

奈米技術防疫護膜應用於 某醫院電梯環境之潔淨確效研究

張蕙蘭¹ 張譯云¹ 魏崑銘² 黃惠鈴³ 黃芳裕⁴ 賴惠雯¹ 李育霖⁵

彰化基督教醫院 ¹感染預防暨控制中心 ²醫療勤務部 ³環境衛生課 ⁴工務部 ⁵感染科

電梯是現今醫療院所或一般建物中，水平及垂直空間感染控制的重要樞紐。電梯環境如無法定期清消，最常接觸的按鍵區容易成為微生物孳生的溫床，而使用表面抗菌產品可能是醫療環境有效預防微生物傳播的方法。本研究將「奈米技術防疫護膜」實際運用於台灣中部某醫學中心電梯按鍵區，觀察抑制微生物之成效。防疫護膜由物理性核心技術製造而成，該技術結合奈米技術、觸媒科技以及四級銨類物質 (3-(trimethoxysilyl)-propyloctadecyldimethyl ammonium chloride)，可延長醫院電梯按鍵清潔每 2 小時清消一次的規定。

研究結果在實驗室證實，奈米技術防疫護膜在 1 小時內可消滅之醫院常見致病菌包含金黃色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、大腸桿菌 (*Escherichia coli*)、糞腸球菌 (*Enterococcus faecalis*)、腦膜炎敗血伊莉莎白菌 (*Elizabethkingia meningoseptica*)、綠膿桿菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)、克雷伯氏肺炎桿菌 (*Klebsiella pneumoniae*) 與鮑氏不動桿菌 (*Acinetobacter baumannii*)。另外因防疫護膜有抑菌功效，在 3 小時未清潔之電梯按鍵上持續使用，證明可維持於潔淨指標內 ($< 2.5 \text{ CFU/cm}^2$)；並且，奈米技術防疫護膜使用 3 個月仍能維持抑制效果。

綜合上述，奈米技術防疫護膜能有效預防並持續穩定地殺滅醫院常見微生物，其效果與使用消毒液定期清消表面相當。使用奈米技術防疫護膜對於改善環衛人員清潔流程與環境潔淨的維持可能有幫助，然而還需環衛人員積極配合，並加強訓練人員之清潔衛生觀念。(**感控雜誌 2022:32:154-168**)

關鍵詞： 電梯、物理性抗菌、表面抗菌、清潔檢測

民國 110 年 11 月 10 日受理
民國 110 年 12 月 28 日修正
民國 111 年 4 月 21 日接受刊載

通訊作者：李育霖
通訊地址：彰化市南校街135號
連絡電話：(04) 7238595轉5975

DOI: 10.6526/ICJ.202206_32(3).0002

前言

自 20 世紀初，按鍵式電梯問世之後，電梯按鍵成了微生物生長的溫床[1-3]。醫院是高風險感染環境，汙染的環境表面是感染病原體傳播的媒介之一[4]。根據衛福部疾管署醫療機構環境清潔感染管制措施指引，對於電梯之公共區域清潔頻率無硬性規定，僅建議各醫院依既定排程清潔並視需要增加[5]。本院電梯按鍵清潔規定，每 2 小時以浸泡 500 ppm 次氯酸鈉溶液之抹布擰乾後擦拭清消。然而環衛人員人力緊繃，若環境表面能持續抗菌，將是環衛人員的福音。

近年來，病房環境表面消毒的方法及醫院環境應用抗菌材質，一直是可探討的議題[6]。本院曾採用奈米抗菌技術，對改善醫院的水、空氣等環境皆有良好成效，亦有多家醫院發表該技術之研究[7-8]。奈米技術防疫護膜是一個結合奈米觸媒科技與四級銨 (3-(trimethoxysilyl)-propyloctadecyldimethyl ammonium chloride) 類物質的物理性抑制微生物技術，抑制物質均勻鍵結於載體表面形成抑制層，一端帶陽離子基團能吸引微生物，並破壞微生物結構與細胞壁的通透性，使微生物進而死亡。此種抗菌方式較傳統靠氧化還原力或酸鹼性殺菌的化學藥劑長效又環保，也不使微生物產生抗藥性[9-10]。目前此奈米技術已廣泛應用於空氣、水、紡織品、環境表面等[11-12]。處理後

的防護膜產品(後稱奈米技術防疫護膜)可使環境表面具備抗菌功能，讓既定環衛清消電梯的方式多一種選擇性。

環境表面之清潔度檢測需要一個標準來衡量，醫療機構環境之清潔檢測至今未有認證標準。美國疾病管制與預防中心(CDC)曾提及的環境清潔檢測方法中，ATP-生物冷光反應檢測法(adenosine triphosphate bioluminescence assay)與總菌落數法(aerobic colony count, ACC)可能是較為有效的。ATP法操作上方便、快速，但是檢測結果存在廠牌差異；總菌落數法雖然費時卻較準確。另有研究認為總生菌數法的 2.5~5.0 CFU/cm² 可視為表面潔淨的指標，並建議 2 小時清潔一次[13-16]。

本研究分成兩部分，第一部分為奈米技術防疫護膜於醫療場所常見臨床微生物進行抗菌能力試驗研究。第二部分為院內傳統清潔對策與應用奈米技術防疫護膜的表面潔淨比較。

材料與方法

一、奈米技術 (Bio-Kil) 防疫護膜抗菌效能評估

參照 ISO 22196「塑料和其他無孔表面抗菌活性的測量方法」，檢測奈米技術防疫護膜對 *Escherichia coli* ATCC 25922 與 *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 的抗菌活性之外，另外檢測實驗室保存之 5 種常見臨床微

生物：*Acinetobacter baumannii* ATCC BAA-1605, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Elizabethkingia meningoseptica* ATCC 13253, *Klebsiella pneumoniae* ATCC BAA-1705, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212。將菌種配成濃度為 $2.5 \times 10^5 \sim 10^6$ CFU/mL 的細菌懸浮液；接種 200 μ L 懸浮液於規格 5×5 平方公分的無菌樣本上，蓋上規格 4×4 平方公分的無菌塑膠蓋片後，立即沖洗 (0 小時) 或計時一段時間 (1 小時、2 小時或 3 小時) 後再沖洗。沖洗後菌液進行 10 倍連續稀釋，取 100 μ L 菌液均勻塗抹至 TSA (Tryptic Soy Agar)，於 35°C 培養箱隔夜培養 (20~24 小時)。各菌種試驗均進行三重複。培養完畢後計算菌落數，平均三重複之菌落數，以 ISO 22196 試驗方法中判斷抗菌成效之公式，計算抗菌活性值 R (表一)，若 $R \geq 2$ 即可稱該產品具抗菌功效，本試驗可觀察各時間點對於測試菌株之抑制效果。

二、電梯使用奈米技術 (Bio-Kil) 防疫護膜之清消模式評估

本實驗研究期間為 2020 年 10 月 1 日至 2020 年 12 月 31 日止，本院共 30 台電梯，選定無搭乘時間管制且人群易接近使用相鄰之 2 台電梯 (圖一)，分成奈米技術組與對照組。奈米技術組使用奈米技術防疫護膜覆蓋按鍵區，搭配固定配方之奈米技術清潔液 (成分含水、奈米技術專利配方與界面活性劑)；對照組使用普通防護膜覆蓋按鍵區，搭配 500 ppm 次氯酸鈉溶液。奈米技術防疫護膜用普通防護膜以奈米技術專利技術加工製成。防護膜基礎材質皆為 PET 塑膠。奈米技術組的清消方法以奈米技術清潔液均勻噴灑奈米技術防疫護膜後，用乾抹布擦拭乾淨；對照組的清消方法是以抹布浸泡當日配製的次氯酸鈉溶液，擰乾後擦拭普通防護膜。

奈米技術組清消防疫護膜的頻率是每日共 3 次，分別為上午 9 時前、中午 11 時後，以及下午 15 時後。對

表一 奈米技術防疫護膜抑制各菌種之抗菌活性值 (R)

Time	<i>Staphylococcus aureus</i>			<i>Escherichia coli</i>			<i>Enterococcus faecalis</i>			<i>Elizabethkingia meningoseptica</i>		
	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*
0H	4.37	2.52	1.85	4.22	3.75	0.47	4.39	2.52	1.87	4.87	4.37	0.50
1H	4.61	0	4.61	3.78	0	3.78	4.31	0	4.31	4.77	0	4.77
2H	4.48	0	4.48	5.18	0	5.18	3.99	0	3.99	4.73	0	4.73
3H	4.81	0	4.81	4.67	0	4.67	4.14	0	4.14	4.75	0	4.75
Time	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			<i>Klebsiella pneumoniae</i>			<i>Acinetobacter baumannii</i>					
	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*	Control(Ut)	Bio-Kil(At)	R*			
0H	4.24	4.08	0.16	4.3	4.29	0.01	5.12	4.76	0.36			
1H	3.87	0	3.87	4.32	0	4.32	5.06	0	5.06			
2H	3.85	0	3.85	4.41	0	4.41	5.11	0	5.11			
3H	3.97	0	3.97	4.68	0	4.68	5.3	0	5.30			

* If $R \geq 2$, the antimicrobial efficacy is effective (=antimicrobial ratio > 99%)

R = Ut - At

R : value of antimicrobial activity

Ut : Average of the \log_{10} of the number of viable bacteria(CFU/mL) recovered from untreated test specimens after 0h, 1h, 2h, or 3h

At : Average of the \log_{10} of the number of viable bacteria(CFU/mL) recovered from treated test specimens after 0h, 1h, 2h, or 3h

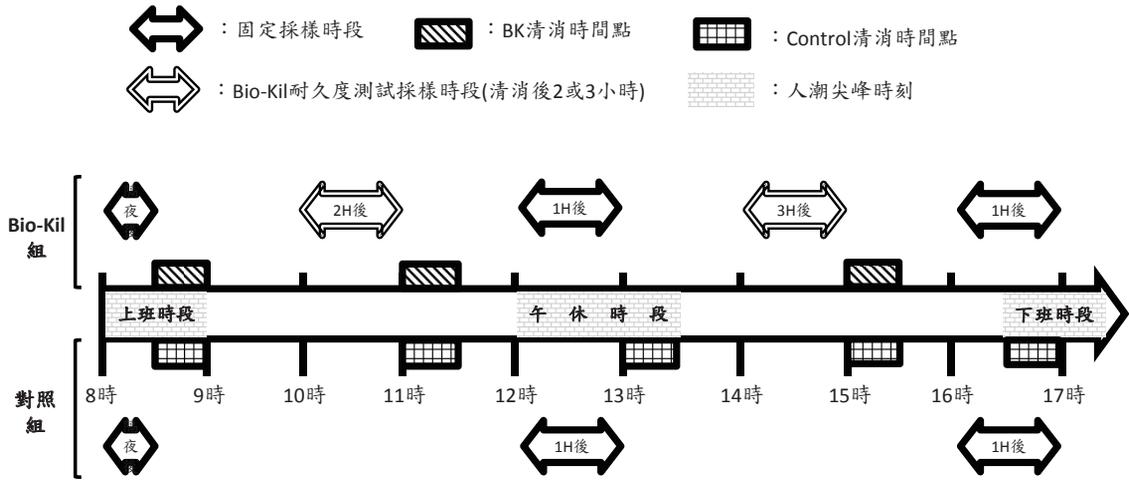


圖一 中部某醫學中心電梯位置平面圖

照組清消普通防護膜的頻率配合醫院政策(每 2 小時消毒 1 次), 每日共 5 次, 分別為上午 9 時前、中午 11 時後、中午 13 時後, 下午 15 時後, 以及下午 17 時前(圖二)。

表面採樣頻率設定為每週一至週五採樣兩天。奈米技術組每日共 5 個採樣時間點, 分別為上午 8 時半(隔夜, 距上次清消約 18 小時)、上午 10 時半(距上次清消約 2 小時)、午休 12 時半(距上次清消約 1 小時)、下

午 14 時半(距上次清消約 3 小時), 以及下午 16 時半(距上次清消約 1 小時)。對照組每日共 3 個採樣時間點, 分別為上午 8 時半(隔夜, 距上次清消約 16 小時)、午休 12 時半(距上次清消約 1 小時), 以及下午 16 時半(距上次清消約 1 小時)(圖二)。兩組別有共同時間點時, 清消或採樣均同時進行。考量電梯使用等候之不確定性, 容許清消與採樣表定時間誤差皆在半小時以內。採樣方法使用總菌



圖二 電梯清消、採樣時間示意圖

落數法檢測，以沾有無菌生理食鹽水的棉棒連續 Z 字型擦拭固定面積的表面，水平及垂直方向各一次。其中，電梯按鍵指定採樣區塊分成左右半邊，每次採樣過區塊於下一次將不重複採樣（圖三）。採檢後的棉棒放入 2 mL 生理食鹽水中，混合震盪 30 秒後取 1 mL 均勻塗抹至 TSA，置於 35°C 恆溫培養箱培養 40~48 小時後計算總菌落數，再依據採檢面積換算單位面積菌落數，單位為 CFU/cm²。數據統整後以潔淨程度分成三種等級（符合 < 2.5、尚可 2.5~5.0、不符合 > 5.0，單位為 CFU/cm²）[13-16]，並依該等級之平均菌數比較實驗組和對照組的各時段差異。最後，進行數據與其他現況資訊的整合分析，如電梯等候時間長短的影響、奈米技術防疫護膜的清消模式可維持時間，並與現行的環衛清消模式比較。



圖三 電梯按鈕指定採樣區

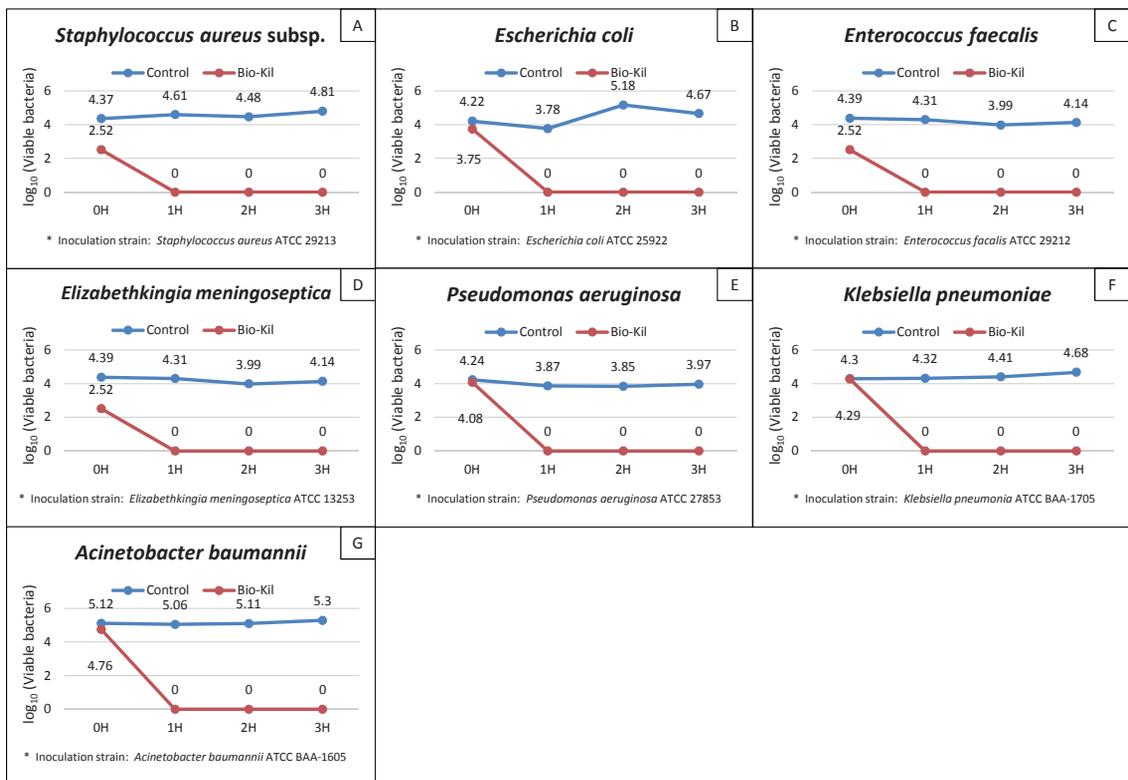
三、統計方法

採樣數據依清消時間分組，各組數據以 Z test 檢定法排除常態分佈之極端值。之後以雙尾獨立雙樣本 t 檢定法，呈現實驗組與對照組是否具有顯著差異 (p -value < 0.05)。觀察整體的菌數變化情況，則使用平均值管制圖、標準差管制圖顯示整體平均菌數隨時間散佈的範圍[17]，用以分析奈米技術防疫護膜的應用在環境中隨時間變化的適用程度。

結果

一、奈米技術防疫護膜對抗常見臨床微生物的效果

奈米技術防疫護膜分別與 *S. aureus* ATCC 29213, *E. coli* ATCC 25922, *E. faecalis* ATCC 29212, *E. meningoseptica* ATCC 13253, *P. aeruginosa* ATCC 27853, *K. pneumoniae* ATCC BAA-1705 與 *A. baumannii* ATCC BAA-1605 的接觸抑菌試驗結果見圖四。各菌種之對照組



圖四 奈米技術防疫護膜對各菌種之抗菌活性

在作用 0~3 小時之間，菌落數皆維持在 log 值 3.78 (約 1.67×10^4 Cells/mL) 以上，顯示測試菌種生長狀態良好。與奈米技術防疫護膜作用 1 小時後，可完全抑制所有測試菌種生長 (菌落數 < 1 CFU/plate)，抗菌活性值 R 落在 3.7~5.3 之間 (表一)，遠大於 ISO 22196 建議的 $R \geq 2$ ，顯示護膜對常見臨床微生物具顯著抑菌效果 (公式： $R = Ut - At$)。另觀察作用時間 0 小時之結果，革蘭氏陽性菌 R 值大

於 1.8，革蘭氏陰性菌 R 值小於 0.5，顯示奈米技術防疫護膜對革蘭氏陽性菌瞬間殺菌效果較優於革蘭氏陰性菌 (表一)。

二、奈米技術防疫護膜現場應用之潔淨效能衡量

將本院電梯內按鍵區比較奈米技術防疫護膜組與環衛人員現行的對照組，觀察清消後隔夜與清消後 1 小時之採樣結果 (表二、表三)。清消後

表二 電梯採樣原始數據

Total counts (CFU/cm ²)								
Group	Bio-Kil [®] antimicrobial pad (Bio-Kil)					Hypochlorite solution (Control)		
Sampling time	08:30	10:30	12:30	14:30	16:30	08:30	12:30	16:30
109/10/05	4.94	1.68	5.26	2.10	1.96	23.76	2.06	1.36
109/10/07	5.72	2.88	0.42	0.26	2.10	4.20	1.08	1.50
109/10/12	4.54	0.86	7.92	1.26	1.38	4.10	0.64	2.80
109/10/14	1.46	5.70	0.24	1.64	9.92*	16.90	2.78	4.04
109/10/19	5.40	3.30	20.76*	2.28	0.80	14.86	0.40	0.94
109/10/21	8.24	2.42	0.10	1.38	2.40	1.76	3.36	1.10
109/10/26	6.22	2.20	0.36	4.54	0.32	3.34	2.08	7.06
109/10/28	2.18	0.64	1.36	1.58	0.56	104.00*	4.10	1.60
109/11/02	112.00*	7.24	0.54	1.06	11.66*	2.82	2.46	3.12
109/11/04	6.68	2.22	6.66	2.46	0.90	5.26	0.60	0.02
109/11/09	6.38	3.80	0.14	0.66	0.08	1.76	0.44	2.28
109/11/10	3.96	0.36	0.48	0.02	1.18	15.40	3.58	0.86
109/11/16	4.48	1.00	1.24	0.34	3.54	5.88	1.32	0.86
109/11/18	8.02	12.50*	4.30	1.80	2.42	5.26	0.76	5.24
109/11/23	4.00	2.04	0.38	0.88	1.70	2.98	0.56	0.26
109/11/25	1.22	4.66	0.60	0.58	0.30	5.56	0.74	0.46
109/11/30	4.42	7.82	0.12	1.22	0.46	4.68	3.88	0.40
109/12/02	3.36	0.44	3.70	0.98	4.38	3.48	0.78	0.10
109/12/07	5.30	3.40	0.48	2.44	3.44	2.88	0.80	1.08
109/12/09	0.12	2.74	1.76	1.76	0.30	15.16	2.68	3.56
109/12/14	8.26	1.22	0.40	0.58	0.82	3.12	0.42	0.32
109/12/16	1.68	1.72	1.84	0.32	0.40	1.22	0.36	0.02
109/12/21	5.60	1.68	1.60	8.58	0.20	5.24	0.82	1.18
109/12/23	2.12	4.28	0.04	0.90	0.70	9.58	3.32	2.90
109/12/28	6.46	10.14*	1.92	0.20	0.10	5.76	1.94	0.14
109/12/30	3.46	3.60	0.18	2.90	0.92	3.64	0.30	0.08
Samples counts(n)	25	24	25	26	24	25	26	26

* Exclude extreme values after calculating with Z posttest. The extreme values are not included in the number of samples.

表三 次氯酸鈉溶液 (對照組) 與奈米技術防疫護膜 (奈米技術組) 之表面潔淨應用比較

Hypochlorite solution (Control)			nano antimicrobial pad (Bio-Kil)		
Quantity	n = 25	n = 52	Quantity	n = 25	n = 49
Reaction	Overnight	1 h	Reaction	Overnight	1 h
Test period	2020/10/1~2020/12/31		Test period	2020/10/1~2020/12/31	
Average (CFU/cm ²)	6.7	1.7	Average (CFU/cm ²)	4.6	1.5
Clean levels (CFU/cm ²)	Ratio (numbers of the level /the total numbers, %)		Clean levels (CFU/cm ²)	Ratio (numbers of the level /the total numbers, %)	
< 2.5	12.0%	73.1%	< 2.5	24.0%	83.7%
2.5~5.0	40.0%	23.1%	2.5~5.0	32.0%	10.2%
> 5.0	48.0%	3.8%	> 5.0	44.0%	6.1%

隔夜的結果顯示，兩組平均菌數皆未達潔淨指標 (< 2.5 CFU/cm²)，對照組不合格率為 88%，奈米技術組為 76%；平均菌數分別為 6.7 CFU/cm² 與 4.6 CFU/cm²，兩組潔淨程度統計上無顯著差異 (p = 0.091)。清消後 1 小時的結果，兩組平均菌數皆符合潔淨指標，對照組潔淨符合率為 73.1%，奈米技術組為 83.7%，平均菌數分別為 1.7 CFU/cm² 與 1.5 CFU/cm²，兩組潔淨程度統計上無顯著差

異 (p = 0.655)。統整以上，奈米技術防疫護膜維持環境潔淨效果相當於普通防護膜表面之次氯酸鈉消毒液。

為證明奈米技術組可延長潔淨時間，奈米技術組另增加 2 個採樣時間點進行觀察 (表二、表四)。結果顯示，清消後 1 小時和清消後 3 小時的數據，每次採檢約有 8 成機率能符合潔淨指標，菌數平均值分別維持在 1.5 CFU/cm² 和 1.6 CFU/cm²。清消後 2 小時之平均菌數為 2.8 CFU/cm²。

表四 奈米技術防疫護膜抑菌間隔不同時長之表面潔淨比較

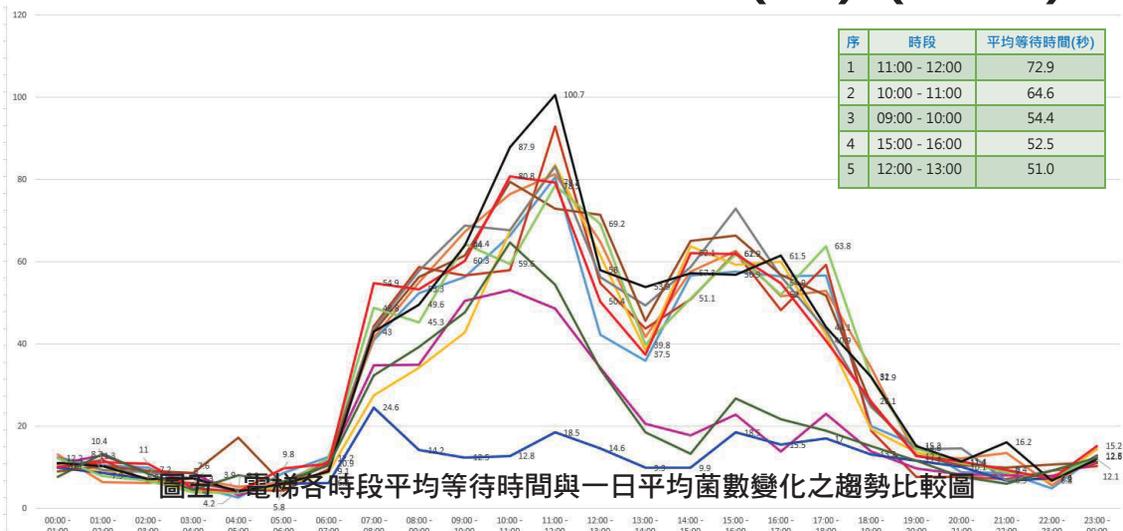
nano antimicrobial pad				
Quantity	n=25	n=49	n=24	n=26
Reaction	Overnight	1 h	2 h	3 h
Test period	2020/10/1~2020/12/31			
Average (CFU/cm ²)	4.6	1.5	2.8	1.6
Clean levels (CFU/cm ²)	Ratio (numbers of the level /the total numbers, %)			
< 2.5	24.0%	83.7%	54.2%	88.5%
2.5-5.0	32.0%	10.2%	33.3%	7.7%
> 5.0	44.0%	6.1%	12.5%	3.8%

cm²，約略超過潔淨指標；為探討相關原因，特調閱本院今年引進的電梯圖控系統，觀察電梯等候時長趨勢(圖五)。資料顯示，平日 10~11 時段之等候時間會急遽上升至高峰(約等 80 秒)，12~13 時段、14~15 時段、16~17 時段約等 50~60 秒間，可解讀為上午時段人流量大於下午時段。結合以上資料，推測 10~11 時段人流量造成了清消後 2 小時之平均菌數較高。儘管如此，奈米技術防疫護膜在

清消後 1 小時和 3 小時數據上經統計後無顯著差異 (p = 0.734)，電梯等候時間也雷同，說明除了人流量等特殊狀態影響外，奈米技術防疫護膜可延長環衛清消緩衝時間至 3 小時以上(表四)。

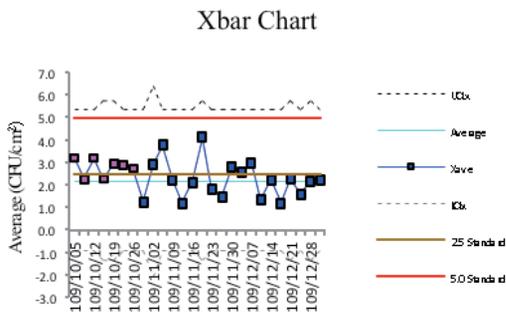
管制圖為感控流程成效的重要觀察工具之一，故本研究將奈米技術防疫護膜組別之數據整理成全日菌數平均值管制圖(圖六A)與標準差管制圖(圖六B)，以觀察奈米技術組清消

各時段平均等待時間(秒) (雙向)

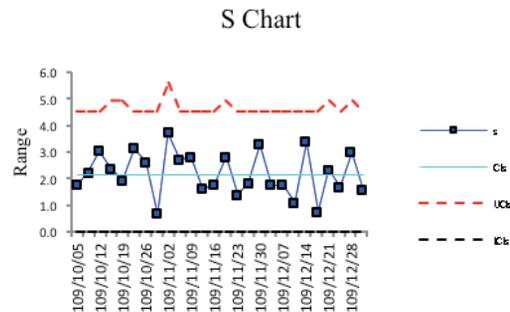


圖五 電梯各時段平均等待時間與一日平均菌數變化之趨勢比較圖

(A)



(B)



圖六 電梯內奈米技術防疫護膜採樣菌數平均值 (A) 與標準差管制圖 (B)

模式的持久穩定性。圖六B 顯示，無任何樣本數值超出標準差上限，且在中心線上下穩定跳動，表示每次抽樣之菌數變化不大。圖六A 除了初期連續七點分布於中心線同一側，違反了管制圖的規則以外，其餘樣本數值均介於中心線上下，且未超出標準差上限；以上結果表示隨著時間推移，3 個月期間之檢測菌數均穩定於平均標準差 2.2 上下，趨勢並未往上或往下偏移，顯示奈米技術防疫護膜的清消流程可維持最初的潔淨效果長達 3 個月。

本研究以統計方法 Z test 排除常態分佈之極端值 (圖二)，再作後續分析。極端值造成的原因可能是採樣或實驗操作之疏失、不同環衛人員清消之個體差異、塑膠膜片使用後造成的刮痕磨損致使累積菌數不易清潔等因素。由於產生之極端值無特定日期、時段、趨勢、連續性等規律，故分析時暫排除極端值以避免極端值造成真實環境平均菌數之偏差。

討 論

環媒傳播 (Fomite-mediated transmission) 是醫院群聚感染的重要途徑然而在日常清潔上，電梯按鍵是清消工作不易落實之區域。醫院表面環境之常見菌包含 *S. aureus*、*E. faecalis*、*E. coli*、*K. pneumoniae*、*P. aeruginosa*、*A. baumannii*、*E. meningoseptica* [18]。在 2017 年世界

衛生組織 (WHO) 公佈資料顯示，*A. baumannii*、*P. aeruginosa*、*E. coli*、*K. pneumoniae*、*S. aureus*、*E. faecalis* 對多種抗生素具抗藥性、導致住院病人之高度致死率。因此，本研究以表面抗微生物產品—奈米技術防疫護膜—作為提升環衛清消電梯按鍵區潔淨成效之方法，未來亦可作為應用於醫療場所之控制面板、鍵盤…等清潔頻率較低或不易清潔的區域之參考。

初步探討奈米技術防疫護膜對上述 7 種常見致病菌種的抗菌活性效果。奈米技術防疫護膜製程中，應用一種毒性和刺激性較低的弱消毒劑—四級銨類物質。探討過去文獻，*P. aeruginosa* 特別能抵抗四級銨化合物 (QACs) [19]，因此清消應用上對於使用 QACs 不具足夠信心。本研究之抗菌活性試驗結果，不論是革蘭氏陽性菌或革蘭氏陰性菌，奈米技術防疫護膜在 1 小時即可有效殺滅所有測試致病菌 (圖四)。此外，護膜對 *P. aeruginosa* 亦展現良好抑菌活性 ($R > 3.87$ ，表一)，抑制活菌數至少 7×10^3 Cells /mL。這項發現有助於預防細菌於乾燥表面形成生物膜，也證明四級銨的抗菌技術已逐漸進步。有潔淨程度要求的環境表面不應超過 5 CFU/cm²；面積 25 cm² 之奈米技術防疫護膜，革蘭氏陽性菌瞬殺能力可將近 2 萬顆菌數 ($R = 4.3$) 降低到約 3 百多顆菌數 ($R = 2.5$)，故奈米技術防疫護膜抑菌應用是備受期待的。過去研究中證實與對照組相比，奈米技術技術

處理過的加護病房環境具備良好的抑菌成效。以奈米技術處理後的加護病房，1 個月期間即有明顯的抑菌成效[20]。在降低環境中抗藥性菌株的策略上，奈米技術處理後的加護病房環境，可顯著降低環境表面的抗藥性菌株[21]。

本院原始清消模式是使用次氯酸鈉溶液，雖擦拭當下可降低細菌量，但菌量隨著時間仍會不斷累積，故須制訂 2 小時擦拭一次之頻率。本研究實際應用奈米技術防疫護膜在本院電梯按鍵區，對比現行環衛現行模式，持續觀察 3 個月。從結果可知，奈米技術組對比現行環衛，可維持相似的潔淨品質 ($p < 0.05$)，但奈米技術組的清消次數較少，清消頻率間隔時間較長。如「隔夜」採樣時間點比對照組多了 2 小時的菌量累積，但平均菌量差異卻不大(表三)。奈米技術組清消 3 小時後的潔淨成效跟 1 小時相同(表四)；奈米技術組在 3 個月過程中未更換過防疫護膜，顯示防疫護膜並不隨時間流逝而抑菌效能降低(圖六)。最後，隔夜的菌落數距離上次清消已累積近 18 小時的菌量，數據明顯高於其他時間點，可推測是仰賴環衛人員上班時間固定頻率的清消才得以維持。統整上述，奈米技術防疫護膜的清消模式，是可達到現行制度之潔淨品質，並使潔淨品質更持久的改善方案。因本研究使用相關文獻中常見的總生菌數評估表面潔淨程度[15-16]，故未對樣本進行菌相分析或

抗藥性細菌的相關探討。

本研究另觀察電梯與表面環境菌量的關係，當電梯人潮接近最高峰，環境菌數仍有機會超過潔淨標準，證明人流多寡確實足以影響數據結果(圖五)。在非高峰的情況下，若遵循奈米技術組的清消模式，可將一日例行性清消頻率由 2 小時 1 次改為 3 小時 1 次。綜合所有數據結果，在本院環境如使用表面抑菌產品在電梯內，建議每日 8~17 時至少清消 3 次，其中一次必須是上午 8 時，增加人潮尖峰時刻的清消頻率。但因本院 2021 年才引進電梯圖控系統，無法回溯電梯確效研究實驗時期的數據，如能更精確考量人流量的影響，環衛清消頻率的規劃可更加完善。

然而，因奈米技術產品的抑制機制為物理性殺菌，過多髒污、油脂與灰塵將降低抑菌效能，此時若細菌繁殖速度快於抑菌速度，菌量仍會累積。另外，環衛人員之訓練也相當重要，例如本研究奈米技術防疫護膜應用初期可從管制圖上看到偏移現象，但隨後則趨向穩定(圖六A)。因此，即使使用表面抗菌產品，環衛人員仍須進行必要的電梯表面清消，並做好定期的清消流程培訓。本研究僅供參考，使用表面抗微生物產品仍需考慮各場所之條件情況。

結語

本研究中，證實奈米技術防疫護

膜能有效抑制醫院環境的常見致病微生物。實際應用奈米技術防疫護膜在醫院電梯按鍵上，3 小時未清消的情形下仍可維持表面潔淨，符合潔淨指標；同一片防疫護膜使用 3 個月後，抗菌效果仍維持不變。相較於使用次氯酸鈉溶液消毒，兩種方法在維持電梯按鍵表面潔淨的能力相當，但奈米技術組清消過程無刺鼻的藥水味。最重要的是，以奈米技術防疫護膜為主設計的清消模式提供醫院維持環境潔淨新的方案，有助於改善環衛人員的清消效率，使單位能彈性調整人力與時間，並加強清潔重要的區域，進而預防感染風險。

參考文獻

1. Al-Ghamdi AK, Abdelmalek SMA, Ashshi AM, et al: Bacterial contamination of computer keyboards and mice, elevator buttons and shopping carts. *Afr J Micro Res* 2011;5:3998-4003.
2. Kandel CE, Simor AE, Redelmeier DA: Elevator buttons as unrecognized sources of bacterial colonization in hospitals. *Open Med* 2014;8:e81-6.
3. Khatib SI: A preliminary study of bacterial contamination from elevators. *Intern J Sci Res* 2013;2:1-2.
4. Schulster L, Chinn RY: Guidelines for environmental infection control in health-care facilities: recommendations of CDC and the healthcare infection control practices advisory committee (HICPAC). *MMWR Recommendations and Reports* 2003;52:1-42.
5. 行政院衛生福利部疾病管制署 (2015, 11 月 2 日)。醫療機構環境清潔感染管制措施指引。台灣衛生網路。摘自 https://www.cdc.gov.tw/File/Get/We55y3OvHbRITKf4_8aewQ。
6. David JW, William AR: Self-disinfecting surfaces: review of current methodologies and future prospects. *Am J Infect Control* 2013;41:31-5.
7. 廖恩慈，喻慶祥，沈政瑩等：奈米技術應用於環境清潔消毒的效果。感控雜誌 2020;30:153-66。
8. 呂旭峰，白壽雄，周明淵等：某區域醫院門診環境空氣落菌數改善研究。生物醫學暨檢驗雜誌 2007;19:17-24。
9. Li L, Fu Y, Liu H: Development of effective and safe compound disinfectant for space cabins. *Acta Astronautica* 2019;159:480-5.
10. Ghanbar S, Kazemian MR, Liu S: New generation of N-Chloramine/QAC composite biocides: efficient antimicrobial agents to target antibiotic-resistant bacteria in the presence of organic load. *ACS Omega* 2018;3:9699-709.
11. 葉明陽，陳厚羽，莊穎瑩等：Bio-Kil 減少護士服之細菌分離數。安泰醫護雜誌 2011;17:29-36。
12. 呂旭峰，李慶孝，呂岱融等：評估 Bio-Kil 運用於按鍵膠片之防疫效用。檢驗及品保雜誌 2013;2:119-28。
13. 林增玉，洪靖慈，曾士誠等：醫院環境及設備消毒以預防 COVID-19 感染之探討。台灣公共衛生雜誌 2020;39:337-41。
14. Griffith CJ, Cooper RA, Gilmore J, et al: An evaluation of hospital cleaning regimes and standards. *J Hosp Infect* 2000;45:19-28.
15. Dancer SJ: How do we assess hospital cleaning? A proposal for microbiological standards for surface hygiene in hospitals. *J Hosp Infect* 2004;56:10-5.
16. Mulvey D, Redding P, Robertson C, et al: Finding a benchmark for monitoring hospital cleanliness. *J Hosp Infect* 2011;77:25-30.
17. Morrison LW: The use of control charts to interpret environmental monitoring data. *Nat Areas J* 2008;28:66-73.
18. 陳賢孟，李育霖，劉尊榮等：伊莉莎白菌對臨床的影響及相關感染管制的預防。感控雜誌 2017;27:259-66。
19. Loughlin MF, Jones MV, Lambert PA: *Pseudomonas aeruginosa* cells adapted to benzalkonium chloride show resistance to other membrane-active agents but not to clinically relevant antibiotics. *J Antimicrob Chemother* 2002;49:631-9.
20. Hsueh PR, Huang HC, Young TG, et al: Bacteria

- killing nanotechnology Bio-Kil effectively reduces bacterial burden in intensive care units. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 2014;33:591-7.
21. Lee WS, Hsieh TC, Shiau JC, et al: Bio-Kil, a nano-based disinfectant, reduces environmental bacterial burden and multidrug-resistant organisms in intensive care units. *J Microbiol Immunol Infect* 2017;50:737-46.

Cleanliness verification of nano antibacterial pads used in hospitals

Hui-Lan Chang¹, Yi-Yun Chang¹, Kun-Ming Wei², Hui-Ling Huang³, Fang-Yu Huang⁴,
Huei-Wen Lai¹, Yu-Lin Lee⁵

¹Center of Infection Prevention and Control,

²Logistics Department,

³Division of Environmental Hygiene,

⁴Department of Engineering & Construction,

⁵Division of Infectious Diseases, Changhua Christian Hospital, Changhua, Taiwan

Elevators are transport hubs for infection control in both healthcare and office buildings. If not regularly cleaned or disinfected, elevators and press buttons may easily become breeding grounds for microbes and sources of infections. The use of surface antimicrobial products with long-lasting effects is expected to prevent the spread of undesirable microbes.

This research was conducted in a medical center located in central Taiwan from October 1st to December 31st, 2020, to investigate the protectiveness and sustainability of nano antimicrobial pads in laboratory and field experiments. The test article was the “nano antimicrobial pad,” which was manufactured based on nanotechnology and catalyst knowledge using organic quaternary ammonium compounds. The results demonstrate the following: (1) the nano antimicrobial pad was proven to effectively eliminate common pathogens such as *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Elizabethkingia meningoseptica*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Acinetobacter baumannii* under laboratory conditions; and (2) due to the sustained antimicrobial activity of the nano pads, the surface of the elevator press buttons that were pad-protected but not cleaned for three hours generated a colony count result within the acceptable cleanliness range (< 2.5 CFU/cm²). The nano antimicrobial pad continued to exert its antimicrobial effects for three months.

These findings suggest that nano antimicrobial pads can be an effective and long-lasting method to eliminate common pathogens in the hospital environment,

and their protective effect against microbes is comparable to that of using disinfectants to clean the surface. The housekeeping personnel at the hospital may redesign the working process to incorporate nano antimicrobial pads. However, the training and compliance of housekeeping personnel must be enforced.

Key words: Elevator, physical antibacterial, self-disinfecting surfaces, cleanliness inspection