

文章编号: 1004-9231(2024)09-0823-07

· 专稿: 222 nm 紫外线的消毒应用与评价 ·

## 紫外线消毒新技术的应用进展

朱仁义, 张玉成, 田靓

上海市疾病预防控制中心, 上海 200336

### 摘要:

随着新型冠状病毒感染大流行,世界卫生组织(WHO)警示X疾病在全球暴发,医疗机构多重耐药菌感染问题日益增多。同化学消毒剂相比,紫外线作为一种杀灭微生物谱广、不易产生耐药性、消毒高效迅速、消毒后物品可直接使用的物理消毒方法,其应用再次受到关注。用传统低压汞紫外线灯研制的上层空气消毒系统、消毒支架灯和自动巡路消毒车等新消毒设备投入应用,发光二极管(LED)、脉冲氙气、222 nm等新型紫外线消毒灯不断迭代升级。尤其是222 nm紫外线消毒灯,作为一种更安全的消毒手段,其为未来的空气甚至物体表面消毒提供了新的解决方案。鉴于我国对于消毒产品有一系列法律、法规和标准,以及紫外线消毒新技术成熟度、产品质量的差异性,不同病原体对紫外线的敏感性,222 nm紫外线在有人情况下使用的可能安全风险仍需要试验数据验证。本研究对汞紫外线灯消毒技术的新应用,新型紫外线灯消毒技术的特点和应用,以及紫外线消毒新技术的合规性、有效性和安全性进行综述。

关键词: 紫外线消毒; 新型紫外线灯; 合规性; 有效性; 安全性

中图分类号: R187.4

文献标志码: A

DOI: 10.19428/j.cnki.sjpm.2024.24519

引用格式: 朱仁义, 张玉成, 田靓. 紫外线消毒新技术的应用进展[J]. 上海预防医学, 2024, 36(9): 823-829.

### Progress in the application of new ultraviolet disinfection technology

ZHU Renyi, ZHANG Yucheng, TIAN Liang

Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China

**Abstract:** With the pandemic of COVID-19, the World Health Organization warns that disease X is on the verge of a global outbreak, and the problem of multidrug-resistant bacterial infections in medical and healthcare institutions becomes more serious. Compared with chemical disinfectants, ultraviolet light (UV), as a physical disinfection method, has received broad attention for its ability to kill a wide spectrum of microbial with high efficiency and rapidity, low drug-resistance, and direct use of the disinfected items after disinfection. Traditional low-pressure mercury UV lamps have been used to develop new disinfection equipment such as upper air disinfection systems, disinfection bracket lamps and automatic circuit disinfection vehicles. In addition, new UV disinfection lamps such as light-emitting diode (LED), pulsed xenon, and 222 nm lamps have been continuously iterated and upgraded, especially 222 nm UV lamps, which is a safer means of disinfection, and will provide new solutions for air and even object surface disinfection in the future. There is a complete set of laws, regulations and standards for disinfection products in China, as well as the maturity of new UV disinfection technologies. In view of the differences in product quality, the sensitivity of different pathogens to UV light, and the possible safety risks of using 222 nm UV light in the presence of people, this research reviews the new application of mercury UV lamp disinfection technology, the characteristics and application of new UV lamp disinfection technology, as well as the compliance, effectiveness, and safety of the new UV disinfection technology.

**Keywords:** ultraviolet disinfection; new ultraviolet lamp; compliance; effectiveness; safety

传统的汞紫外线灯(波长254 nm)尤其是低压汞紫外线灯在消毒领域的应用已经非常成熟,不仅广泛应用于空气和物体表面的消毒,还用于饮用水、污水等的消毒。近年来,随着新发和再发传染病的不断出现,医疗机构多重耐药菌感染问题日益增多,作为切断传播途径重要手段的消毒也越来越受到重视。紫外线作为一种物理消毒方法,同化学消毒剂相比,由于其具有杀灭微生物谱广、直接照射、消毒高效迅速、无二次污染、不易产生耐药性、消毒后物品可直接使用等优点,其应用再次受到关注。尤其在医疗机构,不仅用低压

汞紫外线灯研制新的消毒设备,如紫外线上层空气消毒系统、消毒支架灯、消毒柜和自动巡路消毒车等,而且消毒对象和范围也在逐步扩大。同时,随着发光二极管(light-emitting diode,LED)、脉冲氙气、222 nm等新型紫外线灯的出现,技术不断迭代升级,紫外线灯越来越多地用于传染病和多重耐药菌感染控制,相关研究也逐年增加。这为传染病和多重耐药菌感染控制提供了更多有效、可选择的手段,但由于新技术从出现到成熟应用需要有个过程,加上不同产品质量的差异性,医疗卫生机构在选用紫外线消毒新技术时须关注技术的

**【基金项目】** 上海市院感防控和实验室生物安全能力建设(GWVI-13); 上海市加强公共卫生体系建设三年行动计划(2023—2025年)重点学科(GWVI-11.1-04); 上海市加强公共卫生体系建设三年行动计划公共卫生监管数字化服务和应用能力提升资助项目(GWVI-5)

**【作者简介】** 朱仁义,男,硕士,主任医师;研究方向:消毒与感染控制;E-mail: zhuren yi@scdc.sh.cn

合规性、有效性和安全性。

## 1 低压汞紫外线灯消毒的新应用

《世界卫生组织结核病操作手册》最新推荐,将上层紫外线空气消毒系统列入结核病感染控制措施<sup>[1]</sup>。近年来,多重耐药菌传播和感染越来越多,低压汞紫外线灯消毒柜被应用于常见诊疗用品(听诊器、止血带、绷带剪刀、反射锤、音叉、眼球震颤眼镜等)的消毒<sup>[2]</sup>,消毒对象扩展为口腔硅橡胶印模、石膏牙模、丙烯酸义齿基托和牙齿标记笔<sup>[3]</sup>、导管无针连接器<sup>[4]</sup>。随着手持电子产品在医疗机构广泛使用,为了防止键盘、接触屏成为病原体交叉传播的载体,出现了对手机、遥控器等手持电子产品消毒的紫外线消毒器<sup>[5-7]</sup>。研究<sup>[8-10]</sup>表明,与常规消毒方法相比,紫外线消毒器对耳鼻喉硬式内镜和没有操作腔道的软式内镜(如咽喉镜)消毒的效果差异无统计学意义。由于与化学消毒剂消毒相比,紫外线无腐蚀性、操作方便,紫外线消毒器在国内正逐步用于对低危(腹部超声探头、心脏超声探头、血管超声探头、眼科B型超声探头等)和中危(经阴道超声、食管超声、直肠超声等)进入体腔内进行检查的探头,眼科A型超声探头等)超声探头开展消毒,该消毒方法也被列入相关地方标准<sup>[11]</sup>。

既往研究<sup>[12-13]</sup>证明,入住多重耐药菌感染患者的房间是后续患者感染多重耐药菌的高危因素,使用高强度紫外线终末消毒车不但能够对患者房间的空气开展消毒,而且可对病房内的环境物体表面进行有效消毒。与人工移动的紫外线终末消毒车相比,近年来出现的紫外线自动巡路消毒车消毒时可自动规划消毒线路,移动时无须人工干预,消毒更易全面覆盖环境物体表面。有些消毒车还配有红外线感应,人接近时会自动关闭紫外线灯,对人更安全。因此,紫外线自动巡路消毒车的研究和应用开始受到重视<sup>[14-15]</sup>。

## 2 新型紫外线灯消毒的特点及应用

紫外线辐射根据波长被分为UVA(315~400 nm)、UVB(280~315 nm)和UVC(200~280 nm)。与UVC相比,尽管UVA、UVB具有同样杀灭微生物效果,但需要更高的照射剂量和更长的照射时间<sup>[6]</sup>。UVC具有最强的杀灭微生物效果,能够无差别地破坏所有微生物的脱氧核糖核酸(deoxyribonucleic acid,DNA)和核糖核酸(ribonucleic acid,RNA)。传统的低压汞紫外线灯(波长254 nm)应用最为广泛,但其存在光衰较大、寿命短、含有毒重金属汞、启动需要特定的电子镇流器、石英玻璃难以小型化,以及杀灭微生物效果易受温、湿度影响

等缺点。近年来,新型紫外线灯开始用于消毒,主要有LED、脉冲氙气和222 nm紫外线灯。

### 2.1 LED紫外线灯

LED紫外线灯利用LED半导体材料的发光原理产生紫外光,波长覆盖近紫外到深紫外(200~400 nm)。使用LED作为光源提高了发光效率和杀灭微生物能力,降低了功耗,更节能环保(不含有毒重金属汞)且寿命更长。根据T/WSJD 62—2024《移动式紫外线消毒器卫生要求》,LED紫外消毒灯的紫外线强度衰减到额定值70%的累计时间不宜低于3 000 h,远高于低压汞紫外消毒灯不宜低于2 000 h的要求<sup>[16]</sup>。由于LED灯珠较小,由LED灯珠构成的LED紫外线消毒器可根据消毒对象和场景进行外观设计,较容易适应应用场景,并且可制成小型消毒设备,用于个人用品消毒。

现有已开展消毒研究的LED紫外消毒灯的波长既有多波长,也有单个波长峰值。其中,单个波长峰值既有UVC 265 nm<sup>[17-18]</sup>、267 nm<sup>[19]</sup>、268 nm<sup>[20]</sup>、276 nm<sup>[21]</sup>和280 nm<sup>[22]</sup>,也有UVA 365 nm<sup>[22]</sup>和376 nm<sup>[21]</sup>,还有在表面和空气消毒方面具有良好效果的波长峰值为405 nm的紫蓝色光<sup>[23]</sup>。LED紫外线灯的杀灭微生物能力取决于其波长和功率。在消毒范围方面,LED紫外线灯除了常用于空气、环境物体表面、诊疗用品和水消毒<sup>[24]</sup>外,还可用于N95防护口罩的消毒<sup>[25]</sup>。

### 2.2 脉冲氙气紫外线灯

脉冲氙气紫外线灯通过高电压脉冲放电激发氙气分子产生光辐射,形成一定频率的高能量紫外线。脉冲氙气紫外线灯光谱范围宽,氙气灯泡能以高强度短脉冲发射包括紫外线(100~280 nm)和可见光(380~700 nm)在内的辐射,能量密度高,比低压汞紫外线灯杀灭微生物时间短。脉冲方式比传统低压汞紫外线消毒灯节能40%~60%。灯的光、电参数一致性好,灯的工作状态受外界条件变化的影响较小,对消毒对象几乎不会产生温升,对物品无损伤,可用于低温消毒。氙气灯的光谱分布几乎与灯输入功率变化无关,在灯的有效寿命期内,光谱能量分布几乎不变,在使用过程中能够保持较好的稳定性,且能够快速启动与再点燃,脉冲氙灯的有效寿命相对较长。氙气是一种无害且安全的气体,使用氙气作为灯内填充气体的脉冲氙灯可以更环保和安全,因此,使用脉冲氙气紫外线灯开展消毒的研究也逐渐增加。

由于脉冲氙气紫外线灯消毒时间短,医疗机构内每天可以消毒更多的房间,覆盖更大的面积,脉冲氙气紫外线灯常用于多重耐药菌的终末消毒。部分研

究<sup>[26-28]</sup>表明,使用脉冲氙气紫外线灯不但能够降低医疗机构环境中的常见多重耐药菌生物负载,还能降低耐甲氧西林金黄色葡萄球菌(methicillin resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA)、耐万古霉素肠球菌(vancomycin resistant *Enterococcus*, VRE)、艰难梭菌等的医院感染率。

### 2.3 222 nm 紫外线灯

222 nm光源通过在石英管内填充氯化氙(KrCl)混合气体,利用高压电流的作用激发氯化氙产生紫外线,再通过灯具的出光口处增加低通滤光片,滤除大于230 nm的杂波,得到222 nm波长的紫外线<sup>[29]</sup>。由于传统紫外线具有细胞毒性和遗传毒性,直接照射会引起光敏性皮炎、光性角膜炎,甚至会导致白内障和癌。无论是低压汞、LED还是脉冲氙气紫外线灯,消毒时不能直接照射到人,一般均须在无人情况下使用。研究发现,与254 nm紫外线相比,222 nm远紫外线的蛋白吸收系数高,对人体细胞的穿透性差,可被皮肤角质层的蛋白吸收<sup>[30-31]</sup>,不易伤害人的皮肤。222 nm远紫外线几乎完全被眼睛角膜表面的泪液层吸收<sup>[32]</sup>,暴露于222 nm远紫外线的大鼠角膜未观察到损伤<sup>[33]</sup>,其在有人情况下的使用受到了极大关注。

在紫外线照射下,病原体DNA和RNA分子链发生断裂、股间交联并形成光化产物,使得微生物无法正常复制和繁殖,这是紫外线杀灭微生物的主要方式。DNA吸收紫外线的峰值波长为254 nm,一般认为254 nm紫外线的杀菌能力最强。但最近的研究<sup>[34]</sup>表明,222 nm紫外线不但对DNA有较高的吸收峰值(低于254 nm),而且也能被蛋白较多地吸收(254 nm很少被蛋白吸收)。222 nm紫外线对细菌、酵母、病毒的杀菌效果与254 nm紫外线相同,但对细菌芽孢的杀菌效果更强<sup>[35]</sup>。与254 nm低压汞紫外线灯及268 nm LED紫外线灯相比,222 nm紫外线灯对于含有细菌和病毒的气溶胶杀灭效果最好<sup>[20]</sup>。目前,已有研究<sup>[36-37]</sup>使用222 nm紫外线灯对医院感染常见的病原微生物开展消毒试验。

### 3 紫外线消毒新技术的合规性

我国对于消毒产品的生产、销售和使用有一系列法律、法规和标准。《中华人民共和国传染病防治法》第二十九条规定,用于传染病防治的消毒产品应当符合国家卫生标准和卫生规范<sup>[38]</sup>。《中华人民共和国传染病防治法》(修订草案征求意见稿)第三十三条规定,消毒产品生产企业和生产新材料、新工艺技术和新杀菌原理生产的消毒剂 and 消毒器械,应当依法取得卫生许可;

其他消毒剂和消毒器械应依法向省级卫生健康主管部门备案<sup>[39]</sup>。《消毒管理办法》规定,消毒产品生产企业应当取得卫生许可证,生产新消毒产品外的消毒剂、消毒器械和卫生药品中的抗(抑)菌制剂,生产企业应当按照有关规定进行安全卫生评价。产品上市时要将卫生安全评价报告向省级卫生计生行政部门备案<sup>[40]</sup>。WS 628—2018《消毒产品卫生安全评价技术要求》明确了进行消毒产品卫生安全评价时应评价的内容、开展的检测项目和评价报告格式等<sup>[41]</sup>。生产紫外线消毒新技术产品时应遵守上述规定,产品使用单位应索取和查询上述材料和信息。

目前,我国关于紫外线消毒技术应用的强制性国家标准是GB 28235—2020《紫外线消毒器卫生要求》。该标准规定:无论用于空气还是物体表面消毒,上层平射紫外线空气消毒器在2.1 m以下安全区域内的紫外线泄漏量应 $\leq 5 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ ;其他紫外线空气消毒器距消毒器周边30 cm处,紫外线泄漏量应 $\leq 5 \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。紫外线空气消毒器工作时,在有人条件下,室内空气环境中1 h的平均最高容许臭氧浓度为 $0.1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ <sup>[42]</sup>。T/WSJD 62—2024《移动式紫外线消毒器卫生要求》要求,对LED紫外线消毒器每半年监测1次紫外线强度或剂量,对脉冲氙气紫外线消毒器每个月监测1次紫外线剂量<sup>[16]</sup>。使用紫外线消毒新技术生产的产品使用单位应遵守上述标准的相关规定要求。

### 4 紫外线消毒新技术的有效性

消毒是杀灭或清除传播媒介上的病原微生物,对其进行无害化处理。在现场开展消毒的直接目标是杀灭被消毒对象(可能)存在的病原微生物,最终目的是防止传染病或感染性疾病的传播,达到该目的意味着消毒有效。因此,消毒的有效性是现场选择和使用消毒技术、方法首要考虑的要素。传统的低压汞紫外线灯消毒技术较为成熟,使用比较普及。由于对新型紫外线灯消毒技术现场应用的认识需要有个过程,加上产品技术还在持续改进,不同厂家生产的产品质量有差异性,因此,使用这类新技术时须特别关注现场消毒的有效性。

使用LED、脉冲氙气和222 nm等新型紫外线灯时,通常会根据实验室消毒效果的试验数据指导现场使用,但将试验数据应用到现场时要关注现场环境与实验室的差异。目前,空气消毒实验室模拟现场试验采用一次喷菌<sup>[43]</sup>,试验过程中要求关闭消毒室门、室内无人。而使用新型紫外线灯开展现场(如医院门急诊)消毒时,人流不可控制,门不停地开关<sup>[44]</sup>。由于紫外线

穿透性差,无论是低压汞紫外线灯,还是新型紫外线灯,在开展物体表面和物品消毒时,均对直接照射的区域才有消毒效果,而且消毒效果与紫外线波长、强度(功率)、照射时间、照射距离,甚至温度和湿度都有关<sup>[20,29,44]</sup>。在应用有效的现场消毒试验研究结果时,须关注因对照设置不可比导致研究结果真实性存疑问题<sup>[26]</sup>,以及亲脂病毒、细菌繁殖体、真菌(霉菌孢子)、亲水病毒、芽孢等不同类型的微生物对紫外线照射的敏感性存在差异<sup>[44-46]</sup>,用紫外线消毒时必须达到杀灭目标微生物所需的照射剂量。在消毒的目标微生物不详时,照射剂量应不低于 $100\ 000\ \mu\text{W}\cdot\text{s}\cdot\text{cm}^{-2[46]}$ 。

紫外线灯辐照强度会随着使用时间延长而衰减,低压汞紫外线灯辐照强度降低到 $70\ \mu\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$ 则需要更换。各类新型紫外线灯对于微生物的消毒效果不完全相同<sup>[7,20,47-49]</sup>,目前关于使用中的新型紫外线灯何时更换没有明确统一的数据。因此,使用者在选用新型紫外线灯时要关注灯管真实寿命,有无检测报告证实灯管在更换前具有消毒效果,即消毒有效性。

## 5 紫外线消毒新技术的安全性

同传统的254 nm低压汞紫外线灯相比,现有研究证据表明,222 nm远紫外线对皮肤<sup>[30-31,36]</sup>和眼睛<sup>[32-33,50-51]</sup>的安全性大大提高,这意味着222 nm紫外线灯消毒时意外暴露对人的健康风险极大地降低。但在医疗机构、托幼机构、养老机构等重点场所及人员较多的公共场所,有人情况下使用222 nm紫外线灯对室内空间全方位直接照射消毒时,还须权衡以下安全风险。

### 5.1 皮肤的安全风险

美国政府工业卫生学家协会(American Association of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)提高了222 nm照射的安全阈值,皮肤照射每日辐照限值由原先的 $22\ \text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 提升为 $478\ \text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2[52]}$ ,222 nm远紫外线在当前照射剂量限度以下安全。但到目前为止,几乎没有证据表明目前的ACGIH阈值代表了安全消毒的上限。对暴露于222 nm远紫外线下皮肤,如采用更高的辐射照度水平,特别是在长期照射环境下,短期内无法检测到的微量损伤可能会随着时间的推移而积累。由于222 nm远紫外线尚未广泛使用,还没有关于人体长期照射的数据,222 nm远紫外线的高辐射照度是否会增加皮肤癌风险有待评估。重点场所和公共场所人群接受照射具有不可选择性,已证实儿童在真皮-表皮交界处有更明显的波动<sup>[53]</sup>,应关注儿童、老人、孕妇、紫外线过敏者等特殊人群在222 nm照射下的安全性。因此,尽管现有人体皮肤照射试验已有初步证

据,但仍须在更大范围、更多样化的研究人群中复制和扩展试验以进行验证,并纳入一系列光敏条件。

研究222 nm远紫外线对皮肤长期照射的影响还要考虑经常接触远紫外线对皮肤微生物群的影响。皮肤微生物群的储存库位于毛囊和更深的皮肤层<sup>[54]</sup>,皮肤微生物位于角质层上,帮助防御病原体,并在感染期间协助提供免疫信号。尽管222 nm远紫外线照射的皮肤区域通常仅限于手、手臂、颈部和面部,但仍要评估远紫外线是否会对皮肤免疫系统产生重大影响。

### 5.2 眼睛的安全风险

尽管已有研究<sup>[55]</sup>表明,在222 nm远紫外线照射下,角膜上的泪膜可为眼睛提供保护。由于泪膜层的复杂性和流动性,一般情况下,眨眼后泪膜的厚度为 $5\ \mu\text{m}$ 左右,但个体之间存在差异。另外,222 nm远紫外线对“干眼症”(泪膜分泌不足)患者的影响也不清楚<sup>[56]</sup>。

环丁烷嘧啶二聚体(cyclobutene pyrimidine dimer, CPD)表达细胞是紫外线照射后DNA损伤的产物,具有细胞毒性和遗传毒性。在222 nm远紫外线对大鼠眼睛照射的研究中,照射 $1\ 500\ \text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 剂量后没有诱导角膜缘干细胞的CPD,但在 $2\ 500\ \text{mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$ 及更高剂量时诱导了CPD<sup>[51]</sup>。因此,高剂量的222 nm远紫外线消毒,以及长期照射是否能穿透体内足够深的地方等安全问题有待进一步研究,需要进一步的试验来确定222 nm远紫外线消毒的安全阈值。

目前,动物研究中关于泪膜层的保护作用仍存在较大的不确定性,还需要对动物和人类进行进一步的体内试验,以确定眼睛接触222 nm远紫外线的最高安全剂量。

### 5.3 臭氧等化学物质的安全风险

空气中的臭氧会对人的呼吸、心血管和中枢神经系统造成急性或慢性伤害,各个国家都制定了暴露限值,臭氧暴露受到高度监管<sup>[57]</sup>,对于室内使用的空气净化器臭氧浓度也有各种标准和指南加以限制。对于室内空气中臭氧浓度和紫外线循环风空气消毒机臭氧泄漏量我国在相关国家标准中都有限制要求<sup>[42,58]</sup>。

只有波长低于240 nm的紫外线才会产生影响健康的臭氧,目前254 nm低压汞紫外线灯、LED和脉冲氙气紫外线灯一般不会产生高于背景水平的臭氧<sup>[57,59-60]</sup>。此类灯直接照射消毒均在无人情况下进行,消毒后工作人员一般会先通风再进入房间。紫外线循环风空气消毒机在上市前要进行臭氧泄漏量检测,符合要求才能上市,这类产品使用时的臭氧暴露一般不

会对人的健康造成影响。

研究<sup>[57]</sup>发现,当产生222 nm的KrCl准分子灯功率低于12 W时,其产生的臭氧不会超过安全限值。但当功率增大到300 W时,对面积30 m<sup>2</sup>的密闭房间照射24 h就会使臭氧浓度达到危害人体健康的水平。这表明KrCl准分子灯产生的臭氧浓度既依赖于灯的功率,也依赖于灯和灯具的设计<sup>[32,57,59-60]</sup>。在密闭房间内,即使产生低浓度臭氧,鉴于累积效应室内臭氧浓度也会随时间增加<sup>[59]</sup>。将222 nm远紫外灯直接用于有人情况下空气消毒时,除考虑臭氧影响之外,还应关注远紫外线与室内空气因化学反应产生的氧化挥发性有机化合物和二次有机气溶胶对人体健康的影响<sup>[61]</sup>。

#### 5.4 产品使用全周期(寿命)内的安全风险

KrCl准分子灯主要发射峰值波长为222 nm的光波,此外还包括波长较长、强度较小的次峰<sup>[47,60]</sup>。要保证KrCl准分子灯发射对人相对安全的222 nm光波,须在灯具的出光口处增加低通滤光片,滤除波长大于230 nm对人有害的杂波<sup>[47,60,62]</sup>。一项研究用97%的波长小于250 nm的紫外线、88%的222 nm紫外线考察人类皮肤对光源的耐受性,结果发现,在辐射照度达到40 mJ·cm<sup>-2</sup>时,4名志愿者被照射的皮肤都出现了不同程度的红斑,2名志愿者皮肤基底层生成CPDs<sup>[62]</sup>,说明通过滤光片滤除杂波的重要性。

研究<sup>[47,60]</sup>表明,国内外不同厂家生产的KrCl准分子灯波长峰值均为222 nm,但次峰的波长并不完全相同。某国产灯的次峰波长为230~240 nm,国外某品牌灯的次峰波长为259 nm及以上。国内外带滤光片的KrCl准分子灯均只有一个峰值——222 nm,能显著滤除波长为230 nm以上的杂波。鉴于滤光片滤除杂波对于有人环境消毒安全的重要性,有必要关注KrCl准分子灯滤光片在产品使用全周期(寿命)内滤除杂波的有效性,并应在相关标准中加以规定。

新型冠状病毒感染大流行和世界卫生组织(WHO)对于X疾病全球暴发的警示<sup>[63]</sup>,表明呼吸道传染病是一项至关重要的公共卫生优先事项。2024年4月WHO更新了呼吸道传染病的传播方式,在封闭空间里更多的呼吸道传染病可通过空气中的微小颗粒进行远距离传播(空气传播)<sup>[64]</sup>,这凸显了加强室内空气消毒以减轻呼吸道病原体传播的重要性。传统紫外线灯的新应用和新型紫外线灯为空气甚至物体表面消毒提供了新的解决方案。其中,作为一种更安全的消毒手段,未来222 nm紫外线灯将被更广泛地应用。我国对于消毒产品已出台一系列法律、法规和标准,但紫外

线消毒新技术成熟需要一个过程,产品质量的差异性、不同病原体对紫外线的敏感性不同,尤其是222 nm紫外线在有人情况下使用均可能造成各类安全风险。因此,在选用紫外线消毒新技术和产品时,需要重点关注其合规性、有效性和安全性。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

#### 参考文献

- [1] World Health Organization. WHO operational handbook on tuberculosis: module 1: prevention: infection prevention and control [M]. Geneva: WHO, 2023.
- [2] RUDHART S A, GÜNTHER F, DAPPER L I, et al. Analysis of bacterial contamination and the effectiveness of UV light-based reprocessing of everyday medical devices [J]. PLoS One, 2022, 17(11): e0268863.
- [3] MOUFTI M A, HAMAD M, AL SHAWA A, et al. Efficacy and design requirements of UV light cabinets for disinfection of exchangeable non-sterilizable "dental objects"[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 19755.
- [4] FOURKAS M, TAKAMI E, SCHEARS G J, et al. Disinfection of needleless connectors for catheters in one second using a hand-held UV device[J]. Am J Infect Control, 2024, 52(8):915-918.
- [5] MALHOTRA S, WLODARCZYK J, KUO C, et al. Shining a light on the pathogenicity of health care providers' mobile phones: use of a novel ultraviolet-C wave disinfection device [J]. Am J Infect Control, 2020, 48(11): 1370-1374.
- [6] CREMERS-PIJPERS S, VAN ROSSUM C, DAUTZENBERG M, et al. Disinfecting handheld electronic devices with UV-C in a healthcare setting[J]. Infect Prev Pract, 2021, 3(2): 100133.
- [7] HESSLING M, HAAG R, SICKS B. Review of microbial touchscreen contamination for the determination of reasonable ultraviolet disinfection doses[J]. GMS Hyg Infect Control, 2021, 16: Doc30.
- [8] RUDHART S A, GÜNTHER F, DAPPER L, et al. UV light-based decontamination: an effective and fast way for disinfection of endoscopes in otorhinolaryngology? [J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2020, 277(8): 2363-2369.
- [9] RUDHART S A, GÜNTHER F, DAPPER L, et al. UV light-based reprocessing of flexible endoscopes without working channel in Oto-Rhino-Laryngology: an effective method? [J]. Eur Arch Otorhinolaryngol, 2021, 278(10): 4075-4080.
- [10] HALMANS Y, WELLENSTEIN D J, ROMIJN M, et al. Is ultraviolet light disinfection fit to be the future standard for the disinfection of flexible endoscopes without a working channel? [J]. Clin Otolaryngol, 2024, 49(1): 130-135.
- [11] 上海市疾病预防控制中心标准化技术委员会. 医用超声探头消毒卫生要求:DB 31/T 1343—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [12] SCOTT R, JOSHI L T, MCGINN C. Hospital surface disinfection using ultraviolet germicidal irradiation technology: a review [J]. Healthc Technol Lett, 2022, 9(3): 25-33.
- [13] RESENDIZ M, BLANCHARD D, WEST G F. A systematic review of the germicidal effectiveness of ultraviolet disinfection across high-touch surfaces in the immediate patient environment [J]. J Infect Prev, 2023, 24(4): 166-177.
- [14] CASINI B, TUVO B, SCARPACI M, et al. Implementation of an environmental cleaning protocol in hospital critical areas using a UV-C disinfection robot [J]. Int J Environ Res Public Health, 2023, 20(5): 4284.
- [15] ASTRID F, BEATA Z, VAN DEN NEST MIRIAM, et al. The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: a field study in an academic hospital [J]. Antimicrob Resist Infect Control, 2021, 10(1):84.

- [16] 中国卫生监督协会. 移动式紫外线消毒器卫生要求: T/WSJD 62—2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [17] HAYASHI T, OGUMA K, FUJIMURA Y, et al. UV light-emitting diode (UV-LED) at 265 nm as a potential light source for disinfecting human platelet concentrates[J]. *PLoS One*, 2021, 16(5): e0251650.
- [18] TANG Q, ZHU L W, WANG Q, et al. Formation of halonitromethanes from glycine during LED-UV<sub>265</sub>/chlorine disinfection [J]. *J Environ Manage*, 2023, 348: 119225.
- [19] ATARI N, MAMANE H, SILBERBUSH A, et al. Disinfection of SARS-CoV-2 by UV-LED 267 nm; comparing different variants [J]. *Sci Rep*, 2023, 13(1): 8229.
- [20] LU Y H, WANG R X, LIU H L, et al. Evaluating the performance of UV disinfection across the 222-365 nm spectrum against aerosolized bacteria and viruses [J]. *Environ Sci Technol*, 2024, 58(16): 6868-6877.
- [21] TROVÓ A G, PINNA-HERNÁNDEZ M G, SORIANO-MOLINA P, et al. Enhancing disinfection and microcontaminant removal by coupling LED driven UVC and UVA/photo-Fenton processes in continuous flow reactors [J]. *Sci Total Environ*, 2024, 918: 170655.
- [22] LARA DE LARREA J, MACISAAC S A, RAUCH K D, et al. Comparison of *Legionella pneumophila* and *Pseudomonas fluorescens* quantification methods for assessing UV LED disinfection [J]. *ACS EST Water*, 2023, 3(11): 3667-3675.
- [23] AMODEO D, MANZI P, DE PALMA I, et al. Efficacy of violet-blue (405 nm) LED lamps for disinfection of high-environmental-contact surfaces in healthcare facilities: leading to the inactivation of microorganisms and reduction of MRSA contamination [J]. *Pathogens*, 2023, 12(11): 1338.
- [24] SONG K, MOHSENI M, TAGHIPOUR F. Application of ultraviolet light-emitting diodes (UV-LEDs) for water disinfection: a review [J]. *Water Res*, 2016, 94: 341-349.
- [25] ONTIVEROS C C, SHOULTS D C, MACISAAC S, et al. Specificity of UV-C LED disinfection efficacy for three N95 respirators [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 15350.
- [26] DONG Z H, ZHOU N, LIU G J, et al. Role of pulsed-xenon ultraviolet light in reducing healthcare-associated infections: a systematic review and meta-analysis [J]. *Epidemiol Infect*, 2020, 148: e165.
- [27] KITAGAWA H, TADERA K, MORI M, et al. The effect of pulsed-xenon ultraviolet disinfection on surfaces contaminated with vancomycin-resistant *Enterococci* in a Japanese hospital [J]. *J Infect Chemother*, 2021, 27(11): 1665-1668.
- [28] SIMMONS S, WIER G, PEDRAZA A, et al. Impact of a pulsed xenon disinfection system on hospital onset *Clostridioides difficile* infections in 48 hospitals over a 5-year period [J]. *BMC Infect Dis*, 2021, 21(1): 1084.
- [29] BUONANNO M, WELCH D, BRENNER D J. Exposure of human skin models to KrCl excimer lamps: the impact of optical filtering [J]. *Photochem Photobiol*, 2021, 97(3): 517-523.
- [30] BUONANNO M, PONNAIYA B, WELCH D, et al. Germicidal efficacy and mammalian skin safety of 222-nm UV light [J]. *Radiat Res*, 2017, 187(4): 493-501.
- [31] WELCH D, AQUINO DE MURO M, BUONANNO M, et al. Wavelength-dependent DNA photodamage in a 3-D human skin model over the far-UVC and germicidal UVC wavelength ranges from 215 to 255 nm [J]. *Photochem Photobiol*, 2022, 98(5): 1167-1171.
- [32] USHIO. White paper: care 222® far-UVC disinfection\* modules in the workplace: testing effectiveness of long-range surface disinfection [EB/OL]. (2021-08-31) [2024-05-18]. <https://www.ushio.com/files/white-papers/ushio/care222-in-the-workplace-testing-effectiveness-of-long-range-surfaceinfection-prevention.pdf>.
- [33] KAIDZU S, SUGIHARA K, SASAKI M, et al. Evaluation of acute corneal damage induced by 222 nm and 254 nm ultraviolet light in Sprague-Dawley rats [J]. *Free Radic Res*, 2019, 53(6): 611-617.
- [34] HESSLING M, HAAG R, SIEBER N, et al. The impact of far-UVC radiation (200–230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes—a collection and analysis of a hundred years of data [J]. *GMS Hyg Infect Control*, 2021, 16: Doc07.
- [35] NARITA K, ASANO K, NAITO K, et al. Ultraviolet C light with wavelength of 222 nm inactivates a wide spectrum of microbial pathogens [J]. *J Hosp Infect*, 2020, 105(3): 459-467.
- [36] PANZURES A. 222 nm UVC light as a skin-safe solution to antimicrobial resistance in acute hospital settings with a particular focus on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and surgical site infections: a review [J]. *J Appl Microbiol*, 2023, 134(3): lxad046.
- [37] MIZUNO S, KASAI M. Inhibition of bacterial growth on sinks of a pediatric intensive care unit using a 222-nm far ultraviolet irradiation device (Care222) [J]. *J Hosp Infect*, 2024, 149: 206-208.
- [38] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 《中华人民共和国传染病防治法》[EB/OL]. (2018-08-30) [2024-06-25]. <http://www.nhc.gov.cn/fz/s3576/201808/6d00c158844f42c5bc94993bffa665a.shtml>.
- [39] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 《中华人民共和国传染病防治法》(修订草案征求意见稿) [EB/OL]. (2020-10-02) [2024-06-25]. <http://www.nhc.gov.cn/fz/s3577/202010/330ecbd72c3940408c3e5a49e8651343.shtml>.
- [40] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 消毒管理办法 [EB/OL]. (2018-06-04) [2024-06-25]. <http://www.nhc.gov.cn/zhjcj/gongwen/201806/047c54980196495ab95856cc4839f3cc.shtml>.
- [41] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 消毒产品卫生安全评价技术要求: WS 628—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [42] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 紫外线消毒器卫生要求: GB 28235—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [43] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 空气消毒机通用卫生要求: WS/T 648—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [44] EADIE E, HIWAR W, FLETCHER L, et al. Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 4373.
- [45] LORENZO-LEAL A C, TAM W, KHEYRANDISH A, et al. Antimicrobial activity of filtered far-UVC light (222 nm) against different pathogens [J]. *Biomed Res Int*, 2023, 2023: 2085140.
- [46] 中华人民共和国卫生部. 卫生部关于印发《消毒技术规范》(2002年版)的通知 [EB/OL]. (2002-11-15) [2024-06-25]. <http://www.nhc.gov.cn/cms-search/xxgk/getManuscriptXxgk.htm?id=16508>.
- [47] 韩杰, 沙斯烁, 李锦, 等. 新型 222 nm 远紫外光源的消毒效果研究 [J]. *中国消毒学杂志*, 2023, 40(10): 721-724.
- [48] DE MATTEIS L, CULLINAN M F, MCGINN C. Numerical model of the irradiance field surrounding a UV disinfection robot [J]. *Biomed Phys Eng Express*, 2022, 8(5): 055025.
- [49] GÖRLITZ M, JUSTEN L, ROCHELETTE P J, et al. Assessing the safety of new germicidal far-UVC technologies [J]. *Photochem Photobiol*, 2024, 100(3): 501-520.
- [50] YAMANO N, KUNISADA M, KAIDZU S, et al. Long-term effects of 222 nm ultraviolet radiation C sterilizing lamps on mice susceptible to ultraviolet radiation [J]. *Photochem Photobiol*, 2020, 96(4): 853-862.
- [51] KAIDZU S, SUGIHARA K, SASAKI M, et al. Safety evaluation of far-UV-C irradiation to epithelial basal cells in the corneal limbus [J]. *Photochem Photobiol*, 2023, 99(4): 1142-1148.
- [52] American Conference of Governmental Industrial Hygienists. 2022 TLVs and BEIs: based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices [M]. Cincinnati: EPA, 2022.
- [53] BONIFANT H, HOLLOWAY S. A review of the effects of ageing on skin integrity and wound healing [J]. *Br J Community Nurs*, 2019, 24(S3): S28-S33.
- [54] GRICE E A, SEGRE J A. The skin microbiome [J]. *Nat Rev Microbiol*, 2011, 9(4): 244-253.
- [55] WERKMEISTER R M, ALEX A, KAYA S, et al. Measurement of tear film thickness using ultrahigh-resolution optical coherence tomography [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(8): 5578-

- 5583.
- [56] CABAN M, OMULECKI W, LATECKA-KRAJEWSKA B. Dry eye in Sjögren's syndrome-characteristics and therapy[J]. Eur J Ophthalmol, 2022, 32(6):3174-3184.
- [57] CLAUS H. Ozone generation by ultraviolet lamps [J]. Photo chem Photobiol, 2021, 97(3):471-476.
- [58] 国家质量技术监督局. 室内空气中臭氧卫生标准: GB/T 18202—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [59] LINK M F, SHORE A, HAMADANI B H, et al. Ozone generation from a germicidal ultraviolet lamp with peak emission at 222 nm[J]. Environ Sci Technol Lett, 2023, 10(8):675-679.
- [60] BERGMAN R S. Germicidal UV sources and systems [J]. Photo chem Photobiol, 2021, 97(3):466-470.
- [61] PENG Z, MILLER S L, JIMENEZ J L. Model evaluation of secondary chemistry due to disinfection of indoor air with germicidal ultraviolet lamps[J]. Environ Sci Technol Lett, 2023, 10(1):6-13.
- [62] WOODS J A, EVANS A, FORBES P D, et al. The effect of 222-nm UVC photo testing on healthy volunteer skin: a pilot study[J]. Photo Dermatol Photo Immunol Photo med, 2015, 31(3):159-166.
- [63] World Health Organization. Research response to pathogen X during a pandemic [EB/OL]. (2024-01-19) [2024-06-25]. <https://www.who.int/news-room/events/detail/2024/01/19/default-calendar/Research-response-to-pathogen-X-during-a-pandemic>.
- [64] World Health Organization. Global technical consultation report on proposed terminology for pathogens that transmit through the air[R]. Geneva: WHO, 2024.
- (收稿日期: 2024-05-24; 网络首发: 2024-08-08)  
(中文编辑: 张伊人; 英文编辑: 张永宏, 洪钧言; 校对: 张永宏)

· 动态信息 ·

## 《上海预防医学》被中国开放获取期刊数据库(COAJ)收录

2024年8月26日,《上海预防医学》被中国开放获取期刊数据库(China Open Access Journal, COAJ)收录。

COAJ是一个非营利性的开放获取期刊数据库,采用严格的审核机制,确保收录期刊和文章的质量,初期核心目标是收录在中国本土出版的开放获取期刊,并发展与我国科研机构及学术团体联系密切的国际开放获取期刊,涵盖了各个学科领域,致力于为我国研究人员和读者集聚开放共享的高质量学术资源。

2021年以来,《上海预防医学》连续4年入编中国科技核心期刊(中国科技论文统计源期刊),并被开放获取期刊数据库(DOAJ)、Scopus、ASCI等数据库收录。本次被COAJ收录是对期刊出版规范及学术影响力的肯定。在此,衷心感谢各位专家学者、读者、审稿人以及编委团队的大力支持与贡献!



45岁及以上人群电子烟使用与主观认知  
下降的关系研究



2005—2022年上海市杨浦区水痘流行病学  
特征及发病趋势预测