gonzalez, A., Friedland, J.S., Evans, C.A. (2009) Upper-room ultraviolet light and negative air ionization to prevent tuberculosis transmission. *PLoS Med.* 6(3):e43. DOI: 10.1371/journal.pmed.1000043.

Gläser, R., Navid, F., Schuller, W., Jantschitsch, C., Harder, J., Schröder, J.M., Schwarz, A., Schwarz, T. (2009) UV-B radiation induces the expression of antimicrobial peptides in human keratinocytes in vitro and in vivo. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 123(5): 1117-1123. DOI: 10.1016/j.jaci.2009.01.043

ICNIRP (2004) ICNIRP Guidelines – On limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation), *Health Physics* 87(2):171-186; 2004. Available at <http://www.icnirp.org>

ICNIRP (2010) ICNIRP Statement – Protection of workers against ultraviolet radiation, *Health Physics* 99(1):66-87; DOI: 10.1097/HP.0b013e3181d85908 Available at <http://www.icnirp.org>

ICNIRP/CIE (1998) ICNIRP 6/98 / CIE x016-1998. Measurement of Optical Radiation Hazards.

IEC/CIE (2006) IEC 62471:2006/CIE S 009:2002 Photobiological safety of lamps and lamp systems / Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. (bilingual edition)

ISO/IEC (2015) ISO/IEC 17025:2015 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.

¹ 限时免费使用 · 直至 2020-06-25

ISO/CIE (2016) ISO/CIE 28077:2016(E) Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers).

ISO/CIE (2019) ISO/CIE 17166:2019(E) Erythema reference action spectrum and standard erythema dose.

Jinadatha, C., Simmons, S., Dale, C., Ganachari-Mallappa, N., Villamaria, F.C., Goulding, N., Tanner, B., Stachowiak, J., Stibich, M. (2015) Disinfecting personal protective equipment with pulsed xenon ultraviolet as a risk mitigation strategy for health care workers. *Am J Infect Control* 43(4): 412-414. DOI: 10.1016/j.ajic.2015.01.013

Jordan, W.S. (1961) The Mechanism of Spread of Asian Influenza, *Am Rev Resp Dis*. Volume 83, Issue 2P2, Pages 29-40. DOI: 10.1164/arrd.1961.83.2P2.29

Ko, G., First, M.W., Burge, H.A. (2000) Influence of relative humidity on particle size and UV sensitivity of *Serratia marcescens* and *Mycobacterium bovis* BCG aerosols. *Tubercle and Lung Disease*. Volume 80, Issues 4–5, Pages 217-228. DOI: 10.1054/tuld.2000.0249

Mphaphlele, M. (2015) Institutional Tuberculosis Transmission. Controlled Trial of Upper Room Ultraviolet Air Disinfection: A Basis for New Dosing Guidelines. *Am J Respir Crit Care Med*. 192(4):477-84. DOI: 10.1164/rccm.201501-0060OC

Narita, K., Asano, K., Morimoto, Y., Igarashi, T., Hamblin, M.R., Dai, T. and Nakane, A. (2018) Disinfection and healing effects of 222-nm UVC light on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infection in mouse wounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 178: 10-18. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2017.10.030

Nemeth, C., D. Lauferweiler, E. Polander, C. Orvis, D. Harnish, S. E. Morgan, M. O'Connor, S. Hymes, S. Nachman and B. Heimbuch (2020). "Preparing for an Influenza Pandemic: Hospital Acceptance Study of Filtering Facepiece Respirator Decontamination Using Ultraviolet Germicidal Irradiation." *J Patient Saf*. DOI 10.1097/PTS.0000000000000600.

Peccia, J., Werth, H.M., Miller, S., Hernandez, M. (2001) Effects of Relative Humidity on the Ultraviolet Induced Inactivation of Airborne Bacteria, *Aerosol Science and Technology*, Volume 35, Issue 3, DOI: 10.1080/02786820152546770

Piazena, H. and Häder, D.-P. (2009) Solar UV-B and UV-A irradiance in arid high-mountain regions: Measurements on the island of Tenerife as compared to previous tropical Andes data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 114(G4). DOI: 10.1029/2008JG000820

Sagripanti, J.-L. and Lytle, C.D. (2011) Sensitivity to ultraviolet radiation of Lassa, vaccinia, and Ebola viruses dried on surfaces. *Archives of Virology* 156(3): 489-494. DOI: 10.1007/s00705-010-0847-1

Taylor, W., Camilleri, E., Craft, D.L., Korza, G., Granados, M.R., Peterson, J., Szczpaniak, R., Weller, S.K., Moeller, R., Douki, T., Mok, W.W.K. and Setlow, P. (2020) DNA Damage Kills Bacterial Spores and Cells Exposed to 222-Nanometer UV Radiation. *Applied and Environmental Microbiology* 86(8): e03039-03019. DOI:10.1128/aem.03039-19

Tomas, M.E., Cadnum, J.L., Jencson, A., Donskey, C.J. (2015) The Ebola disinfection booth: evaluation of an enclosed ultraviolet light booth for disinfection of contaminated personal protective equipment prior to removal. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 36(10): 1226-1228. DOI: 10.1017/ice.2015.166

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D.H., Holbrook, M.G., Gamble, A., Williamson, B.N., Tamin, A., Harcourt, J.L., Thornburg, N.J., Gerber, S.I., Lloyd-Smith, J.O., de Wit, E., Munster, V.J. (2020) Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med.* 382: 1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973

Welch, D., Buonanno, M., Grilj, V., Shuryak, I., Crickmore, C., Bigelow, A.W., Randers-Pehrson, G., Johnson, G.W. and Brenner, D.J. (2018) Far-UVC light: A new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Scientific Reports* 8(1): 2752. DOI: 10.1038/s41598-018-21058-w

WHO (2019) WHO guidelines on tuberculosis infection prevention and control. 2019 update. Geneva: World Health Organization.

WHO (2020) <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>, accessed 2020-04-22.

Yamano, N., Kunisada, M., Kaidzu, S., Sugihara, K., Nishiaki-Sawada, A., Ohashi, H., Yoshioka, A., Igarashi, T., Ohira, A., Tanito, M. and Nishigori, C. (2020) Long-term effects of 222 nm ultraviolet radiation C sterilizing lamps on mice susceptible to ultraviolet radiation. *Photochemistry and Photobiology.* DOI: 10.1111/php.13269

关于 CIE 及其立场声明

国际照明委员会——又称 CIE，源自其法文名称“the Commission Internationale de l’Eclairage”——致力于全球合作，以对光与照明、颜色与视觉、光生物学与图像技术有关的科学和工艺的所有事项进行交流沟通。

CIE 拥有强大的技术、科学和文化基础，是一个独立的非营利组织，自愿为成员国提供服务。自 1913 年成立以来，一直被视为该领域的最佳权威，并被国际标准化组织（ISO）认可为国际标准化机构，发布有关光与照明基础研究的全球标准。

CIE 立场声明首先确保与相关 CIE 技术委员会达成一致，并经 CIE 行政委员会批准，该委员会包括所有 CIE 分部（执行 CIE 科学工作的机构）的主任。

了解更多信息，请联系

CIE 中央局

秘书长 Kathryn Nield

地址：Babenbergerstraße 9/9A, A-1010

奥地利，维也纳

电话：+43 1 714 31 87

电子邮箱：kathryn.nield@cie.co.at

网址：<http://www.cie.co.at>

本译文由中国全国委员会编写。

China Illuminating Engineering Society, China NC-CIE
3 Floor, No. 7 Ju'er Hutong, Jiadaokou Street, Dongcheng District
Beijing 100009
CHINA
tel: +86 10 65812194
fax: +86 1065812194
e-mail: cienchina@163.com
website: <http://www.lightingchina.com.cn>