分析各種紫外線模式運用於醫院環境清潔消毒

賴錦傳[1]　陳昶華[2]　賴育呈[1]　賴健文[3]　許志仁[4]　賴惠雯[5]

彰化基督教醫院　[1]工務部　[2]感染科　[3]院長室　[4]體系營運中心　[5]感染預防暨控制中心

面對疫情，醫療體系的感染預防與感染控制是阻絕或降低交叉感染的重要防線，醫院環境的潔淨程度已經是目前醫療照護相關感染重要的議題之一。醫院環境的潔淨程度在許多研究後顯示跟改善醫療照護感染有正面相關。然僅靠既有的環衛清潔人力，以單純勞力維護環境清潔與消毒，要維持醫院全面性高品質的安全環境及阻絕病菌散播是困難的，在許多國家醫院感染控制，運用漂白水「手動清潔」，和紫外線 UV-C 消毒，四級氨消毒劑，脈衝氙紫外線等等研究仍有可再討論的空間。整個防疫是需要策略的，醫療端佈下天羅地網來加以因應，全方位的整體防疫策略期望在面對總總未知的疫情控制與醫院環境安全品質的提昇能有所助益。（**感控雜誌 2020:30:249-258**）

關鍵詞： 醫院環境消毒清潔模式、 紫外線、環境安全品質

前　言

2020 年 COVID-19 的疫情全球大蔓延，顛覆了人類習以為常的生活模式，此時此刻似乎在提醒著人類該如何反思為何疫情會全球蔓延。2019 年全球最大熱帶雨林、有地球之肺美稱的亞馬遜森林，遭遇了紀錄以來最頻繁的火災，焚毀土地約 90 萬公頃，這因人類慾望、需求導致行為所引起的環境破壞及可能造成未來疫情的影響程度是人類所無法想像的。幾個世代來，黃熱病只在亞馬遜盆地流行，2016 年黃熱病已傳播到亞馬遜以外，人類無國界的全球化世界，已造成全球暖化和生態系統的破壞，也

民國 109 年 4 月 17 日受理
民國 109 年 5 月 21 日修正
民國 109 年 6 月 17 日接受刊載

通訊作者：賴錦傳
通訊地址：彰化市南校街135號
連絡電話：(04) 7238595

DOI: 10.6526/ICJ.202008_30(4).0004

讓原地域性的疾病有機會突破自然生態的防護網 (層)，進而跨域遷移擴散並造成全球化的疫情大流行。然而面對這些未知或已知的疫情時，首當其衝的就是衛生醫療及後勤支援體系或後勤供應商或維護單位。等都舉足輕重，每個政策的制定及流程的執行也都環環相扣缺一不可，醫療機構是醫治這些病人的重鎮，而內部的感染預防與感染控制更是阻絕或降低交叉感染的重要防線。台灣自 2007 年 7 月依據傳染病防治法修正條文第三十二條的修訂醫療機構執行感染控制措施查核辦法，進行醫療機構之感染控制措施查核，迄今已經約 13 年，目前感染控制重點之一是提升醫院環境的清潔程度，減少環境中的致病菌，保持環境清潔乾淨，期待可以預防醫療照護相關感染[1]，此外，醫院環境的清潔程度與醫療照護相關感染有關聯性，讓醫院環境的潔淨程度，成為目前醫療照護相關感染重要的議題之一[2]。

維持與提昇醫院環境清潔的重要性

醫院環境的潔淨程度的重要性已經有許多研究，盧醫師等研究指出某區域教學醫院在 2014 年 5 月至 2015 年 12 月運用多面向感染管制策略用來提升醫院環境清潔成效進行研究[3]，研究期間總床數達 1,017 床，擬定了政策並三個執行階段，分別在五個病房單位，進行宣導與推廣，使用 ATP 生物冷光反應法 (adenosine triphosphate bioluminescence technique) 做為環境清潔成果的確效工具。經策略執行及實務改造後發現提升環境清潔的成效。但由於多重抗藥性菌可在環境表面久存，三個執行階段裡可見不合格項目前三名都發現電燈開關名列其中。維持或提昇醫院安全的環境清潔品質是重要的，甚至須由最常接觸卻又常忽略的小處著手，然現況若僅倚靠醫院既有的環衛清潔人力，並單純的以勞力付出來維護環境清潔與消毒，那要維持醫院全面性高品質的安全環境用來阻絕病菌散播將會是困難的，且背後所付出的人力資源、物資及代價都是昂貴的。

紫外線 (UV-C) 在醫院環境清潔的運用

面對多重抗藥性菌中困難梭狀桿菌 (*Clostridium difficile*，以下簡稱困梭菌) 是最困難清潔消毒的菌種之一。2014 年美國國家醫療保健安全網 (national healthcare safety network, NHSN)，接獲超過十萬例因醫療照護感染困梭菌的個案通報。環境污染是導致醫療照護感染困梭菌的危險因素之一；然而環境清消的成效仍受限於人為依標準規範執行的落實度。困梭菌孢子在醫院環境中可持續存在多達 5 個月之久，因此環境清消更是一大重點及考驗。在一間綜合癌症中心裡進行了一項紫外線與漂白水對於

困梭菌孢子的消毒成效的研究[4]，研究評估加上隨後採用波長為 254 奈米 (nm) 的紫外線 (UV-C) 消毒儀，對於困難梭狀桿菌感染 (*Clostridium difficile* infection, CDI) 患者的住院病房環境表面的消毒成效。環境清消方式規定每天用漂白水進行房間消毒和 UV-C 消毒浴室，病人出院後，浴室和房間都會先用漂白水進行終期消毒，隨後立即用 UV-C 消毒儀在浴室進行消毒 10 分鐘，在病房則使用三個 UV-C 消毒儀消毒 45 分鐘。病房檢測困梭菌陽性率有 23%，其中馬桶座和床上活動桌是最常見的地點。在所有採檢點中，經 UV-C 照射後再採檢困梭菌陽性比率呈現顯著減少困梭菌孢子的存在，另該研究也發現在尚未使用 UV-C 消毒與使用 UV-C 消毒的同期相較下，CDI 病例也呈現減少的現象。另該篇報告提及尚有四組臨床研究，分別以 1. 四級氨消毒劑、2. UV 紫外線和四級氨消毒劑、3. 漂白水、4. 漂白水和 UV 紫外線進行研究探討，其中發現以「UV 紫外線和四級氨消毒劑」這組在病室終期消毒後，明顯減少了病人暴露於多重抗藥性菌下的感染率。所以有此看來藉由紫外線 (UV-C) 消毒似乎可輔助環衛人員的清消不足。

氙氣紫外線在醫院環境清潔的運用

關於困梭菌清潔消毒的方法之一是氙氣紫外線，Priya Sampathkumar [5]等研究，在 2014 年針對一家擁有 2,059 床，平均 50,000 例入院和每年 330,000 病人日的大型三級照護醫院，以漂白水消毒作為減少 CDI 的執行措施，然全院與醫療相關的 CDI 率仍高，每 10,000 病人日即佔有 9.23%。因此該院於 2014 年 10 月~2015 年 3 月半年的期間，採用脈衝氙氣紫外線進行消毒，用以減少困梭菌感染的試驗[5]，脈衝氙氣紫外線別於一般的 UVC 紫消燈，主要在脈衝頻率大於 60 Hz 時，可發出波長為 200~300 nm 的高強度廣譜殺菌光。實驗以血液、骨髓移植及醫療外科 3 個單位為介入單位，於病人出院和終期消毒後增加了紫外線消毒的步驟，並另選與其病人類似族群的 3 個單位做為實驗對照單位。2013 年 1 月~2014 年 9 月未增加脈衝氙氣紫外線消毒時，介入組的 CDI 為每 10,000 病人日 21.3%，對照組的 CDI 則每 10,000 病人日 26.1%，做為評估基準時兩者相似差異不大，萬古黴素抗藥性腸球菌 (vancomycin-resistant *Enterococci*, VRE) 的介入組為每 10,000 病人日 25.6%，對照組的 VRE 每 10,000 病人日 46.0%，2014 年 10 月~2015 年 3 月導入脈衝氙氣紫外線進行消毒，於終期消毒後及病床鋪床前以 5 分鐘為循環，並在 3 個位置進行 3 次脈衝氙氣紫外線消毒，介入組的 CDI 降至每 10,000 病人日 11.2%，對照組的 CDI 則每 10,000 病人日 28.7%，與介入前的差異不大。

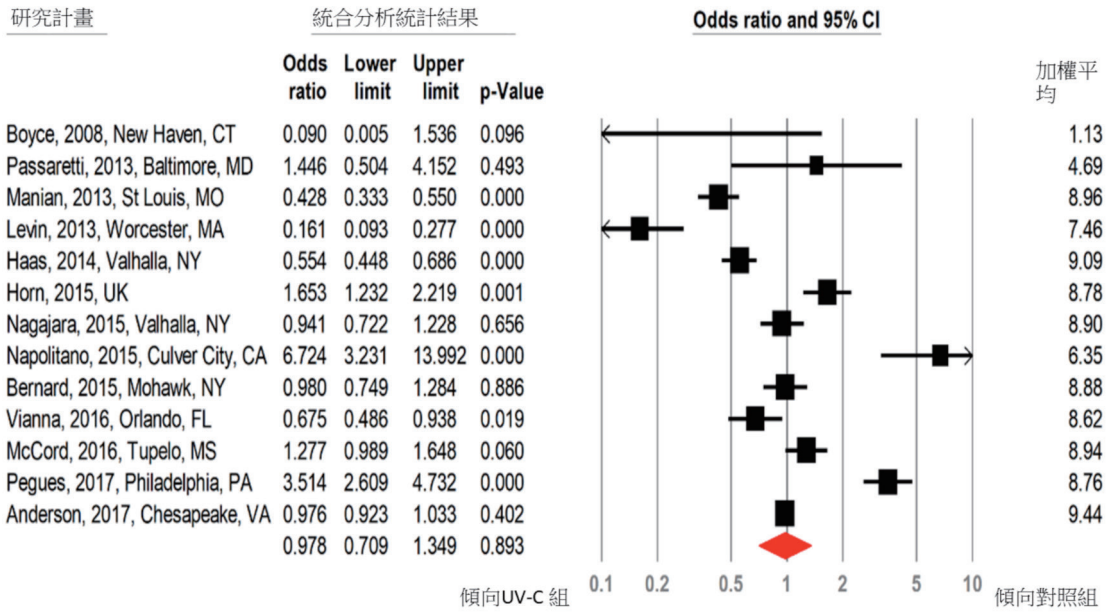
VRE 的介入組為每 10,000 病人日 12.3%，對照組的 VRE 每 10,000 病人日 32.5%，由此實驗結果發現於終期消毒後及病床鋪床前增加脈衝氙氣紫外線做環衛清潔人員消毒的輔助工具，減少了醫院的 CDI 和 VRE。

UV-C 研究的統合分析

而傳染病的傳染途徑有接觸感染、飛沫或空氣傳染和其他傳染途徑…等，某些傳染病的傳染方式並非僅止於一種傳染途徑，如：水痘是最具傳染性的疾病之一，主要可經由皮膚直接接觸、飛沫或空氣傳染，具有多重的傳染途徑，另困梭菌主要傳染方式為接觸感染，困梭菌屬營養苛求性細菌，環境中若無法再提供養分時，就會轉變成孢子的形態，並存活於乾燥物體表面或土壤中有幾月之久，困梭菌可存活在環境中如此之久，有學者就針對困梭菌在空氣傳播的潛力進行相關研究[6]，以可攜式環境空氣採樣機進行空氣採集試驗，發現環境、病人糞便檢體及空氣中的困梭菌分離菌株是相同或高度相關的，因此似乎表明困梭菌也可能藉由多重的傳染途徑進行傳染，因此對多重傳染途徑的環境清消而言更是一大挑戰，單純僅就上述研究以 UV-C 消毒儀或脈衝氙氣紫外線消毒來看，環境清消的策略仍有討論的空間。使用 UV-C，在減少醫院困梭菌的傳播並減輕醫療照護相關感染的負擔的成效，一直眾說紛紜。陳等 (預計投稿 2020 今年台灣實證醫學會年會) 對 UV-C 方法減少困難梭狀桿菌的影響，進行系統的文獻整理[7-17]，和統合分析，評估 UV-C 技術對困難梭狀桿菌效果。在 1994 年迄今，總共涵蓋 13 個研究，使用 UV-C 技術，並且評估其對困難梭狀桿菌效果。在統合分析的 random effect model 後，發現有使用 UV-C 比沒有使用 UV-C，困梭菌感染率勝算比值為 0.978 (95% 信賴區間，0.709~1.349，$p = 0.883$) (圖一)。在使用 UV-C 與否的困梭菌感染率，在統計學上沒有呈現顯著差異。UV-C 技術，對於預防困梭菌感染，需要進一步研究驗證其效果。

維持與提昇醫院環境清潔的紫外線的理論

知己知彼才能百戰百勝，在面對這些平常肉眼所看不到也摸不著的細菌與病毒，如何主動出擊建立一套有效的防疫策略與機制才能贏得勝利實須加以費心及著墨。紫外線對生物細胞具有強的抑制作用，一般常被利用來殺死細菌或病毒，依國際照明委員會 (international commission on illumination) 定義紫外光波長介於 100~400 nm 之間，紫外線光譜分為三個波段，第一個波段 UVA 介於 315~400 nm，第二個波段 UVB 介於 280~315 nm 及第三個波段 UVC

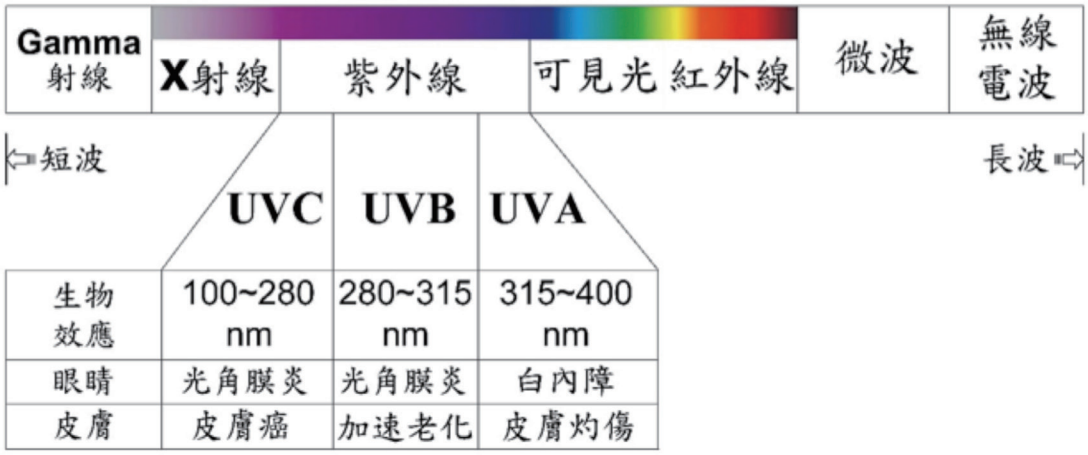


圖一　統合分析後，發現有使用 UV-C 比沒有使用 UV-C，困難梭狀桿菌感染率勝算比值為 0.978 (95% 信賴區間，0.709~1.349，p = 0.883)

介於為 100~280 nm，其中波長介於 240~280 nm 的紫外線 (ultraviolet) 容易為 DNA 吸收，造成其結構改變，進而影響 DNA 正常功能，影響微生物生長，而波長約在 260 nm 之紫外線殺菌力最強，因此 UV-C 成為絕大部分作為殺菌的主要武器。惟每種微生物對於 UVC 的耐受程度及足以被殺死的劑量都不盡相同 (表一)，再加上照射劑量 D^{uv} ($\mu W-sec/cm^2$) 是等於照射強度 I ($\mu W/cm^2$) 及照射時間 t (sec) 的乘積，因此微生物的耐受性、照射強度及照射時間是決定紫外線殺菌能力的關鍵因素，然而在時間就是生命，時間就是金錢的醫療體制裡，UVC 在滅菌或消毒過程是要迅速的且有效的，在這相對的快速要求結果下，對於 UVC 的安全設計或人為的操作不當，對人類所帶來的健康危害是存在的，在歐盟人造光輻射指令 EU-Directive-2006-25-EC 提到，UVC 是最危險的，取決波長和能量與其關係最大暴露時間可能只有幾秒鐘。就紫外線傷害而言美國勞動部職業安全與健康管理局 (occupational safety and health administration, OSHA) 提到紫外線對於皮膚傷害有紅斑、加速老化、致癌…等及對於眼睛傷害有光角膜炎癌、白內障…等危害，紫外線各不同波段特性及危害比較如圖二所示[18]，因此除了照射強度所須考量對人員的安全影響外，如

表一　UVGI 等級標準值對四種不同類型微生物殺菌能力[19]

URV	UV Dose $\mu J/cm^2$	Anthrax (炭疽病) Kill, %	Influenza (流感) Kill, %	Smallpox (天花) Kill, %	TB (結核病) Kill, %
1	1	0	0	0	0
2	10	0	1	2	2
3	20	0	2	3	4
4	30	0	3	4	6
5	50	1	6	7	10
6	75	1	9	11	15
7	100	2	11	14	19
8	150	2	16	20	27
9	250	4	26	32	41
10	500	8	45	53	66
11	1,000	15	69	78	88
12	1,500	22	83	90	96
13	2,000	28	91	95	99
14	3,000	39	97	99	100
15	4,000	49	99	100	100
16	5,000	57	100	100	100
17	6,000	63	100	100	100
18	8,000	74	100	100	100
19	10,000	81	100	100	100
20	20,000	96	100	100	100
κ , $cm^2/\mu J$		1.67×10^{-4}	1.187×10^{-3}	1.1528×10^{-3}	2.132×10^{-3}

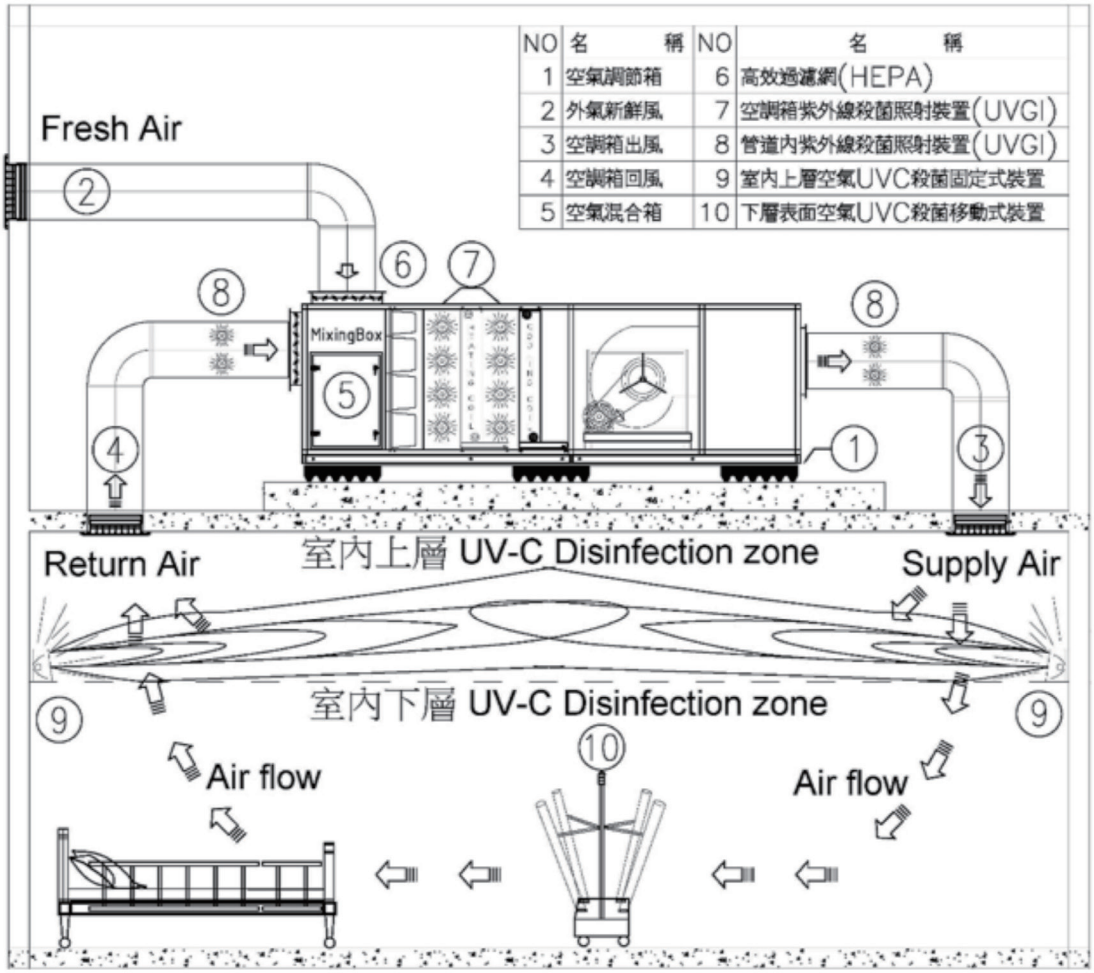


圖二　紫外線各不同波段特性及危害比較圖

何減少照射時間又不提昇照射強度且能提昇病房運轉效能似乎是個提昇環境安全品質的一個重要議題。整個防疫策略可佈下天羅地網來防治，詳如圖三所示。

提昇醫院環境消毒清潔模式

在環境面對接觸感染及飛沫或空氣傳染的多重傳染途徑的清消裡，避免危害控制方法可從發生源、傳染途徑及暴露者來加強防護，接觸感染的控制環衛清潔人力可以依發生源、傳輸路徑及暴露者應有的標準程序來落實維護環境清潔與消毒，並輔以 UV-C 紫外線消毒儀來提昇品質，而針對飛沫或空氣傳染控制方法可視傳染狀況選用局部排氣或整體換氣來助於降低生物氣膠濃度以降低感染風險，其中控制條件除了通風的換氣率 (air change rate) 還包含了氣流型態、流向及溫、濕度等相關因素



圖三　醫院全方位環境清消之防疫策略圖[19-20]

須加以考量。在藉由通風換氣降低生物氣膠濃度後，可於室內空氣上層、風管側或空調箱側裝設紫外殺菌照射 (ultraviolet germicidal irradiation, UVGI) 裝置[19]做為空調系統的殺菌武器，UVGI 的等級標準值 (UVGI Rating Value, URV) 與四種不同類型微生物殺菌能力如表一所示。然就紫消燈的照射劑量而言，除照射強度足夠外，另一條件照射時間在空調系統裡由於不論風管或空調箱內都可能因風速太快，影響了照射時間的不足，因此以空調系統而言可搭配高效率空氣過濾器 HEPA (high efficiency particulate air filter, HEPA filter) 來進行空氣淨化，HEPA 對於 0.3 μm 粒子具有 99.97% 的過濾效率，而生物氣膠物種細菌的粒徑範圍剛好介於 0.3~30 μm，對此而言高效濾網捕集細菌的效果是良好的，如此再輔以 UVGI 進行殺菌處理，可彌補因風速較快可能導致照射時間的不足的缺憾。另外當 UVGI 設置於空調箱內，其照射空間並非於病房或工作區內，因此病人、工作人員、家人和客人不致暴露於 UVGI 下，即不致可能引發導致皮膚紅斑 (曬傷) 及眼睛角膜炎等傷害。

提昇醫院環境消毒清潔模式的防疫策略

整個防疫策略可佈下天羅地網來因應這些無法視覺化的傳染途徑，詳如圖三所示，地網可針對接觸或飛沫或空氣傳播並以不影響人員危害的消毒方式執行，如：1. 環衛清潔人員依標準程序來落實維護環境清潔與消毒，以降低接觸感染。2. 病房或工作場所內，於終期消毒後及病床鋪床前，直接以 UV-C 紫外線消毒儀或脈衝氙氣紫外線輔以消毒，以降低飛沫或空氣傳播傳染，唯直接照射方式進行消毒，須注意人員不經意時遭直接照射造成危害。天羅可針對飛沫或空氣傳播及以不影響人員危害的消毒方式執行，如：1. 病房或工作場所內設置 UVGI 並採間接照射方式進行消毒，以不影響人員危害且能長時進行消毒或殺菌。2. 病房或工作場所內的空調系統內設置高效濾網過濾並以 UVGI 直接照射方式進行消毒，不但對人員無直接照射影響危害且能長時進行消毒或殺菌。

綜合天羅地網全方位的整體防疫策略期望在面對種種未知的疫情能有所助益，除輔助環衛清潔人力的不足外，更期望對於醫院環境安全品質的提昇能有所助益。

參考文獻

1. Otter JA, Yezli S, French GL: The role played by contaminated surfaces in the transmission of nosocomial pathogens. Infect Control Hosp Epidemiol 2011;32:687-99.
2. Rutala WA, Weber DJ: Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, 2008. Available http:// https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/disinfection/index.html.

3. 盧進德，莊依如，李怡頡，等：運用多面向感染管制策略提升醫院環境清潔成效。感控雜誌 2019:29:11-22.
4. 張炳欽，陳郁慧，湯宏仁：紫外線與漂白水對於困難梭狀桿菌孢子的消毒成效。感控雜誌 2018:28:38-40.
5. Sampathkumar P, Folkert C, Barth JE, et al: A trial of pulsed xenon ultraviolet disinfection to reduce Clostridioides difficile infection. Am J Infect Control 2019;47:406-8.
6. Best EL, Fawley WN, Parnell P, et al: The potential for airborne dispersal of Clostridium difficile from symptomatic patients. Clin Infect Dis 2010;50:1450-7.
7. Boyce JM, Havill NL, Otter JA, et al: Impact of hydrogen peroxide vapor room decontamination on Clostridium difficile environmental contamination and transmission in a healthcare setting. Infect Control Hosp Epidemiol 2008;29:7-9.
8. Passaretti CL, Otter JA, Reich NG, et al: An evaluation of environmental decontamination with hydrogen peroxide vapor for reducing the risk of patient acquisition of multi-drug-resistant organisms. Clin Infect Dis 2013;56:27-35.
9. Manian FA, Griesnauer S, Bryant A: Implementation of hospital-wide enhanced terminal cleaning of targeted patient rooms and its impact on endemic Clostridium difficile infection rates. Am J Infect Control 2013;41:537-41.
10. Levin J, Riley LS, Parrish C, et al: The effect of portable pulsed xenon ultraviolet light after terminal cleaning on hospital-associated Clostridium difficile infection in a community hospital. Am J Infect Control 2013;41:746-8.
11. Haas JP, Menz J, Dusza S, et al: Implementation and impact of ultraviolet environmental disinfection in acute care setting. Am J Infect Control 2014;42:586-90.
12. Nagaraja A, Visintainer P, Haas JP, et al: Clostridium difficile infections before and during use of ultraviolet disinfection. Am J Infect Control 2015;43:940-5.
13. Napolitano NA, Mahapatra T, Tang W: The effectiveness of UV-C radiation for facility-wide environmental disinfection to reduce healthcare-acquired infections. Am J Infect Control 2015;43:1342-6.
14. Bernard H, Little J: The impact of ultraviolet (UV) disinfection system coupled with evidence-based interventions on the incidence of hospital onset Clostridium difficile (HO-C-Diff). Am J Infect Control 2015;43:S27.
15. Vianna PG, Dale CR Jr, Simmons S, et al: Impact of pulsed xenon ultraviolet light on hospital-acquired infection rates in a community hospital. Am J Infect Control 2016;44:299-303.
16. McCord J, Prewitt M, Dyakova E, et al: Reduction in Clostridium difficile infection associated with the introduction of hydrogen peroxide vapour automated room disinfection. J Hosp Infect 2016;94:185-7.
17. Pegues DA, Han J, Gilmar C, et al: Impact of ultraviolet germicidal irradiation for no-touch terminal room disinfection on Clostridium difficile infection incidence among hematology-oncology patients. Infect Control Hosp Epidemiol 2017;38:39-44.
18. Martin SB, Dunn C, Freihaut JD, et al: Ultraviolet germicidal irradiation current best practices. ASHRAE Journal 2008;50:28-36.
19. Kowalski WJ, Bahnfleth WP: Proposed Standards and Guidelines for UVGI Air Disinfection. IUVA News 2004;6:20-5.
20. Boyce P: Controlling Tuberculosis Transmission with Ultraviolet Irradiation. In: Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute 2003.

Analysis of various ultraviolet models used in environmental cleaning

Chin-Chuan Lai[1], Chang-Hue Chen[2], Lai Yu-Cheng[1],
Chien-Wen Lai[3], Hsu Chih-Jen[4], Huei-Wen Lai[5]

[1]Department of Engineering, [2]Division of Infectious Diseases, [3]Superintendent's Office,
[4]Healthcare System Operation Center,
[5]Center For Infection Prevention and Control, Changhua Christian Hospital, Taiwan, ROC

Infection prevention and infection control in the medical system are important to reduce cross-infection. Environment cleaning has become one of the most important ways of reducing healthcare-associated infections. It has shown to be positively related to improving the quality of medical care. However, it is difficult for the personnel in charge of cleaning to maintain the cleanliness and disinfection of the environment and hence a high-quality clean environment in the hospital. In many institutions, hospital infection control programs use non-touch disinfection methods, such as ultraviolet C disinfection, four-level ammonia disinfectant, and pulsed xenon ultraviolet. Infection prevention strategies are important to improve and maintain a clean hospital environment.

Key words: Environmental clean, ultraviolet C disinfection, safety quality