運用生物螢光反應檢測法稽核醫院環境清潔之成果

吳宛靜[1] 李佳雯[1] 王梨容[1] 吳怡慧[1] 賴玟君[1] 李奕萱[1] 賴霈妤[1] 柯乃熒[2] 柯文謙[1]

[1]國立成功大學醫學院附設醫院 感染管制中心
[2]國立成功大學醫學院 護理學系

醫院環境清潔為維護病人安全之基石，落實醫院環境清潔可降低照護環境中的微生物與抗藥性菌株，藉此減少醫療照顧相關感染之發生。本院於 2015 年由感染管制中心、總務室環境管理組及護理部共同成立環境清潔管理小組，建立分色管理制度與共同稽核環境清潔成效。2016 年起以 Adenosine triphosphate (ATP) 冷光儀 (ATP luminometer) 進行醫院環境清潔稽核，每月於病房及加護病房常用儀器設備與環境常規進行清潔稽核。2016 年 1 月到 2018 年 12 月間，檢測加護病房區 266 點、一般病房區 216 點，共 482 點。環境清潔及格 (< 200 relative light unit [RLU]) 率由 79.7% 進步至 92.5%，優良 (< 100 RLU) 率由 62.1% 增至 82.9% ($p < 0.001$)。因 2018 年環境清潔採檢結果已達院內自訂之閾值 (90% 為 < 200 RLU)，預計於 2019 年將環境清潔標準下修至 < 100 RLU，故針對 ATP 檢測數據 > 100 RLU 之採檢點作為異常進行分析改善，而異常率較高的採檢點依序為檢體運送條碼機器 (62.5%)，其次為護理站護理鈴 (61.5%)、抽痰流量表 (56.3%)、加護工作檯面 (40%)、動脈血液氣體分析儀 (35.7%)、監視器面板 (32.5%)、呼吸器 (30.4%)、氧氣流量表 (24.4%) 與床欄 (17%)。由此研究結果得出不易清潔點多為易沾染體液血液之設備與環境，及抽痰流量表及氧氣設備，此類設備多具滾輪或齒輪溝槽，易為清潔死角。藉此稽核可立即回饋環管員，相互討論改善清潔方式，互助合作提升工作效能。（**感控雜誌 2020:30:10-20**）

關鍵詞： ATP 生物冷光儀、醫院環境清潔、外部稽核

民國 107 年 12 月 31 日受理
民國 108 年 4 月 29 日修正
民國 108 年 12 月 18 日接受刊載

通訊作者：柯乃熒、柯文謙
通訊地址：台南市北區勝利路138號
連絡電話：(06) 2353535轉2545

DOI: 10.6526/ICJ.202002_30(1).0002

前　言

特定病原體能在環境長時間存活，如諾羅病毒 (*Norovirus*)、困難梭狀桿菌 (*Clostridium difficile*) 及鮑氏不動桿菌 (*Acinetobacter spp.*) 等，造成醫療環境汙染，汙染程度與工作人員或病人使用頻率程度有關。醫院環境清潔為維護病人安全之基石，落實醫院環境清潔可降低環境微生物與抗藥性菌株，減少醫療照顧相關感染[1,2]。

為有效控管醫療環境清潔品質，需對環境清潔步驟與結果進行各類檢視，提供量化及可見數據；常見稽核方式為目視觀察評量法 (visual assessment)、ATP 生物冷光反應檢測法 (adenosine triphosphate bioluminescence assay)、螢光標示檢測法 (fluorescent marker)、總菌落數法 (aerobic colony count, ACC) 或環境微生物鑑定 (environmental culture) [3]，將稽核成果數據化，回饋環境清潔人員，可提高清潔效率[4]。

許多文獻用 ATP 生物冷光反應檢測法進行醫院環境清潔評估，用 ATP 冷光儀進行醫療環境檢測之方法尚未標準化，環境與儀器表面檢測數字須低於多少，才能防止醫療照顧相關感染菌散播[4]。2011 年 Mulvey 等人探討環境 ATP 生物冷光反應檢測法與微生物培養鑑定，兩者進行比較。依Hygiena® (International Ltd, Watford, UK) 使用說明，ATP 生物冷光檢測儀檢出 100 relative light unit (RLU，相對吸光值) 採檢結果，接近培養檢出微生物 2.5 菌落形成單位 (Colony-forming unit, CFU)/平方公分；經良好清潔表面檢驗數值為 < 250 RLU，而清潔不良表面則產生 > 1000 RLU 檢驗值[5]。

ATP 生物冷光反應檢測法因儀器系統及發光計類型不同，檢驗數據合格判定無共同標準，需依各儀器廠商建議進行判讀。Omidbakhsh 等學者比較 Kikkoman Lumitester PD-20、EnSURE Hygiene Meter-ATP-205、Clean-Trace NG Luminometer UNG2-3M 及 Charm novaLUM 等四款常用 ATP 冷光儀，結果顯示四組儀器 ATP 數據與金黃色葡萄球菌數目，皆有明顯正相關，尤其是 Hygiene Meter-ATP-205 最敏感，能檢測出金黃色葡萄球菌量為 240 菌落形成單位；3M Clean-Trace NG Luminometer 能檢驗出低濃度 ATP (10^{-11} molarity，克分子濃度) [6]。

Yu-Shan Huang 等學者針對目視檢查、細菌培養和 ATP 生物冷光反應法進行測定，發現細菌培養菌落數和 ATP 生物冷光反應法檢驗數值，兩者有相關性。對於醫院清潔度評估，ATP 生物冷光反應法比視覺檢查，被認為有更好敏感性[7]。

醫療或食品行業環境檢測結果，可容忍檢驗值範圍不一，自 1 RLU 到 1,000 RLU 不等；不同儀器建議標準迴異，在 3M Clean-Trace NG

Luminometer 檢驗值 < 500 RLU 認為是乾淨，可用 < 250 RLU 為監控閾值 [8]。Alfa 等學者則建議內視鏡檢測閾值為 < 200 RLU [9]。至於醫療機構環境潔淨度，容忍範圍為 10~100 平方公分檢出 25~500 RLU [10]。

提高醫院環境清潔關鍵因素，可包括員工教育和培訓、清潔專業培訓、良好客觀稽核回饋、主管與一線同仁間尊重與合作[11]。為確保醫院環境清潔一致性及適切性，本院於 2015 年成立「醫院環境清潔管理小組」，成員為感染管制中心代表、總務室環境管理組組長、護理部環境管理員業管護理長、外包清潔公司代表。經小組成員討論後，為落實監測環境清潔管理員 (以下簡稱環管員) 工作成效，於 2016年 1 月起採用 ATP 生物冷光反應檢測法，進行醫院環境清潔外部稽核。

材料與方法

研究時間與對象

台灣南部某醫學中心進行環境清潔稽核，介入時間為 2016 年 1 月至 2018 年 12 月。該院稽核期間有 1,342 床急性病床，其中成人加護病床 106 床 (含四個內科加護病房 54 床和四個外科加護病房 52 床)，其餘一般病床 1,236 床。

研究設計

採縱貫性研究 (longitudinal study) 方式，針對 2016 年介入 ATP 生物冷光儀進行醫院環境清潔之稽核，於 2016~2018 年觀察及蒐集環境稽核資料並立即給予回饋，藉此比較冷光儀稽核與回饋介入前後醫院環境與常用儀器設備之清潔成效。

研究步驟及資料收集

加護病房每半年監測一次，一般病房每年監測一次。每次進行 2 點高風險區 (病人區)、1 點低風險區 (照護區) 抽驗；若加護病房大於 10 床，則進行 3 點高風險區、2 點低風險區抽驗。高風險區、低風險區判定參考疾病管制署「醫療機構環境清潔感染管制措施指引」內環境染染風險區域評分進行判定，於本院依「被汙染機率」、「可能暴露程度」及手部衛生五時機之病人區概念進行分類。每年 3、6、9、12 月依病房樓層進行排序檢測，病房抽檢當日上午出院床位，待環管員執行終期消毒後採檢。依本院 ATP 採檢查核表規範之採檢部位，依序進行採樣；高風險區採集床欄、床旁遙控器、呼吸器、氧氣流量表、抽痰流量表、監視器面板、點滴架、病人用護理鈴、加護工作台面、工作台磅秤、電視遙控器、病人用床旁桌、病室電話、病房或浴廁門把、灌食點滴、靜脈輸液點滴幫浦面板等位置。

當日上午 8 點前環管員會執行低風險區環境清潔，於人員清潔後採集尚未使用之環境物品，如護理站電

話、公用電腦、公用滑鼠、護理站護理鈴、飲水機按鍵、工作車台面、工作車條碼掃描器、治療室檯面、點滴櫃把手、檢體採檢及傳送條碼掃描器、血氧濃度測試儀、血液氣體分析儀、公用尿布磅秤、病人床上磅秤、急救車檯面、電擊器操作面板、加護病房病人工作檯面、氣送系統操作面板、病人移床用滑板等處。

感染管制師與感染管制醫檢師於環管員執行終期消毒至少 30 分鐘後，進行檢驗，以 Hygiena-System SURE Plus ATP (Hygiena® International Ltd, Watford) 冷光儀進行測試，用 Ultrasnap 採檢棒於採集點隨機 10 公分×10 公分的環境表面，進行塗佈法劃拭；依廠商規範操作步驟將採檢棒均勻搖晃後，置入 ATP 檢測儀進行判讀。所得數值做以下判讀：< 100 RLU 為優良，100~200 RLU 為需加強，> 200 RLU 為不及格[5]。研究資料以 SPSS 22.0 軟體進行描述性統計、卡方檢定、變異數分析、t-test 等分析，p 值 < 0.05 視為統計有意義差別。

研究結果

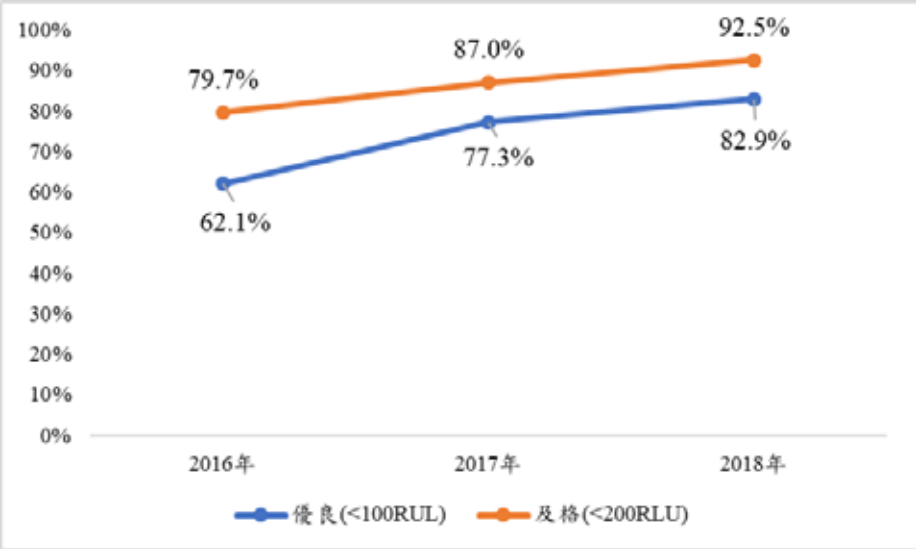
2016 年 1 月至 2018 年 12 月，ATP 冷光儀於進行清潔後檢測，加護病房區執行 266 點採檢，一般病房區 216 點採檢，共 482 點。年度採檢樣本數分別為 2016 年 182 點、2017 年 154 點及 2018 年 146 點。環境清潔及格率 (RLU < 200) 由 2016 年 79.7% 進步至 2018 年92.5%，優良率 (RLU < 100) 62.1% 增至 82.9% ($p < 0.001$) (表一) (圖一)。

高風險區 (150 點，87.2%) 與低風險區 (264 點，85.2%) 檢測及格率，無明顯差異 ($p = 0.302$)；加護病房區 (236 點，88.7%) 與一般病房區 (178 點，82.4%) 及格率亦無明顯差異 ($p = 0.104$) (表二) 。

環境檢驗數值最高檢驗點為血液氣體分析儀，高達 7,655 RLU，其次抽痰流量表、氧氣流量表、監視器面板 (圖二)。於此 ATP 回饋介入後檢驗值大於 2,500 RLU 之採檢點，從 2016 年之 3.84% (7 筆) 降至 2017 年 2.60% (4 筆)、2018 年 0.7% (1 筆)，且於 2017 年下半年起已無出現抽痰

表一　三年研究期間 ATP 採檢點與檢驗結果

年度, 採檢點總數	及格				及格	不及格 (> 200 RLU)	
	優良 (< 100 RLU)		需加強 (101~200 RLU)				
	採檢點	比率	採檢點	比率	比率	採檢點	比率
2016, 182	113	62.1%	32	17.6%	79.7%	37	20.3%
2017, 154	119	77.3%	15	9.7%	87.0%	20	13.0%
2018, 146	121	82.9%	14	9.6%	92.5%	11	7.5%



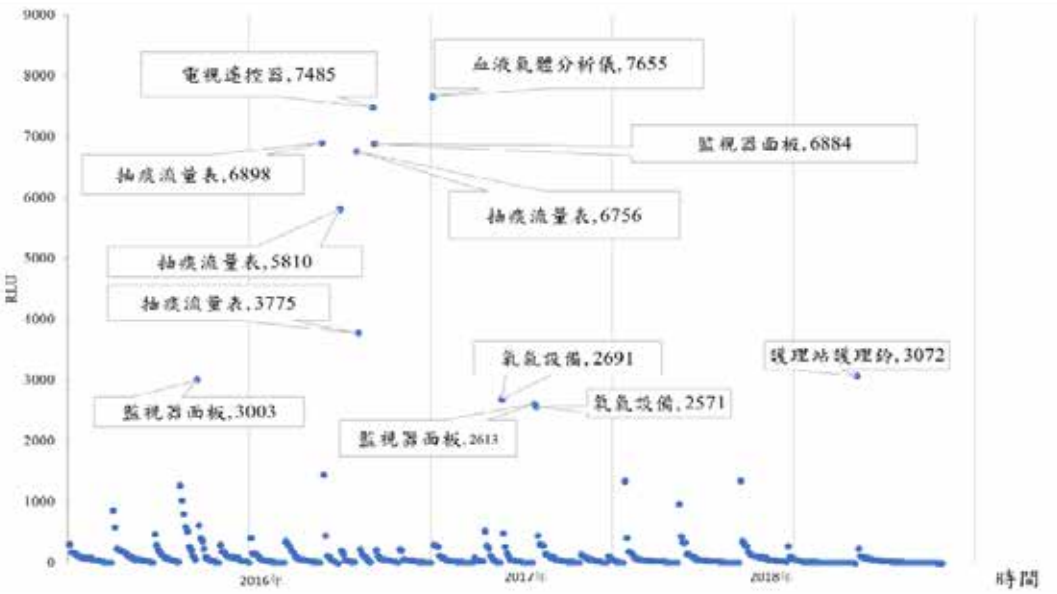
圖一　ATP 環境清潔檢測及格率與優良率

表二　高低風險區與不同病房區 ATP 檢測結果分類與比率

年度, 採檢點總數	及格				及格	不及格		
	優良 (< 100 RLU)		需加強 (101~200 RLU)			(> 200 RLU)		
	採檢點	比率	採檢點	比率	比率	採檢點	比率	p 值
低風險區 (照護區)	123	71.5%	27	15.7%	87.2%	22	12.8%	0.302
高風險區 (病人區)	230	74.2%	34	12.7%	85.2%	46	14.8%	
加護病房區	204	76.7%	32	12.0%	88.7%	30	11.3%	0.104
一般病房區	149	69.0%	29	13.4%	82.4%	38	17.6%	

流量表、氧氣流量表、監視器面板等採檢點異常。

本院 2016~2018 年先以 > 200 RLU 視為環境清潔不及格，2018 年已達院內自訂閾值及格率 > 90%，2019 年預計將及格標準調整為 < 100 RLU。故把 > 100 RLU 的 129 個採檢點為改善重點，佔檢驗 26.7%。不及格比率高前 9 名為檢體採檢條碼機器 (62.5%)，其次護理站護理鈴 (61.5%)、抽痰流量表 (56.3%)、加護工作臺面 (40.0%)、動脈血液氣體分析儀 (35.7%)、監視器面板 (32.5%)、呼吸器 (30.4%)、氧氣流量表 (24.4%) 與床欄 (17%)，其餘儀器與環境品項不及格筆數僅單一筆，不細項說明 (表三、圖三)。針對全部之 482 點環境及儀器之採檢點數據進行分析，



圖二　2016~2018 年 ATP 檢驗數值分佈與檢驗值大於 2,500 RLU 之採檢點

表三　常見檢驗數值異常 (含不及格及需加強) 之採檢點

採檢點	採檢總數	異常筆數	異常比率	不及格 (>200 RLU)	不及格率	需加強 (101-200 RLU)	需加強率
檢體採檢條碼機器	8	5	62.5%	1	12.5%	4	50.0%
護理站護理鈴	13	8	61.5%	4	30.8%	4	30.8%
抽痰流量表	32	18	56.3%	12	37.5%	6	18.8%
加護工作台面	15	6	40.0%	4	26.7%	2	13.3%
動脈血液氣體分析儀	14	5	35.7%	3	21.4%	2	14.3%
監視器面板	40	13	32.5%	6	15.0%	7	17.5%
呼吸器	23	7	30.4%	4	17.4%	3	13.0%
氧氣流量表	41	10	24.4%	7	17.1%	3	7.3%
床欄	47	8	17.0%	4	8.5%	4	8.5%

血液氣體分析儀　檢體採檢條碼機　抽痰流量表　氧氣流量表　護理站護理鈴

圖三　常見檢驗數值異常 (含不及格及需加強) 之醫療儀器

58.7% 採檢點數據 0~50 RLU，< 100 RLU 檢驗數據 73.2%，> 300 RLU 佔 8.5% (表四)。

於分年度之採檢樣本分析，清潔及格之採檢百分比由 2016 年 79.7% 逐年進步 2017 年 87.2% 與 2018 年 92.5%，ATP 採檢數值 > 300 比率由 2016 年的 13.19% 降至 2018 年的 4.79% (表五)。

結語與討論

此次研究發現 ATP 冷光儀進行環境清潔後稽核，反映醫療設備或環境是否被妥善清潔。藉此可找出不易清潔處，多為易沾染體液血液設備與環境，如檢體掃描條碼機、護理站護理鈴、抽痰流量表、加護病房工作檯面、動脈血液氣體分析儀、生理監視器面板、呼吸器、或氧氣流量表與床欄。此類設備多具有滾輪、齒輪溝槽、按鍵與機關，成為清潔死角。這些檢驗數值異常點，於檢驗當下回饋環管員，立即重新針對異常點進行清潔，並且通知環境清潔小組主管群組，直接改善清潔方式，提升工作效能；這些檢驗資料也有利環境清潔管理小組，對環管員後續教育與稽核重

表四　ATP 檢驗值分類與比率

檢驗結果分類	檢驗數值, RLU	檢驗數	百分比	累計百分比
及格	< 50	283	58.7%	58.7%
	51~100	70	14.5%	73.2%
	101~150	45	9.3%	82.6%
	151~200	16	3.3%	85.9%
不及格	201~250	12	2.5%	88.4%
	251~300	15	3.1%	91.5%
	> 300	41	8.5%	100.0%

表五　分年度 ATP 檢驗值分類與比率

檢驗結果分類	檢驗數值, RLU	2016 年 (n = 182)	百分比	2017 年 (n = 154)	百分比	2018 年 (n = 146)	百分比
及格	< 50	78	42.86%	99	64.29%	106	72.60%
	51~100	35	19.23%	20	12.99%	15	10.27%
	101~150	20	10.99%	12	7.79%	13	8.90%
	151~200	12	6.59%	3	1.95%	1	0.68%
不及格	201~250	9	4.95%	2	1.30%	1	0.68%
	251~300	4	2.20%	8	5.19%	3	2.05%
	> 300	24	13.19%	10	6.49%	7	4.79%

點參考。實務上本院環管員常主動希望稽核難清潔設備，瞭解自己工作清潔成效。然而，運用 ATP 冷光儀或細菌培養作為環境清潔稽核，將耗費相當成本與人力，難成為常規檢測。

本研究設計上有些限制，包括環管員霍桑效應、或清潔液殘留對 ATP 檢驗數據的影響。ATP 生物冷光反應法和傳統微生物培養，兩種方式皆可有效評估清潔成效；但低菌落數、不同廠牌 ATP 冷光反應檢測管、不同細菌環境存活時間、殘餘環境表面消毒劑、不同材質物體表面、過冷之溫度，皆影響 ATP 檢驗值[6,8,12]。須搭配其他稽核方法，如螢光燈檢驗進行不預警清床後抽測。ATP 生物冷光檢測時無法確定細菌是否存活，ATP 反應於細菌生長期與活動期；若汙染物已乾燥或間隔超過一夜或低於 4~6 度之環境表面，ATP 出現較低檢驗值[8]。故環境清潔後採檢時機，常會影響檢驗數值。

醫院環境清潔是病人免於醫療機構相關感染的有效方法之一，而人為因素將決定醫院環境清潔品質。組成環境清潔管理小組，可從多層面進行管理，帶入實證有效的介入措施、建立客觀和定量的清潔驗證方法，已證實可提高病房的清潔度與感染率，以及病房多重抗藥性細菌年度培養菌種總數明顯減少[11,13-15]。醫療環境清潔的目前重要議題為環管員管理與新型清潔劑之高成本[13]。近年來台灣企業管理型態改變，環境清潔或廢棄物處理工作，多由民間清潔服務業以外包方式承攬。依勞動部 2018 年職業資料，台灣從事清潔及家事工作人員 (含建築清潔工) 340,247 人，執業登記於醫療保健業環境清潔管理員 4,629 人，僅佔 1.4% [16,17]。環境清潔人員經常薪資平均為 25,084 元；但登錄於醫療保健業清潔人員約為 24,641 元，低於其他職類環境清潔人員平均薪資[17]。環管員高流動率、工作品質不穩定、年齡大、教育程度差異大，更需耗時於在職教育、反覆示教與稽核；年輕優質環管員，常因工作付出與薪資不符合期望，轉任其他工作[16]。

本研究耗費人力與成本進行稽核與回饋管理，難在全院或各級醫院推廣；拋棄式清潔工具或拆開即用之清潔劑，成本亦偏高。期望衛生主管機關針對醫療機構清潔外包廠商，進行品質要求與認證，鼓勵醫院投入環境清潔成本：提升清潔工作人員品質和願意提供方便、快效清潔工具，符合現行步調緊湊的臨床環境。

致　謝

感謝成大醫院護理部及總務室環境清潔管理組所有成員，協助改善升級清潔作業流程與設備工具，及第一線醫療同仁致力於醫院環境清潔維護。

參考文獻

1. Jennifer H, Nancy S, Brian FL, et al: Cleaning hospital room surfaces to prevent health care-associated infections. Ann Intern Med 2015;163:598-607.
2. Weber DJ, Rutala WA, Miller MB, et al: Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens: norovirus, Clostridium difficile, and Acinetobacter species. Am J Infect Control 2010;38:S25-33.
3. 洪儀珍、陳安琪、丁菱等：醫院環境清潔確效方法之介紹與運用。感控雜誌 2018:28:264-73。
4. Doll M, Stevens M, Bearman G: Environmental cleaning and disinfection of patient areas. Int J Infect Dis 2018;67:52-7.
5. Mulvey D, Redding P, Robertson C, et al: Finding a benchmark for monitoring hospital cleanliness. J Hosp Infect 2011:77:25-30.
6. Omidbakhsh N, Ahmadpour F, Kenny N: How reliable are ATP bioluminescence meters in assessing decontamination of environmental surfaces in healthcare settings? PLoS One 2014;9:e99951.
7. Huang YS, Chen YC, Chen ML, et al: Comparing visual inspection, aerobic colony counts, and adenosine triphosphate bioluminescence assay for evaluating surface cleanliness at a medical center. Am J Infect Control 2015;43:882-6.
8. Vogel SJ, Tank M, Goodyear N: Variation in detection limits between bacterial growth phases and precision of an ATP bioluminescence system. Lett Appl Microbiol 2013;58:370-5.
9. Alfa MJ, Fatima I, Olson N: Validation of adenosine triphosphate to audit manual cleaning of flexible endoscope channels. Am J Infect Control 2013;41:245-8.
10. Dancer SJ: Hospital cleaning in the 21st century. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 2011;30:1473-81.
11. 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。
12. 陳瀅淳、黃佩萱、黃惠美等：ATP 生物冷光反應法和傳統微生物採檢法在醫院環境清潔確效之比較。感控雜誌 2017;27:45-52。
13. 王雅芳、劉永慶、黃玉文等：運用多元感染管制策略提升清潔人員環境清消成效。感控雜誌 2017;27:103-15。
14. 吳德玉、姜秀子、葉惠慈等：探討北部某醫學中心心臟內科加護病房執行病室終期清潔之效果。感控雜誌 2014;24:273-83。
15. MC Chan, TY Lin, YH Chiu, et al: Applying ATP bioluminescence to design and evaluate a successful new intensive care unit cleaning programme. Journal of Hospital Infection 2015;344-346.
16. 勞動部 (2019，1 月 8 日)。職業指南目錄-清潔工作人員。摘自 https://www.mol.gov.tw/media/1380801/bi01.pdf.
17. 勞動部 (2018，7 月 1 日)。107 年職業別薪資調查動態查詢。摘自 https://pswst.mol.gov.tw/psdn/Query/wFrmQuery01.aspx.

Application of ATP luminometer to monitor the efficacy of environmental cleaning at a medical center in southern Taiwan

Wan-Ching Wu[1], Chia-Wen Li[1], Li-Rong Wang[1], Yi-Hui Wu[1],
Wen-Chun Lai[1], Yi- Hsuan Lee[1], Pei-Yu Lai[1], Nai-Ying Ko[2], Wen-Chien Ko[1]

[1]Infection control center, National Cheng Kung University Hospital, College of Medicine,
[2]Department of Nursing, College of Medicine, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Cleanliness in the hospital environment is imperative for patient safety. Optimization of hospital environment cleaning may help decrease the bioburden of various microorganisms, including multidrug-resistant organisms, from surfaces of medical equipments and instruments and consequently reduce the incidence of healthcare-associated infections. An environmental cleaning management team comprising the representatives from the Infection Control Center, Department of General Business, and Department of Nursing conducted evidence-based interventions to assess the cleaning process in our hospital in 2015. Since 2016, adenosine triphosphate (ATP) luminometer has been used for monthly audits to evaluate the environmental cleaning process in general wards and intensive care units (ICUs). Between January 2016 and December 2018, 266 points in ICUs and 216 points in general wards have been checked using ATP luminometer.

The passing rate for environmental cleaning, defined as relative light unit (RLU) < 100/cm^2 as assessed with ATP luminometer, improved from 79.7% to 92.5% ($p < 0.001$) over the study period. The highest failure rate was observed among barcode recorders for medical samples (62.5%), followed by the nursing call system in nursing stations (61.5%), suction flow meters (56.3%), workbench of clinical staff in ICUs (40%), arterial blood gas analyzers (35.7%), bedside monitoring panels (32.5%), ventilators (30.4%), airflow meters (24.4%), and bed rails (17%). According to this study, medical devices with a high cleanliness failure rate after standard cleaning procedures mostly comprised rollers or grooves. With this method, the infection control nurses could provide immediate feedback to the

cleaning staff and further improve the mutual cooperation and discussion on the effectiveness of hospital environmental cleaning procedures.

Key words: ATP luminometer, Hospital Clean, Examination audit