

二氧化氯在醫院環境的氣液滅菌效能研究

盧明俊¹ 劉明哲^{2a} 賴政國^{2b} 樓震平^{3a} 吳少白^{3b}

摘要

全球性各式傳染疾病威脅日盛，更加突顯出醫院環境的消毒防疫與空氣品質控制的重要性，本文以國軍桃園總醫院為研究環境，驗證四種生化消毒劑的氣液滅菌效能。

配製STB耐熱漂白粉(1417 ppm)、八二式消毒劑(4877 ppm)、次氯酸鈉漂白水(1386 ppm)與EP 606 二氧化氯消毒劑(193 ppm)，對於總菌落數為 3.2×10^5 CFU/mL 的醫療性廢水，均能達到 99.9% 以上的滅菌率；其中二氧化氯確效滅菌濃度約僅為其他氯系消毒劑的 1/7；在內科門診部的環境採樣與消毒研究中得知：七間門診室內的電話聽筒，表面平均殘存菌落為 180 個，高於門把上的 15 個，使用手持噴霧器於各式物品表面噴出 2 次(每次約 1.5mL) 200ppm 二氧化氯溶液，三分鐘後的滅菌率依序為：門把(100%)=聽筒(100%)>椅面(90.3%)>地板(20.5%)。最後，針對醫院空氣中生物氣膠的背景值採樣後發現，其空間菌落數依序為：半封閉式空間的內科候診區(318 CFU/m^3)>半封閉式空間的外科候診區(183 CFU/m^3)>開放式空間的急診部門(58 CFU/m^3)，以超音波氣霧與手持噴霧器滅菌 30 分鐘後，內科候診區平均菌落由 421 CFU/m^3 降為 21 CFU/m^3 ，滅菌率可達 95.0%，遠低於日本的室內細菌氣膠濃度標準(300 CFU/m^3)。二氧化氯在氣霧態與溶液態的滅菌性能值得肯定與重視，相關測試數據亦可提供醫院感管與消毒參考。

關鍵字：二氧化氯(ClO_2)、耐熱漂白粉(STB)、菌落數(CFU/mL)、氣膠(Aerosol)

前言

二氧化氯為聯合國世界衛生組織(WHO)與糧食組織(FAO)所推薦的消毒劑，並為世界衛生組織的實驗室生物安全指引中所表列的消毒劑【1】，它不受酸鹼度干擾的滅菌性能且不產生致癌性三鹵甲烷(THMs)副產物的特質【2】，也被歐美國家推崇為綠色消毒劑。早在 1946 年 Ridenour 等人的研究報告中就曾指出，二氧化氯能夠使脊髓灰質炎(小兒麻痺症; Poliomyelitis)的病毒死亡而失去活性【3】，而 1973 年的 Smith 等人則發現，比中性稍高的鹼性環境下，二氧化氯比氯氣在眾多的病毒中，如伊科病毒 7 (Echo viruses Type 7)、克沙奇病毒 B3 (Coxsackie virus B3) 與仙台病毒(Sendai virus)具有較佳的滅菌速

率【4】；而 1980 年的 Roberts 等人則發表了氯氣和二氧化氯在 2 ppm 的濃度接觸 2 分鐘後，小兒麻痺病毒 1 型(Polioviruses types 1)的殘餘率為 63.1% 和 6.3%【5】。

早在 1967 年，美國環保署已將二氧化氯水溶液登錄為一種消毒劑(disinfectant)或制菌劑(sanitizer)，在 1988 年時，美國環保署更將二氧化氯氣體推崇為第三級滅菌劑(sterilant)【6】。此外，依據 Hoehn 等人的報導，1992 年時全世界已有超過 700 個使用二氧化氯取代氯氣進行淨水消毒的自來水廠【7】，而至今已經超過二千座，其最大的優點在於可避免誘發產生三鹵甲烷等致癌物。根據 1997 年 Huang 等人與 1999 年美國環保署對於二氧化氯殺滅病毒的研究報告中，亦可得知其消毒作用比臭氧(O_3)和氯更為有效，二氧化氯對於水中克沙奇病毒(腸病毒; Coxsackievirus)、伊科病毒(人類腸道病毒; Echo

1. 嘉南藥理科技大學 環境資源管理系 教授

2. 陸軍化學兵實驗所 ^a副主任 ^b主任

3. 國軍桃園總醫院 ^a感控部主任 ^b院長

viruses)、小兒麻痺病毒 (Polioviruses)、皰疹病毒 (Herpes simplex virus HSV)、A型肝炎病毒 (Hepatitis A virus)、B型肝炎病毒 (Hepatitis B virus)、新城病毒 (Newcastle disease virus)、噬菌體 (Bacteriophage)、牛痘病毒 (Vaccinia virus)、脊髓灰質炎病毒 (Poliomyelitis)、仙台病毒 (Sendai virus) 等眾多病毒，均有很好的殺滅效果【8、9】。

因為二氧化氯的優良滅菌性能，在 911 恐怖事件後的一連串炭疽桿菌攻擊事件中，美國環保署(US EPA)首度在國會山莊的哈特(Hart)參議員辦公室建築中，使用濃度為 500ppm 的二氧化氯氣體進行炭疽桿菌消毒，成功的解除國家生物污染危機；隔年再度使用二氧化氯熏蒸法，成功地消毒一個位於在華盛頓特區的 Brentwood 郵件處理和分發中心的存物櫃【6】。抗煞期間，執行和平醫院、陽明醫院與榮民總醫院消毒時，國軍亦曾使用 500 到 1000 ppm 的二氧化氯水溶液，進行消毒區通往清潔區之間的通道污染控制，並以 5 到 10 ppm 的二氧化氯水溶液加注於人員消除站的供水系統中，進行人員消除，成功地完成任務【10】。

本文以國軍桃園總醫院做為研究環境，藉由實驗設計與不同環境下的二氧化氯氣液消毒效能報告，提供醫院進行環境消毒的參考。

實驗方法

一、儀器藥品：

1.微生物培養室(高溫高壓滅菌釜、無菌工作台、恆溫培養箱、菌落計數器) 2.碘間接滴定設備及藥品 3. 二氧化氯分光儀 (ODYSSEY DR/2500) :直讀法、CRP及DPD法 4.手持噴霧器 (容量為一公升) 5. EP 606[®]超音波氣霧機(17000次/秒高頻超音波分子霧化器)，高碩實業有限公司 6. XMX/2AL 空氣菌落採集機 (100-1000L/min)，加拿大Dycor公司 7. EP 606[®] 雙試劑型二氧化氯，高碩實業有限公司。

二、實驗規劃

1.本研究針對國軍桃園總醫院排放廢水、內科門診部門的問診室器材與候診區空間，區分三個部分進行採樣及滅菌測試；所使用的主要消毒劑為高碩實業公司所提供之EP 606[®]雙試劑型二氧化氯(Two Part System Chlorine Dioxide)，對於有效氯與二氧化氯的定量分析，參照美國公共健康協會(APHA)等單位出版的「水和廢水標準測試方法」中的碘滴定法與分光光度計法(4500-ClO₂ CHLORINE DIOXIDE)【11】。

$$\text{二氧化氯含量} = \frac{(V - V_0) \times C \times 0.01349 \times (\text{稀釋倍數})}{(W)} \times 100\%$$

★ V(mL)：滴定所使用之硫代硫酸鈉毫升數

★ V₀(mL)：空白實驗所消耗硫代硫酸鈉毫升數

★ W(g)：樣品取量數

★ C：硫代硫酸鈉之當量濃度(N)

2.在醫療廢水部分：採集原廢水，以四種生化消毒劑：STB耐熱漂白粉(次氯酸鈣)、八二式消毒劑(二氯異氰尿酸鈉)、漂白水(次氯酸鈉)與EP 606[®]消毒劑(二氧化氯)進行添加滅菌性能測試，以混合稀釋法(NIEA E204.51)進行總菌落數培養。

3.在門房手把、電話聽筒、椅面與地板部分：以無菌棉沾稀釋劑或無菌水，進行病床、門房手把與電話機的表面背景值採菌後，予以編號培養，再以 200ppm 二氧化氯溶液進行噴霧滅菌三分鐘後採菌培養。

4.在候診區空間氣體部分：操作空氣菌落採集機進行各區間背景採樣後，再以EP 606[®]超音波二氧化氯氣霧機，進行各區域不同時間的200ppm二氧化氯噴霧滅菌測試，將樣品送交陸軍化驗所進行菌落培養【12】。

結果與討論

一、醫院廢水滅菌測試：

先配製好一系列濃度的二氧化氯水溶液與次氯酸鈉漂白水溶液，各取出 1 毫升消毒液，添加於 9 毫升的醫院廢水中，均勻混合 10 分鐘後，再取出 1 毫升進行菌落培養，可獲得表 1.的結果，空白對照組的總菌落數為 3.2×10^5 CFU/mL，大腸桿菌數為 2.0×10^4 CFU/100mL。由表 1.中可明顯得知：濃度 10 ppm的二氧化氯溶液與 30 ppm的次氯酸鈉溶液分別具有 99.81%與 99.93%的良好滅菌能力，此與 1997 年Huang等人【9】發表殺滅 90%的枯草桿菌 (*Bacillus subtilis*)，需要濃度 0.6 ppm的二氧化氯溶液與 1.2 ppm的次氯酸鈉溶液，有相類似的有效濃度比例。

若將濃度降低到僅為 0.07 ppm的二氧化氯溶液與 0.173 ppm的次氯酸鈉溶液，其滅菌能力仍然分別具有 63.41%與 86.06%；就現行醫院廢水排放法規而言（大腸桿菌群為 2×10^5 CFU/100mL），若以表 1.中的最低濃度的二氧化氯與次氯酸鈉溶液進行末端加藥消毒處理，其排放水質均應能符合法規要求。

今探究二氧化氯滅菌能力的優勢機制，主要在於水溶液中微小穩定的二氧化氯分子，能輕易地穿透滲入(penetrates)細菌的細胞內，並以它高於氯液約 2.6 倍的氧化能力，可輕易破壞細菌的合成代謝系統並奪取電子；若使用傳統的氯液來滅菌，其所水解出的有效成分為次氯酸(HOCl)，而當溶液中酸鹼度偏鹼性時(pH>7)，次氯酸則解離成帶有負電荷的次氯酸根離子(OCl⁻)。由於醫院排放廢水多為中性或偏鹼性的環境下，加上次氯酸根離子滅菌效能僅為次氯酸(HOCl)的 1/80（主要因為帶負電荷的次氯酸根與細胞表面會產生電荷排斥效應）【13】，因此採用中性二氧化氯來消毒，其效能一般至少可達到次氯酸鈉的 2 至 3 倍。



對於高污染環境的滅菌效能，先將各式消毒劑依現行指導作業規範配製完成後，同樣以未經處理的醫院廢水為測試對象，分別滅菌 2、5、10 分鐘後，可獲得表 2.結果。結果顯示出現行各式的生化消毒劑滅菌效能良好，均能達到 99.9%以上的滅菌能力，其中二氧化氯消毒劑的確效滅菌濃度，僅需其他氯系消毒劑的 1/7 至 1/25，效能最為良好。

二、內科門診區環境滅菌測試：

表 3.顯示門診室內的電話聽筒平均每支為 180 個菌落，比門把的平均每個 15 個菌落為多，其原因應在於電話機所在位置為醫師、護士、病人共處的區域，加以不同接聽電話者的手部均可能沾染菌落，造成話筒上的共同累積，若再加以未戴口罩的接聽電話者所產生的飛沫，更使得話筒成為各類菌落滋生的溫床。表 3.中亦可得知滅菌效能排序為：門把(100%)=聽筒(100%)>椅面(90.3%)>地板(20.5%)，接受消毒的物體表面愈光滑、不吸水者，其滅菌效能愈佳；而平時較為骯髒、粉塵較多且吸收力較強的地板，並不十分適用直接噴灑消毒的方式，若能以拖把擦拭塗抹或是灑水浸漬的方式進行消毒，其滅菌效果應可再提昇。

無論是門把、聽筒或是椅面，其表面經 200 ppm的 EP 606®二氧化氯溶液噴霧兩次後，均能有效滅菌 90 %以上，其關鍵應在於滅菌對象均為不吸水的光滑塑膠表面，能讓二氧化氯溶液有效地接觸細菌所致；至於對於地板的噴霧滅菌效果較差，僅有 20.5 %，其原因應在於磨石子材質的地板，表面粗糙且吸水性較強、有效樣本採樣不易之故。1967 年Bernarde 等人曾提出蛋白質的瓦解是使微生物失去活性的主要消毒機制，而 1986 年的Aieta and Berg等人則提出滲透作用能破壞細胞外層膜，導致外層膜的蛋白質與脂質滲透率增加，使得病菌能逐漸被分解【9】，而這些作用都必須建立在有效的接觸關係上。因此，當

使用二氧化氯溶液進行噴灑滅菌消毒時，接觸物體的表面光滑性、堅硬度、吸水性皆成為影響滅菌性能的重要考慮因子。

三、內科候診區空氣滅菌測試：

生物氣膠(aerosols)為醫院內細菌、病毒傳播的重要媒介，欲執行具有代表性的醫院內生物氣膠採樣並不容易，因為採樣作業中很容易因時間、空間、溫度、溼度與流動量等因子干擾，進而影響菌落培養的結果代表性。本研究先以隨機採樣方式，操作 XMX/2AL 空氣菌落採集機(1000L/min)，進行背景值隨機採樣收集，評估不同區域中每立方公尺氣積量的菌落情形，初步得知屬於開放式空間的急診部門為 58 CFU/m³，半封閉式空間的外科候診區為 183 CFU/m³，半封閉式空間的內科候診區則最高為 318 CFU/m³，因此最後選擇內科候診區做為二氧化氯氣體滅菌測試對象。

內科候診區空間容積約為 445.5 立方公尺，在估算有效的 200 ppm 二氧化氯釋放量(3mL/m³)之後【14】，將 1090 毫升的二氧化氯溶液氣霧化釋放於空氣中進行氣體滅菌效能測試。在測得內科候診區的背景值後，先開啟 EP 606[®] 超音波氣霧機(3mL/min)，再搭配手持噴霧器對於牆壁與空中(採由內而外、由左而右、由上而下方式)進行噴灑，總共釋放出 1090 毫升的 200 ppm 二氧化氯溶液於空間中，因其沸點(11℃)低於室溫 24℃，當溶液氣霧化之後，二氧化氯氣體分子立即揮發出來獵殺空間細菌，將候診區空間靜置 30 分鐘後，此時空間中氣體最大濃度相當於 0.08 ppm，仍低於美國勞委會(US.OSHA.)公告八小時的容許濃度值 0.10 ppm，其測試結果參見表 4。

表 4.中所使用的菌落採集機，每次採氣量為 15000 公升，相當於 15 立方公尺，因此，內科候診區的背景值平均約為 421CFU/ m³，尚能符合醫院空氣菌落常態分布的 370 CFU/m³至 740 CFU/m³個的正常標準【15】；同樣採樣點的菌落數差異現象，應與現場候診人數多寡有關。因

為進行第一次背景值採樣時，候診區中約有 20 名患者，空間菌落數為 83 個/ m³，而進行第二次背景值採樣時，候診區中較多約有 70 名患者，空間菌落數為 758 個/ m³，由此推測患者愈多，可能染菌的氣膠量將會提昇、流布感染機會也將升高；經過 EP 606[®] 二氧化氯氣體滅菌之後，背景平均值由每立方公尺 421 個，降低為僅有 21 個，遠低於新加坡(500 CFU/m³)與日本(300 CFU/m³)的高品質空氣標準【16】，平均滅菌率高達 94.9 %。

依據郭昭吟等學者的研究中指出，醫院內生物氣膠中所鑑定出的菌類包括不動桿菌屬(*Acinetobacter* spp.)、伯克霍爾德菌屬(*Burkholderia*)、大腸桿菌(*E. coli*)、腸球菌(*Enterococcus*)、克雷伯士氏桿菌屬(*Klebsiella* spp.)、綠膿桿菌(*Ps. aeruginosa*)、金黃色葡萄球菌(*S. aureus*)、表皮葡萄球菌(*Sta. epidermidis*)等【16】，其致病能力已經相當可觀，若再加上其他未能鑑定出來的病毒、真菌、細菌孢子等微生物，對於醫護人員與病患的威脅更大，流行性感冒病毒、腸病毒甚至 SARS 病毒均可能藉此途徑傳布，要落實感染控制，生物氣膠的監視與有效地消毒作為絕不可忽視！

結論

一、就高污染性的醫療廢水而言，四種軍用生化消毒劑，均能達到 99.9%以上的滅菌能力，其中二氧化氯消毒劑的確效滅菌濃度，僅需其他氯系消毒劑的 1/7 至 1/25，效能最為良好，唯二氧化氯之濃度確定必須經過精確的分析鑑定。

二、對於內科門診部各種環境基質的二氧化氯噴灑消毒研究中得知，電話聽筒(180 個)上的殘存菌落高於門把(15 個)，其滅菌率依序為門把(100%) = 聽筒(100%) > 椅面(90.3%) > 地板(20.5%)，待消毒的物體表面愈光滑、不吸水者，其直接噴霧或擦拭滅菌效能較佳；而平時較為骯髒、粉塵較多且吸收力較強的地板，應以拖把沾

濕拖地或是灑水浸漬的方式進行消毒，較能確保滅菌效能。

三、針對醫院空氣中生物氣膠菌落的背景值採樣後發現，菌落數依序為：半封閉式空間的內科候診區(318 CFU/m^3) > 半封閉式空間的外科候診區(183 CFU/m^3) > 開放式空間的急診部門(58 CFU/m^3)，三個區域空氣品質均處於正常菌落區間；若將 1090 毫升的 200 ppm 二氧化氯溶液，以超音波氣霧與噴灑方式滅菌 30 分鐘後，內科候診區平均菌落由 421 CFU/m^3 降為 21 CFU/m^3 ，空氣滅菌效能良好，可作為感控消毒參考。

誌謝

感謝國立交通大學陳重男教授的研究指導；亦感謝國軍桃園總醫院感控師謝雙禧護理長、門診部謝蘭蕙護理長協助採樣規劃、陸軍化驗所徐國陽、謝明君、韋明新、彭信晴、邱奕展、葉宗葦的實驗參與，並感謝高碩實業賴俊德經理提供二氧化氯配製技術。

參考文獻

1. World Health Organization: Laboratory Biosafety Manual: Disinfection and sterilization, 2nd ed. Geneva: WHO. 2003; Chapter 14: 59-66.
2. Li JW, Yu Z, Cai X, et al: Trihalomethanes Formation In Water Treated With Chlorine Dioxide. Wat Res 1996; 30(10): 2371-6.
3. Ridenour GM, Ingols R: Inactivation of Poliomyelitis Virus by Free Chlorine. Amer Public Health. 1946; 36: 639.
4. Smith JE, McVey JL: Virus Inactivation by Chlorine Dioxide and Its Application to Storm Water Overflow. Proceeding, ACS Annual Meeting. 1973; 13(2): 177.
5. Roberts PV, Aieta EM, Berg JD, et al: Chlorine Dioxide for Wastewater Disinfection: A

Feasibility Evaluation. Stanford University Technical Report. 1980, October: 251.

6. US EPA (2003, May 13th). Pesticides: Topical & Chemical Fact Sheets
<http://www.epa.gov/pesticides/factsheets/chemicals/chlorinedioxidefactsheet.htm>
7. Hoehn RC: Chlorine Dioxide Use in Water Treatment: Key Issues. Conference proceedings, Chlorine Dioxide: Drinking Water Issues. Second International Symposium. Houston, TX; 1992: 992.
8. Huang J, Wang L, Ren N, et al: Disinfection Effect of Chlorine Dioxide on Viruses, Algae and Animal Planktons in Water. Wat Res 1997; 31(3): 455-60.
9. U.S. EPA. (1999, April). Guidance Manual Alternative Disinfectants and Oxidants: 4. Chlorine Dioxide. US EPA (815-R-99-014)
<http://www.epa.gov/safewater/mdbp/mdbptg.html>
10. 賴政國：生化消毒劑之淺談比較。核生化防護學術半年刊。桃園八德，陸軍化學兵學校。2003; 76: 51-62。
11. APHA, AWWA, WEA: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1998; Chapter 4: 73-8.
12. 劉明哲，賴政國，盧明俊，陳重男：二氧化氯氣液滅菌效能研究。第二十八屆廢水技術研討會論文，宣讀編號 55。
13. Huang J, Wang L, Ren N, et al: Disinfection Effect of Chlorine Dioxide on Bacteria in Water. Wat Res 1997; 33(3): 607-13.
14. 劉明哲，賴政國：環境消毒劑—二氧化氯藥效試驗探討。環保署環檢季刊。桃園中壢，行政院環保署環檢所。2003; 48: 16-23。
15. 林金絲：醫院感染與環境監視（再版）。台北：藝軒出版社。1999: 77-85。
16. 郭昭吟，梁進生，陳玉娟等：醫院內生物氣膠流佈之調查研究。2003 安全衛生論文研討會。台北，公務人力發展中心。

表 1. 不同濃度的二氧化氯與漂白水溶液對廢水滅菌測試結果

EP 606 [®] 二氧化氯溶液				次氯酸鈉漂白水溶液			
配製濃度 (ppm)	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)	滅菌率 (%)	配製濃度 (ppm)	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)	滅菌率 (%)
廢水對照組	3.2×10^5	2.0×10^4	-	廢水對照組	3.2×10^5	2.0×10^4	-
100	0	0	100	200	0	0	100
51	150	0	99.95	139	0	0	100
10	600	80	99.81	30	216	20	99.93
0.07	117100	TNTC	63.41	0.173	44600	TNTC	86.06

註：TNTC 為菌落無法計數之意。

表 2. 四種生化消毒劑於不同作用時間對廢水的滅菌測試結果

類別	STB 耐熱漂白粉		國造八二式消毒劑		次氯酸鈉漂白水		EP 606 [®] 二氧化氯消毒劑	
濃度	1417 ppm		4877 ppm		1386 ppm		193 ppm	
菌種	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)	總菌落數 (CFU/mL)	大腸桿菌 (CFU/100mL)
原液	3.2×10^5	2.0×10^4	3.2×10^5	2.0×10^4	3.2×10^5	2.0×10^4	3.2×10^5	2.0×10^4
2 分鐘	500	0	250	0	150	0	500	0
5 分鐘	300	0	250	0	0	0	400	0
10 分鐘	250	0	200	0	0	0	300	0
10 分鐘滅菌率	99.92 %	100 %	99.94 %	100 %	100 %	100 %	99.91 %	100 %

表 3. EP 606[®] 二氧化氯溶液(200ppm)於醫院內科門診部的滅菌效能測試

門診室編號		7	8	9	10	11	12	13	平均值	滅菌率(%)
測試對象										
門把(m²)	背景值(CFU)	2	50	4	50	0	2	0	15	100
	滅菌後(CFU)	0	0	0	0	0	0	0	0	
電話聽筒(m²)	背景值(CFU)	360	264	38	300	98	150	50	180	100
	滅菌後(CFU)	0	0	0	0	0	0	0	0	
候診區測試對象		採樣點 A			採樣點 B			平均值	滅菌率(%)	
候診區座椅(0.5m²)	背景值(CFU)	20			41			31	90.3	
	滅菌後(CFU)	1			5			3		
候診區地板(1m²)	背景值(CFU)	306			16			161	20.5	
	滅菌後(CFU)	245			11			128		

表 4. 內科候診區 200 ppm 的 EP 606[®] 二氧化氯氣霧滅菌效能測試

內科候診區測試		採樣點 A		採樣點 B		平均值	平均滅菌率(%)
候診區空間 (445.5m ³)	背景值 (CFU)	750	8720	1750	14040	6315	94.9
	滅菌後 (CFU)	350	80	750	110	323	