影響手術室空氣中微生物之因素與控制

吳惠馨[1,2]　陳瑛瑛[1,3,4]　傅玲[1,4]

臺北榮民總醫院　[1]護理部　[3]感染管制室
[2]臺北市中正區健康服務中心
[4]國立陽明大學

空氣中的微生物數量是導致手術部位感染的重要危險因子之一，手術過程設備的使用、工作人員及空調換氣與清潔皆是影響手術室空氣中微生物之因素。因此，醫院手術室應建立環境與空調規範，建議包括良好的手術室動線與人員限制、通風設備、以及環境和空調的清潔與監測機制，以預防病人感染的風險和維護工作人員的安全。（**感控雜誌 2016:26:195-202**）

關鍵詞： 手術室、空氣微生物

前　言

空氣品質是會影響人體健康的，在不良的空氣品質下活動甚至會導致疾病的發生[1]。依據行政院環境保護署資料，空氣污染指標包括空氣中的粒徑小於等於十微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM_{10})、粒徑小於等於二．五微米之懸浮微粒 ($PM_{2.5}$)、二氧化硫 (SO_2)、二氧化氮 (NO_2)、一氧化碳 (CO) 及臭氧 (O_3) 濃度等數值[2]。而人類的活動有 90% 以上時間是在室內進行，因此室內空氣污染物對於人體健康的危害應該加以重視[3]。通常室內空氣中的懸浮物也包括微生物的存在，例如：經由空氣傳播的細菌 (bacteria)、真菌 (fungi) 和病毒 (virus) 等微生物；家禽的毛髮或皮膚的脫落物或排泄物；以及種植的植物或花粉等，這些懸浮於室內空氣的微生物或生物體生長活動所產生的微粒或化合物，又稱為生物性氣膠 (bioaerosols)；其對人體的健康效應包括過敏、毒性反應及感染[4]。

當在密閉的建築物內，如果室內通氣量不足時，污染物就容易蓄積

民國 105 年 6 月 15 日受理
民國 105 年 8 月 31 日接受刊載

通訊作者：傅玲
通訊地址：台北市北投區石牌路二段201號
連絡電話：02-28757462

DOI: 10.6526/ICJ.2016.502

而導致室內空氣品質惡化。因此，世界衛生組織 (WHO) 將「凡因建築物內空氣污染導致人體異常症狀，如神經毒性症狀 (含眼、鼻或喉頭感到刺激等)、不好的味道以及氣喘發作等」定名為「病態建築物症候群 (sick building syndrome, SBS)」。流行病學研究指出，病態建築症候群之症狀盛行率與空氣中的真菌和細菌濃度是具有顯著相關性的[5]。近年來隨著國人對於室內空氣品質 (indoor air quality, IAQ) 意識的抬頭，我國訂有「室內空氣品質管理法」，針對學校、教育場所、兒童遊樂場所、殘障照護場所以及醫療院所的空氣中微生物菌落數明確規範最高值 1,000~1,500 CFU/m^3 [2] (表一)。另外，自 104 年起醫院感染管制查核和醫院評鑑也列入查核的優良項目「如申請醫學中心評鑑者，感染管制會議內容應包含：由勞工安全相關單位報告室內空氣品質維護管理成效。」。手術室為醫院必須維持高度清潔的環境，因此美國疾病管制中心 (Centers for Disease Control and prevention, CDC) 也在預防手術部位感染指引中，建議手術室空氣需持續監測並降低微生物數量，以預防手術部位感染[6-9]。

醫院和手術室空氣之常見微生物

醫院環境空氣中的生物性氣膠包括真菌、細菌及細菌內毒素

表一　台灣室內空氣品質建議值

項目	標準值		單位
二氧化碳 (CO_2)	8 小時值	1,000	ppm (體積濃度百萬分之一)
一氧化碳 (CO)	8 小時值	9	ppm
甲醛 (HCHO)	1 小時值	0.08	ppm
總揮發性有機化合物 (TVOC，包含：十二種揮發性有機物之總和)	1 小時值	0.56	ppm
細菌 (Bacteria)	最高值	1,500	CFU/m^3 (菌落數/立方公尺)
真菌 (Fungi)	最高值	1,000 真菌濃度室內外值≦1.3者不在此限	CFU/m^3
粒徑小於等於十微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM_{10})	24 小時值	75	μg/m^3 (微克/立方公尺)
粒徑小於等於二・五微米之懸浮微粒 ($PM_{2.5}$)	24 小時值	35	μg/m^3
臭氧 (O_3)	8 小時值	0.06	ppm

資料來源：行政院環境保護署[2]

(endotoxin)。就健康危害而言，細菌和真菌可以藉由空氣傳播至人體而造成感染，包括麴菌屬 (*Aspergillus spp.*) 感染導致支氣管、脊椎、鼻竇等部位的麴霉病 (Aspergilosis)；而結核分枝桿菌 (*Mycobacterium tuberculosis*) 與肺結核的發生是有關聯的；退伍軍人嗜肺性桿菌 (*Legionella pneumophila*) 則會引起退伍軍人症；A 型流行性感冒病毒 (*Influenza A virus*) 也可以藉由空氣傳播；手術室的環境表面也可以採集到真菌孢子等[10-12]。

有關手術室空氣常見微生物之調查，Chalachew 等人於 2010 年在非洲愛賽俄比亞專科醫院收集 108 個手術室的空氣樣本，分離出金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 和化膿性鏈球菌 (*Streptococcus pyogenes*) [13]。Wan 等人於 2011 年在台灣某醫學中心的腎臟移植室、心臟移植室、肝臟移植室、神經外科室、急診外科室、心血管外科室、結腸/直腸外科室和骨科室等八間手術室測量微生物濃度，結果在手術室的空氣中分離出革蘭氏陽性菌 (gram-positive bacteria)：芽孢桿菌屬 (*Bacillus spp*)、微球菌屬 (*Micrococcus spp*)、葡萄球菌屬 (*Staphylococcus spp*) (包括金黃色葡萄球菌 *S. aureus*，表皮葡萄球菌 *Sepidermidis*)；和革蘭氏陰性細菌 (gram-negative bacteria)：不動桿菌屬 (*Acinetobacter spp*) (包括鮑曼不動桿菌)，莫拉氏菌屬 (*Moraxella spp*) 和綠膿桿菌屬 (*Pseudomonas spp*) 等[14]。

手術室空氣微生物量之影響因素

手術室空氣中的微生物主要源自環境或工作人員的皮膚表面脫落，皮膚可能含有感染病原菌或是抗生素耐藥菌株[15]。在手術過程中，灰塵粒子、衣服的紡織纖維、工作人員與病人皮膚所掉落的皮屑均有可能會進入手術室的空氣中，使得空氣中存在了存活的微生物，而此微生物隨著重量可能附著在手術器械或直接沈降於手術部位，因而造成手術部位感染風險的增加[16-19]。

一、手術室設備

現今手術進行中，採用許多有效切除剝離組織、止血的手術電刀，包含單極電刀 (unipolar)、雙極電刀 (bipolar)、超音波刀 (Harmonic Scalpel) 及雷射 (laser)，這些設備的使用過程，是將細胞加熱直至蒸發而產生汽化手術煙霧，這些煙霧釋放的苯、氰化氫、甲醛、生物氣體溶膠、多環芳香烴碳等粒子將會進入手術室的空氣中，同時也會攜帶微生物[20]。

二、手術室人員

工作人員也是空氣中微生物的主要來源之一[8]。外源性微生物可由皮膚毛屑經空氣傳播，1 cm^2 可運送

100 個金黃色葡萄球菌；微生物也可以藉由工作人員的雙手、布單或手術器械傳播；此外，人員活動也增加微生物沈降進入手術時開放的手術部位[16-19]。另外，手術室的空氣氣流會因人員進出手術房間，影響空調的完整換氣過濾，使得無菌區域空氣中的污染物去除受限[21]。

三、手術室空調設備

由於醫院環境是細菌與病毒存在密度較高區域，對於抵抗力弱的病人會形成威脅，而健康者也有被感染的風險，因此醫院對空氣品質有特定要求，加強空調換氣與清潔，也對生物氣膠進行有效控制，以減低空氣中微生物[22]。在手術室，當病人劃刀後形成開放性傷口時，若空調未發揮功效，將會使得空氣中的微生物細菌數量增加，也提升了手術部位感染的風險[21,23]。良好的手術室空調不僅可以減少細菌數量，也能減少手術部位感染，Dharan 和 Pittet 在 2002 年指出，良好的空調，如可以將空氣中，來自病人及工作人員身上的正常皮膚菌落，藉由垂直氣流，經由空氣交換減少空氣中易造成病人傷口感染的菌落數量[24]。通常在室內經過正壓和高效率過濾網 (High Efficiency Particulate Air filter, HEPA)，估計 20 分鐘內可以交換清除空氣中 90% 的微粒子[25]。

醫療院所可依據環境和病人特性等需求而擬定出各不同科室的環境品質，包括手術室，如器官移植、心血管和整形外科手術室設為最低細菌數 (< 10 CFU/m^3)，其他科別則設定低細菌數 (< 200 CFU/m^3) (表二) [26]。

表二　醫院各類房間主要室內環境品質要求標準

等級 (class)	標準 (standard)	細菌數 (bacteria, CFU/m^3)	溫度 (℃)	相對濕度 (RH,%)	醫院各類房間 (單位) (room, unit)
I	最低細菌數	< 10	22~25	40~60	器官移植、心血管和整形外科手術室，保護性隔離病房、灌注或配置注射液之實驗室
II	低細菌數	< 200	22~25	30~60	無菌或其他手術室，急診手術室、手術區域其他房間、供應中心、嬰兒室、術後恢復室、早產兒室及產房、重症加護病房
III	一般細菌數	200~500	21~27	≦65	一般普通病房、盥洗室、治療室、更衣室、放射科、宿舍、儲藏室、解剖室、檢驗室、廚房、洗衣房等其他房間
IV	空氣污染	-	18~22	≦60	傳染病科、同位素照射室
V	其他	-	21~27	≦60	衛生間、太平間

資料來源：蔡文城[26]

手術室空氣微生物量之管制策略

理想的手術室空氣可提供醫護人員舒適的工作環境，對於空氣中生物氣膠進行有效控制，減低空氣中的微生物濃度是可以避免病人與醫護人員遭受感染的風險[10-12]。手術室空氣微生物量之管制建議如下[6-8,19,23,27-28]：

一、良好的手術室動線與人員限制

手術室一般分為非限制區、半限制區及限制區。對於各區內人員服裝應有規範，包括 (一) 非限制區：如護理站前及病人等候區，人員無特殊規定；(二) 半限制區：如器械工作室，人員應穿戴手術刷手衣、髮帽和手術室專用鞋；(三) 限制區：如無菌物品存放區、刷手區及手術房間內，應穿戴手術刷手衣、髮帽、口罩和手術室專用鞋。手術進行中，需維持房門關閉，除了醫療設備、手術成員與病人之外，應限制人員出入。工作人員離開手術室時，應脫掉手術室之穿著，再進入時應重新更換另一套刷手衣。若須外出急救病人時，得加穿白色外袍，換穿外出鞋或穿戴鞋套外出[27]。

二、手術室空調設備

美國疾病管制中心和健康照護感染管制臨床諮詢委員會 (Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee, HICPAC) 針對手術室的空調設備建議：

(一) 手術室空調應保持正壓，防止氣流由非潔淨區進入潔淨區，維持手術室溫度 65℉~75℉ (18℃~24℃) 和相對濕度 (relative humidity, RH) 30%~60%。

(二) 所有再循環空氣或新鮮空氣需要適當過濾，應有兩道過濾網：第一道大於 30% 效能和第二道大於 90% 效能，氣流應從天花板流向地面由上而下的垂直氣流，或由牆面水平流動的系統；換氣率則至少每小時 20 次，限制 50~150 CFU/m^3。

(三) 第三道濾網則是裝置高效能過濾網，提供超級清淨的效能 (99.97%)、無粒子 (partical free < 0.3 μm) 和穩定流速 (0.3 至 0.5~μm/sec) 的層次氣流。

三、手術室環境和空調設備的清潔與監測

手術室應訂有清潔管理規則，並有環境稽核機制；對於空調設備系統建立操作維護保養作業包括主機、面板、調溫系統定期檢查及出風口除塵作業，且空調風口及濾網定期清潔與保養；進行落塵檢測及高效能過濾網 (HEPA) 洩漏測試等。目前常規性手術室空氣或環境表面微生物採檢尚未建立可供比較的參數，也未建議進行常規的手術室環境微生物採樣，但在群突發調查且流行病學資料分析具有相關性時進行。一般手術室空氣微生物採樣方法有二種[29,30]：

(一) 主動收集方法 (active monitoring)

在固定範圍內，透過空氣懸浮粒子收集設備的微生物的空氣採樣，可以測量出空氣內的菌落數，此收集方法適用於微生物濃度不高的手術室，因為在微生物濃度太高的區域收集，容易收集太多微生物而不易判讀。

(二) 被動收集方法 (passive monitoring)

又稱自然沈降採樣法，是使用含培養基的培養皿來收集空氣中微生物的粒子，將此培養皿放置手術室內一段時間後，培養分析空氣中的沈降物，可測量出每小時的菌落數；優點為簡便，不需要其他儀器或複雜操作，只需把採樣好的空氣樣本進行培養菌落數即可；但是因其原理是利用地心對粒子的吸引力，若粒子太小則不易沈降，易造成採樣正確性的疑慮。

結　語

空氣中包含微生物的懸浮粒子影響室內空氣品質，不良的空氣品質將導致疾病及增加感染管制的困難。醫院環境中，尤其是手術室更需高度清潔環境，有效空調可以減少微生物進入、生長和滯留於手術室。手術部位的感染來源除了病人皮膚上的固有菌落，空氣微生物數量也會影響手術部位及手術區域周圍的菌落量；因此，當發生手術部位感染群突發，經流行病學分析，可考慮將手術室空氣中微生物數量及控制也列為監測項目之一。

參考文獻

1. Burrell R: Microbiological agents as health risks in indoor air. Environ Health Perspect 1991;95:29-34.
2. 行政院環境保護署。行政院環境保護署環署空字第 1010106229 號令室內空氣品質管理 2012。
3. Nazaroff WW: Indoor bioaerosol dynamics. Indoor Air 2016;26:61-78.
4. Fernstrom A, Goldblatt M: Aerobiology and its role in the transmission of infectious diseases. J Pathog 2013;1-13.
5. Tang JW: The effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents. J R Soc Interface 2009;6:737-46.
6. Birgand G, Toupet G, Rukly S, et al: Air contamination for predicting wound contamination in clean surgery: A large multicenter study. Am J Infect Control 2015;43:516-21.
7. Mangram AJ, Horan TC, Pearson ML, et al: Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Infect Control Hosp Epidemiol 1999;20:250-78.
8. Tang CS, Wan GH: Air quality monitoring of the post-operative recovery room and locations surrounding operating theaters in a medical center in Taiwan. PLoS One 2013;8:1-6.
9. Wenzel RP: Surgical Site Infection.Prevention and Control of Nosocominal Infections 5th ed. 2003:286-306.
10. Beggs C, Knibbs LD, Johnson GR, et al: Environmental contamination and hospital-acquired infection: factors that are easily overlooked. Indoor Air 2015;25:462-74.
11. Napoli C, Tafuri S, Montenegro L, et al: Air sampling methods to evaluate microbial contamination in operating theatres: results of a comparative study in an orthopaedics department. J Hosp Infect 2012;80:128-32.

12. 吳佩芝，蘇慧貞，黃金鳳等：醫療作業環境空氣中生物性及化學性因子暴露評估--以一大型教學醫院之調查為例。中華公衛雜誌 1998;17:93-102。

13. Genet C, Kibru G, Tsegaye W: Indoor air bacterial load and antibiotic susceptibility pattern of isolates in operating rooms and surgical wards at jimma university specialized hospital, southwest ethiopia. Ethiop J Health Sci 2011;21:9-17.

14. Wan GH, Chung FF, Tang CS: Long-term surveillance of air quality in medical center operating rooms. Am J Infect Control 2011;39:302-8.

15. Fredricks DN: Microbial ecology of human skin in health and disease. J Invest Dermatol Symp Proc 2001;6:167-9.

16. Beldi G, Bisch-Knaden S, Banz V, et al: Impact of intraoperative behavior on surgical site infections. Am J Surg 2009;198:157-62.

17. Gould D: Causes, prevention and management of surgical site infection. Nurs Stand 2012;26:47-56.

18. Ayliffe GA: Role of the environment of the operating suite in surgical wound infection. Rev Infect Dis 1991;13:800-4.

19. 任秀如，陳瑛瑛：預防手術部位感染之實證策略。感控雜誌 2008;18:233-9.

20. Brace MD, Stevens E, Taylor S, et al: The air that we breathe inverted question mark: assessment of laser and electrosurgical dissection devices on operating theater air quality. J Otolaryngol Head Neck Surg 2014;43:39.

21. Edmiston CE, Sinski S, Seabrook GR, et al: Airborne particulates in the OR environment. AORN J 1999;69:1169-83.

22. Li CS, Hou PA: Bioaerosol characteristics in hospital clean rooms. Sci Total Environ 2003;305:169-76.

23. Pokrywka M, Byers K: Traffic in the operating room: A review of factors influencing air flow and surgical wound contamination. Infect Disord Drug Targets 2013;13:156-61.

24. Dharan S, Pittet D: Environmental controls in operating theatres. J Hosp Infect 2002;51:79-84.

25. Olmsted RN: Pilot study of directional airflow and containment of airborne particles in the size of *Mycobacterium tuberculosis* in an operating room. Am J Infect Control 2008;36:260-7.

26. 蔡文城：實用臨床微生物診斷學 (第十版)。台北：九州出版社。2011:488。

27. 王復德：健康照護感染管制指引 (第一版)。台北：時新出版社。2008。

28. Diab-Elschahawi M, Berger J, Blacky A, et al: Impact of different-sized laminar air flow versus no laminar air flow on bacterial counts in the operating room during orthopedic surgery. Am J Infect Control 2011;39:25-9.

29. Hirsch T, Hubert H, Fischer S, et al: Bacterial burden in the operating room: impact of airflow systems. Am J Infect Control 2012;40:228-32.

30. 蔡彥熙：亂流型手術室空氣中生物氣膠的量測調查與分析。台北科技大學。2005。

Effect and Control of the Number of Microorganisms in the Air

Hui-Hsin Wu[1,2], Yin-Yin Chen[1,3,4], Ling-Fu Shaw[1,4]

[1]Department of Nursing, Taipei Veterans General Hospital
[2]Taipei City Zhongzheng District Health Center
[3]Infection Control, Taipei Veterans General Hospital
[4]National Yang-Ming University, Taipei, Taiwan

The number of microorganisms in the air is one of the major risk factors of surgical site infection. Operating theaters in hospitals should establish standards for environmental and air conditioning, such as good traffic flow, the number of staff members, ventilation equipment, as well as the cleaning and monitoring mechanism of environmental and air conditioning, in order to prevent surgical site infections and maintain the safety of staff.

Key words: Operating theaters, microorganisms in the air