

News & Highlights

利用紫外线灭活新型冠状病毒

Dana Mackenzie

Senior Technology Writer

在对抗2019年新型冠状病毒（COVID-19）大流行的过程中，一种旧式武器再度出现[1]。1903年，Niels Finsen因发现紫外线（UV）可以杀死细菌而荣获诺贝尔奖[2]，此后一个多世纪里，紫外线作为一种消毒方法大受欢迎，并广泛用于消毒病房和其他公共场所。

总部位于美国得克萨斯州圣安东尼奥市的Xenex公司的首席科学家兼联合创始人Mark Stibich说：“病原体已经进化，但我们用来清洁环境的工具尚未更新。我们需要新的工具来对付它们，而不仅仅是拖把和水桶。”

Xenex旗下的名为LightStrike的消毒机器人（图1），可以在2 min内杀死1 m范围内的99.99%的严重急性呼吸综合征冠状病毒2（SARS-CoV2）[3]。紫外线不会取代拖把和水桶，而是针对细菌和病毒以一种不同的和经过验证的方式对化学消毒剂进行补充。

Xenex是至少30家生产紫外线消毒设备的公司之

一，这些设备不仅限于医院使用。另一家公司，即位于美国加利福尼亚州洛杉矶市的Dimer UVC公司，销售一种名为GermFalcon的装有紫外线灯的手推车（图2），并声称可以在3 min内对整个飞机进行消毒[4]。紫外线也被用于给医疗口罩消毒以实现重复利用[5]。

根据波长，紫外线通常可分为三类，并且这些光线都是肉眼不可见的。波长最长的是普通太阳光线中的UVA（波长为315~400 nm）和UVB（波长为280~315 nm）。如果一个人在没有保护的情况下在室外停留太长时间，这些光线会晒伤皮肤。UVA和UVB对细菌的杀灭能力有限，因为病毒和细菌已经适应了它们数百万年。

但是UVC（波长为200~280 nm）被大气层完全吸收，并且从未到达地球表面[6]。因此，UVC对SARS-CoV2来说，就像病毒之于人类一样新鲜。根据国际紫



图1. 安装在医院房间（a）和酒店房间（b）内的Xenex LightStrike机器人，在使用过程中是静止的，但其“头部”可上下移动，并且氙灯通过紫外线每秒产生多次脉冲，紫外线的光谱范围为200~315 nm。图片来源：Xenex，已获授权许可。



图2. GermFalcon是一种紫外线消毒设备，可以在飞机过道上上下移动。它需要一个由紫外线防护罩保护的操作员来推动它。图片来源：Diner UVC，已获授权许可。

外线协会（International Ultraviolet Association）报道，在254 nm的光照下，每平方厘米40 mJ的剂量至少可以杀死99.99%的“任何病原微生物”[6,7]。

目前紫外线消毒系统有许多不同的设计。有些系统仅由一个裸露的灯泡和一个计时器组成，而另一些则是可以到达难以接近的地方的移动机器人[8]。两个主要的设计选择是光的波长和传输方式。到目前为止，最常见的用于杀菌的紫外线波长是254 nm，由低压汞灯产生。这些灯泡制造起来既简单又便宜，因为它们采用了与荧光灯泡基本相同的技术。荧光灯泡实际上是在灯泡内部产生紫外线。但是，沉积在灯泡玻璃表面的磷光体吸收了这些光线，并以人类可以看到的更长的波长重新发射。为了制造紫外线灯，将玻璃替换为一种对紫外线透明的材料，如熔融石英。

然而，254 nm可能不是杀死所有病毒的最佳波长。专家认为，不同的波长会以不同的方式杀死病毒[9,10]。波长为254 nm的紫外线会破坏病毒的脱氧核糖核酸（DNA）或核糖核酸（RNA），使病毒无法繁殖。较短的波长，如207~222 nm（有时称“远紫外线”）被认为会破坏需要附着在人体细胞上的病毒表面的蛋白质。因此，用于描述紫外线对病毒杀灭能力的曲线呈双峰形，其中在较短波长处有一个峰值，另一个峰值出现在波长为265 nm左右的地方。

Xenex系统被设计为利用这两种病毒杀灭方法进行消毒，即利用脉冲氙气流产生光线，其光谱范围为200~315 nm。因为氙气是一种惰性气体，由氙气刺激的灯泡比含有有毒汞的灯泡更容易处理。据该公司称，目前全球有500多家医疗机构正在使用Xenex机器人进行全室消毒。

虽然用UVC灯进行消毒仍是试验性的，但也可能有其内在优势。初步证据表明，在健康人身上，UVC不会穿透皮肤细胞外死皮层或眼睛上的液膜[10,11]。因

此，它不会像UVA和UVB那样引起皮肤癌或白内障。它似乎也不会像标准的UVC那样造成暂时的皮肤灼伤和眼睛损伤（“焊接闪光”）。据推测，这主要取决于暴露的强度。例如，强烈暴露以破坏手上的病原体是否安全尚不可知。

然而，医生可能需要一些说服力才能接受“某些紫外线对人眼是安全的”这一观点。科罗拉多大学博尔德分校的环境工程学教授Karl Linden说：“在我确信之前，我希望看到更多关于长期暴露的研究。”如果可以证明它在偶然接触时是安全的，那么利用UVC灯消毒可能是消毒经常有人的空间的最好的方式，如24 h营业的市场。它们也可能被用于医院的持续性消毒。

无论使用什么波长，杀菌紫外线还有另一个问题需要克服，即如果表面处于阴影中，该表面就不会被消毒。病房中到处都是阴影，有很多表面和物体以不同的角度从地板、墙壁和天花板伸出。在最近发表的一项研究中，当将一台标准UVC灯置于房间中央并按照制造商的说明操作时，有些地方（如衣柜和水槽）将部分或完全处于阴影中，并且没有获得所需的40 mJ·cm⁻²的全剂量以确保99.99%消毒[12]。

因此，必须将许多系统转移到几个不同的地方，以使用UVC灯对房间进行彻底消毒。这意味着管家必须进入房间、放置UVC灯、离开房间、打开UVC灯5 min左右，然后重新进入房间，重新放置设备等。这是一个费力的过程。为了解决这一问题，总部位于丹麦奥登塞的UVD Robots公司开发了一种可以在房间内自主移动的紫外线系统，从而无需手动重新定位。据一位UVD Robots公司的发言人说，该公司最近向Sunay Healthcare Supply公司（位于奥登塞）出售了数量为“三位数”的机器人供中国使用，目前这些机器人已在中国的2000家医院投入使用[8]。该公司表示，他们的机器人现在正在为六大洲的50多个国家/地区提供服务。

如果紫外线消毒效果很好，为什么花了这么长时间才被医院接受，以及为什么其他企业几乎不知道它（除了废水处理企业，因为其已经使用了它数十年）？美国马萨诸塞州剑桥市哈佛大学陈曾熙公共卫生学院环境卫生、免疫学和传染病学教授Edward Nardell说：“第一道障碍是恐惧。每个人都听医生说过，我们不应该接触太多紫外线。UVC穿透皮肤和眼睛的能力差，这是一个细微差别。不熟悉是第二个原因。工程师和建筑师在他们的培训中没有听说过杀菌灯。这是一个孤立的学科。”

紫外线消毒也可能受到历史的干扰[1]。20世纪四五十年代，抗生素得到了广泛的应用，这种情况让许多医生误以为对抗微生物的战争已经取得胜利。因此，紫外线不仅是一种孤立的技术，而且似乎已经过时。然而，这种自满情绪在20世纪80年代开始瓦解，当时出现了耐药菌，特别是结核病（TB）。Nardell称，一种部分解决方案可以阻断医院传播结核病（一种通过空气传播的病原体），即使用百叶窗式的UVC灯对天花板附近的空气进行消毒，然后将空气循环到房间的其他部分。但这种策略并没有影响到依赖于表面传播的病原体。全球范围内，医院获得性感染仍然是一个主要问题，大约每100名住院患者中就有7~10人受到感染[13]。导致感染的许多病原体都具有多重耐药性，而且很难或不可能用药物治愈，因此在它们进入人体之前，设法杀死它们是有意义的。所以在2020年之前，医院是全室紫外线消毒的主要客户。

但现在COVID-19已经到来并改变了一切。“随着新型冠状病毒的出现，医院外对紫外线消毒的需求量激增。”Stibich说道，“我们已经将紫外线消毒系统部署在酒店、办公室和任何有高感染风险的地方或者需要额外确保安全的地方。随着各国重新开放，这些地方也将变得更重要。我们希望确保它们尽可能安全。”

References

- [1] Reed NG. The History of ultraviolet germicidal irradiation for air disinfection. *Public Health Rep* 2010;125(1):15-27.
- [2] The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1903 [Internet]. Stockholm: Nobel Prize; c2020 [cited 2020 May 15]. Available from: <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1903/summary>.
- [3] Manganello K. Xenex LightStrike robot destroys SARS-CoV-2 (Coronavirus) in 2 Minutes [Internet]. San Antonio: Xenex; 2020 Apr 30 [cited 2020 May 15]. Available from: <https://xenex.com/resources/news/xenex-lightstrike-robotdestroys-sars-cov-2-coronavirus-in-2-minutes/>.
- [4] Moore SK. Flight of the GermFalcon: how a potential coronavirus-killing airplane sterilizer was born [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2020 Mar 9 [cited 2020 May 15]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/aviation/germfalcon-coronavirus-airplane-ultraviolet-sterilizernews>.
- [5] Mackenzie D. Reuse of N95 masks. *Engineering* 2020;6(6).
- [6] Bolton JR. UV FAQs [Internet]. Chevy Chase: International Ultraviolet Association. [cited 2020 May 15]. Available from: <https://iuva.org/UV-FAQs>.
- [7] Malayeri AH, Mohseni M, Cairns B, Bolton JR. Fluence (UV dose) required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa, viruses, and algae [Internet]. Chevy Chase: IUVA News; [cited 2020 May 15]. Available from: <https://iuvanews.com/stories/092816/fluence-required-achieve-incrementallog-inactivation-bacteria-protozoa-viruses-algae.shtml>.
- [8] Ackerman E. Autonomous robots are helping kill coronavirus in hospitals [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2020 Mar 11 [cited 2020 May 15]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/medicalrobots/autonomous-robots-are-helping-kill-coronavirus-in-hospitals>.
- [9] Beck SE, Rodriguez RA, Hawkins MA, Hargy TM, Larason TC, Linden KG. Comparison of UV-induced inactivation and RNA damage in MS2 phage across the germicidal UV spectrum. *Appl Environ Microbiol* 2016;82(5):1468-74.
- [10] Buonanno M, Ponnaiya B, Welch D, Stanislauskas M, Randers-Pehrson G, Smilenov L, et al. Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light. *Radiat Res* 2017;187:493-501.
- [11] Welch D, Buonanno M, Grilj V, Shuryak I, Crickmore BAW, et al. Far-UVC light: a new tool to control the spread of airborne-mediated microbial diseases. *Sci Rep* 2018;8:2752.
- [12] Lindblad M, Tano E, Lindahl C, Huss F. Ultraviolet-C decontamination of a hospital room: amount of UV light needed. *Burns* 2019;46(4):842-9.
- [13] Health care-associated infections FACT SHEET [Internet]. Geneva: World Health Organization; [cited 2020 May 15]. Available from: https://www.who.int/gpsc/country_work/gpsc_ccisc_fact_sheet_en.pdf.