

勞工安全衛生簡訊第 68 期

傳染性疾病的空氣傳播——醫院空調問題探討

勞工衛生組 王順志副研究員

一、前言：空氣傳播爭論再起

嚴重急性呼吸道症候群（SARS）疫情爆發後，再次掀起學者對「空氣傳播」的爭論，各國學者依不同領域專業觀點與佐證資料，分別對「SARS 是否透過空氣傳播」提出正反兩面的主張。事實上，若由這些學者的學術領域來看，可發現造成爭論的主要原因是「空氣傳播缺乏統一定義」。

我們若以「空氣傳播、空氣傳染」相關字元在網路上檢索，可以找到數十種定義方式，讓人看得眼花撩亂。分析比較後，可發現以下的定義方式是最寬鬆的：只要在造成感染事件的環境空氣中發現致病微生物存活的證據，或找到能合理推測其存活事實的佐證資料，則無論這個致病微生物是由患者身上直接產生，或因間接污染的機制而產生，都不排除空氣傳播的可能性。

雖然各界還在爭論 SARS 是否符合空氣傳播的定義，但對醫院工作人員而言，字面上的定義並不重要，重要的是如何因應未來可能惡化的空氣傳播威脅，以便將「院內感染」這塊難纏的防疫死角填平。本篇摘譯數篇論文，加上氣膠研究學者所作的推測，針對醫院工作環境的需要，提出空氣傳播的預警與建議，敬供各醫院感染控制人員、安全衛生管理人員、工作人員參考。

二、病原突變：工作場所空氣傳播問題的根源

疫苗與特效藥曾使人類在對抗微生物的拉鋸戰中居於優勢，水痘、麻疹、肺結核等空氣傳染病都陸續受到控制。然而近年來因藥物使用不當等因素，某些具空氣傳播傾向的傳染病發生病原突變，使原本有效的藥物不再能控制疫情，醫院工作人員的健康風險因而提高。台灣地區近三年發生多起不排除空氣傳播的院內感染事件（主要是 SARS 和肺結核），顯示醫院空氣傳播的威脅不宜忽視。以下舉三種病原體為例進一步作說明。

(一)結核桿菌：肺結核這種空氣傳染病是由結核桿菌引起的。目前已因基因突變而出現數種「多重抗藥性」新結核桿菌，這些新出現的結核桿菌能抵抗不止一種的治療藥物。倘若研發新藥的腳步趕不上結核桿菌的突變的速度，將來可能出現無特效藥的肺結核，屆時院內感染問題將再度惡化。

(二)MRSA Superbug：簡稱 MRSA 的特殊金黃色葡萄球菌可在人體鼻腔內寄居繁殖。MRSA 在正常情況下與宿主相安無事，只會出現在皮膚與鼻腔內，但若碰到手術後的病患、免疫力較低者（年老或年幼），則可能造成體內感染。MRSA 對大多數的抗生素具抵抗力，遭感染的患者血液一旦檢出此病菌，則完全治癒所需的時間就會拉長，且可能轉為肺炎而致死。雖然目前醫學界對 MRSA 的傳播途徑認定為「接觸傳染」，但 Robert J. Sherertz 等人調查一宗有多位加護病房患者死亡的醫院感染事件時，利用細菌培養方法，發現 MRSA 能隨著宿主的呼吸而擴散到週遭空氣。

(三)SARS 病毒：雖然世界衛生組織認定 SARS 係因近距離接觸（Close Contact）而傳染，但 Ignatius T.S. Yu 等人調查香港淘大花園的社區感染事件時，以電腦模擬遭污染的空氣在社區散

佈的情形，發現電腦評估的感染風險，竟與該社區感染 SARS 的實況吻合。除此之外，大陸官方研究單位也與中日友好醫院合作，在距離病房二十餘公尺、空調機器內部濾網上檢出 SARS 病毒，研究人員據此推測 SARS 病毒可能有一定程度的空氣傳播能力。

三、空氣傳播的主要嫌犯：氣膠

前面所舉的三個案例，皆與病原體在空氣中傳播的行為有關，然而空氣傳播的行為很難透過實驗證實。這是為什麼呢？因為空氣中的病原體大多依附或包裹於一種稱為「氣膠」的微小顆粒，當氣膠顆粒被採樣器材捕捉時，病原體容易因衝擊濾材或加速乾燥而死亡。研究人員雖能以空氣採樣技術取得病原體的殘骸，但不能藉此證明病原體在空氣中以活體的形態存在。

以本篇提及的 MRSA superbug 院內感染事件為例，調查人員最初在醫院內找不到任何 MRSA 的蹤跡，但在資料比對後懷疑某醫師可能為病原體的來源，於是在該醫師身上密集採取樣本，最後才在他的鼻腔內發現病菌，並進一步以實驗證明這位醫師僅由呼吸就能將活的病菌氣膠擴散到週遭空氣。整個蒐證研究過程十分冗長繁瑣，突顯出「證實空氣傳播途徑」是件多麼困難的事。

氣膠是患者身上含病原體的分泌物散佈到空氣中而形成的微粒，在離開患者身體的瞬間大多呈含水的黏稠狀。本所在九十二年的一場研討會中，對照研究人員的推論與前人的研究成果，提出以下氣膠傳播理論模型：

(一)尺寸最小的氣膠顆粒容易在空氣中脫水，使病原體暴露於空氣中而死亡或失去感染能力。除非有特殊原因（例如病原體具特殊保護結構），否則這種氣膠顆粒對醫院工作人員不易造成健康威脅。

(二)尺寸適中的氣膠顆粒有機會在脫去表層的水分後萎縮為「外乾內濕」或「半乾燥」的微粒核心，在空氣中長期懸浮。這種半乾燥的氣膠顆粒尺寸約與可呼吸性粉塵相當，能隨呼吸進入肺部深處，對醫院工作人員的健康造成威脅。

(三)尺寸最大的氣膠顆粒在離開患者的身體後，僅飛行一小段距離就因重力而快速墜落，使患者週遭的平面與近距離服務患者的醫護人員受到污染。大尺寸氣膠顆粒的傳播特性與醫界主張的呼吸道傳染病傳播途徑（近距離接觸、污染表面間接接觸、飛沫）很接近。

由上述的理論假設，我們可發現氣膠模型能解釋許多呼吸道傳染病的傳播途徑，其中尺寸適中、外乾內濕、將病原體保護在核心、能長久懸浮於空氣中的氣膠顆粒，最有「潛力」造成呼吸道傳染病的空氣傳播。美國資深學者 Chad J. Roy 對此進一步指出以下四點：

(一)氣膠顆粒停留在空氣中的時間，與原始顆粒大小、成分、環境因素有關。

(二)氣膠顆粒維持感染能力的時間，與患者散發此氣膠微粒時的病情、病原體基因特性、環境因素有關。

(三)若健康的人在呼吸時吸入尺寸適中的氣膠顆粒，這些顆粒有機會附著於呼吸道上半部（鼻、喉、氣管）與下半部（肺部深處），使感染機會增加。

(四)建議將呼吸道傳染病透過氣膠傳播的難易程度區分為「高度傾向、中度傾向、低度傾向」三種。其中肺結核可歸類為氣膠傳播高度傾向，麻疹、天花可歸類為氣膠傳播高度或中度傾向，而 SARS 至少可歸類為氣膠傳播低度傾向。

四、影響空氣傳播難易度的因素

醫院工作人員為患者服務時，通常必須接近、接觸患者的身體，與患者親切交談，或移動患者觸摸過的東西。像這樣的接觸模式，同時滿足「直接接觸病原體、間接接觸污染表面、吸入污染空氣」等三種傳染要件。雖然這三者都有機會使醫院工作人員遭到感染，但辨識真正感染原因的難易度卻不同。感染控制人員在追溯感染原因時，通常會先以採樣培養的方法辨識前兩者是否存在，即使無法獲得結果，也鮮少有足夠的時間與預算深入追查不易證明的空氣傳播途徑。

在造成感染所需的病原體數量上，患者噴出的飛沫（大尺寸氣膠）顆粒，或沾染患者新鮮體液的物體表面，都存在高濃度的活性病原體，但最有潛力造成空氣傳播的中尺寸氣膠微粒，所含的病原體數量卻少得可憐。舉一個較容易懂的例子：若請一位患者分別以吐痰和呼出氣體的方式產生相同數量的病原體，則可能要請這位患者連續好幾個小時或甚至好幾天在同一地點呼吸，才能產生與吐一次痰含量相同的病原體。

在病原體感染能力方面，病原體在營養、潮濕、涼爽、不與空氣直接接觸的環境能生存較長的時間，但若以氣膠顆粒的形態懸浮於空氣中，則很容易脫水而失去感染能力。舉例而言，當患者噴出的飛沫顆粒大量沾染於醫療器具表面時，傾向於在器具表面形成一層濕濕黏黏的環境，病原體得以躲藏其中繼續存活；當患者呼出的中小尺寸氣膠顆粒進入週遭空氣時，由於單位質量的氣膠顆粒表面積遠大於飛沫顆粒，因而傾向於快速脫去水分，使病原體失去感染能力。

由以上說明，可發現同一種傳染病可有不同的傳播途徑，而醫界對疾病傳播途徑的定義方式，則是挑出感染機會較高的一種或兩種傳播途徑。我們可據此提出以下假設，說明影響醫院空氣傳播難易度的因素：

(一)機率因素：若同時存在飛沫、密切接觸、間接接觸、空氣傳播等四種傳播途徑，則當健康人員接受到足以造成感染的病原體劑量時，空氣傳播所佔的劑量比例將遠低於其他傳播途徑，此時容易使空氣傳播遭到忽略。

(二)劑量因素：健康人員在污染空氣中逗留的時間愈長，前往污染區域工作的次數愈多，則累計接受到的病原體劑量愈高，感染機會也愈高。

(三)濃度因素：醫院的通風換氣作得愈差，同一份氣膠顆粒懸浮於空氣中的時間愈長，則健康人員在單位時間內吸入病原體的劑量就愈高，感染機會也愈高。

(四)活性因素：患者病情愈嚴重，咳嗽、打噴嚏的次數愈多、醫院環境控制作得愈差，則空氣中散佈的病原體平均活性愈高，健康人員吸入污染氣體而遭感染的機會也愈高。

五、降低空氣傳播機率：改善空氣品質

無論空氣傳播的可能性是高度、中度或低度，由以上的討論，我們發現醫院空氣有機會成為傳染病傳播的媒介。建議醫院加強控制人群聚集區域（掛號繳費處、候診室、領藥處、員工餐廳）的空氣品質，以免就診民眾與醫院工作人員在不知情的狀況下遭到感染。除落實執行政府衛生單位所發布的感染控制相關規範，改善醫院空氣品質的務實作法還可以有以下數種。

(一)加強換氣：若醫院位於郊區空氣品質較佳的區域，可利用自然風與機械動力通風設備提高換氣量，以稀釋空氣中的病原體濃度。此一方式最適合地下室的換氣，但較不適用於嚴格控

制溫溼度的場合。

(二)改善空調：建議醫院將人群聚集區域空調系統的回風設定改採為全外氣方式，並提高進氣風扇、冷凍機的功率，以滿足換氣風量的要求。對於醫院擔憂的冷氣電費過高問題，可有許多節能方法，其中三個經濟效益較佳的方法如下。

1.醫院可於氣候涼爽的季節（通常也是呼吸道傳染病較嚴重的季節）直接提高建築物換氣量，不需啟動冷氣系統。醫院建築物通常是大型發熱體，引入室外濕冷空氣時，只要善加利用建築物結構體的散熱作用，就能使氣溫自動回升到適當的溫度與溼度，如此可節省可觀的空調電費。

2.當室外氣溫異常時，醫院可利用地下水近似恆溫的特性，在距離建築物兩側稍遠的安全位置分別開鑿地下水井，並以反覆掉換輸水方向（每1~2小時掉換一次）的方式來防止地下水位異常，如此一來就能利用密閉式全熱交換器來調節空氣品質。此一作法在國內已有數個案例，在燠熱與寒冷的日子節省了可觀的空調費用，惟水井的開鑿與使用須經政府核准，且此種節能技術不適用於地層軟弱的地區，故並非每一所醫院都能運用。

3.排氣焓差回收：醫院可利用密閉式全熱交換器來回收排氣的焓差（就是以原本打算直接排放的氣體來預冷或預熱新鮮外氣）。此種節能技術在國內已有部分微生物實驗室、半導體業無塵室採用。

(三)過濾空氣：若醫院位於空氣污染較嚴重的地區，或加強換氣確有困難時，建議在空調系統中加裝高效率的回氣過濾裝置，以攔截空氣中散佈的氣膠微粒。

(四)消毒空氣：若前述作法都有困難時，不反對醫院安裝循環式紫外線殺菌設備（注意紫外線不能直接照射人群）、臭氧殺菌設備來消毒空氣，但須注意此類設備對各種病原體的消毒能力不一，宜先取得相關實驗數據，經醫院感染控制專家認可後使用。

六、參考文獻

1.Chad J. Roy, M.S.P.H., Ph.D., and Donald K. Milton, M.D., Dr.P.H., “Airborne Transmission of Communicable Infection —The Elusive Pathway” , The New England Journal of Medicine, 350:17, pp. 1710-1712, (2004)

2.Ignatius T.S. Yu, M.B., B.S., M.P.H., Yuguo Li, Ph.D., Tze Wai Wong, M.B., B.S., Wilson Tam, M. Phil., Andy T. Chan, Ph.D., Joseph H.W. Lee, Ph.D., Dennis Y.C. Leung, Ph.D., and Tommy Ho, B.Sc., “Evidence of Airborne Transmission of the Severe Acute Respiratory Syndrome Virus” , The New England Journal of Medicine, 350:17, pp. 1710-1712, (2004)

3.Edward A. Nardell, M.D., “Catching Droplet Nuclei —Toward a Better Understanding of Tuberculosis Transmission” , American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, Vol. 169, pp. 553-554, (2004)

4.Robert J. Sherertz, Stefano Bassetti, Barbara Bassetti-Wyss , “ ‘Cloud’ Health-Care Workers” , Emerging Infectious Diseases , Vol. 7, No. 2, pp. 244(2001)