

# 智慧敷料發展現況與未來挑戰

台灣亞太產業分析專業協進會 101 年認證產業分析師 林怡欣

## 一、前言

慢性傷口由於長期處於發炎狀態，讓傷口難以癒合，除了導致醫院門診就診次數增加、門診時間與住院時間延長外，也造成醫療支出居高不下的原因之一。根據英國 NHS 統計，慢性傷口每年約產生 45 億至 51 億英鎊的醫療支出；在美國傷口照護聯盟(American Alliance of Wound Care Stakeholders)研究發現，美國每年傷口照護支出約落在 281 億至 317 億美元，形成沉重的醫療負擔。隨著高齡化趨勢，與年齡增長相關的疾病伴隨而生，例如衰弱、癱瘓、糖尿病、動/靜脈疾病、貧血、免疫系統損害、腎功能衰竭、自體免疫疾病與皮膚疾病等，均是造成慢性傷口如壓瘡、腿部潰瘍、糖尿病足部潰瘍以及無法癒合的手術傷口等不易癒合的原因。除了上述疾病以及個人體型、營養狀態、放射治療、血管功能不全等全身性/系統性因素外，其他如乾燥、感染、異常細菌存在、浸漬、壞死、壓力、外傷與水腫等局部性因素與環境因素也都是造成慢性傷口的成因。目前臨床醫師主要仍是以目視檢查或是輔以實驗室檢測來評估傷口癒合狀態，然而隨著醫療支出上漲、醫療人力吃緊，現有被動式傷口照護無法滿足所有照護需求，進而推動「智慧敷料」技術與產品研發，智慧敷料集結多參數感測器，透過非侵入式、可定量傷口數據並以無線傳輸方式提供即時傷口資訊與數據，除了即時掌握傷口現況並提供即時治療，也可有效減少併發症、縮短住院時間；而數位化傷口數據，也可讓醫院醫師進行遠距診療，減少居家訪視次數，進而減少醫療成本。

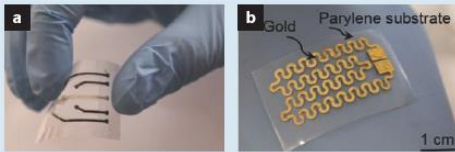
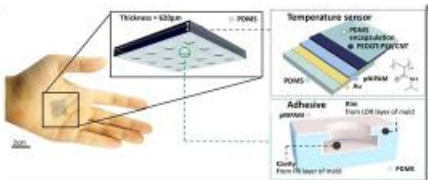
## 二、智慧敷料發展現況

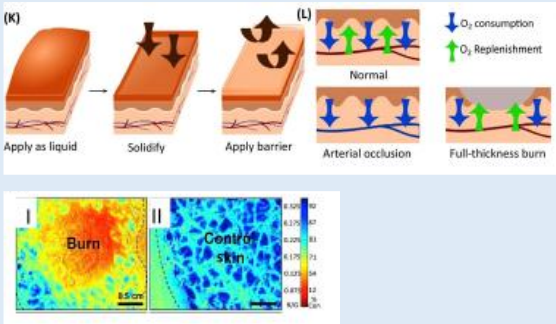
目前大多數現有的傷口敷料都是被動式療法，無法主動影響傷口環境的變化，但在某些情況下，可透過先進敷料釋放抗炎藥物、抗生素或抗菌化合物、提供血管生長因子，並吸收過多的組織滲出液以促進傷口組織癒合。縱使如此，現有傷口照護產品仍無法提供傷口床、傷口邊緣的狀態及其癒合資訊，因此，還是必須經常檢查傷口狀態以評估癒合過程以及是否有其他感染風險，像是藉由更換敷料時來檢查傷口癒合狀況，然而過度頻繁更換敷料除了會讓傷口產生疼痛外，也會讓初癒合的傷口再次遭受到破壞，延長癒合時間也增加就診次數與醫療成本，此外，對於偏遠地區的患者來說，長距離的就醫檢查也相對成為另一項負擔。另一方面，傷口癒合過程恢復速率不一，所需的環境與提供的藥物會隨著傷口癒合的程度與時間而有所不同，如

何正確使用抗炎藥物，避免產生抗藥性也是相當重要。另外，目前傷口診斷方式主要以目視方式來進行評估，以傷口的損害的深度、位置、大小等物理、生物學和生化學特性進行分類分級，這類診斷方式較為主觀與定性分析，可能因主觀者的不同而有不同的診斷與治療方式。

隨著 ICT、AI、大數據與新興電子醫療技術演進，以及傷口照護需求增加下，推動敷料朝向數位化、智慧化發展，運用微電子感測器與無線傳輸裝置嵌入傷口監測設備或敷料中，提供傷口環境狀態與量化數據分析(表一)，為病患制定個人化傷口治療方案，加速傷口癒合。然而透過多項感測器來監測傷口照護過程以達到數位診療需求，仍有多項挑戰亟待克服，在技術層面上，須考量感測器之微型化、是否具備生物相容性、基材是否具備柔韌性、防潮、防生物汙染、準確性、如何校準以及是否具備一次性使用等特性；在臨床應用方面，這些嵌入感測器敷料仍需保留原有敷料的功能，並可以預防交叉感染、可滅菌、具有追蹤裝置、病患數據傳輸安全防護、電源供應與充電要求等。

表一、智慧敷料感測參數

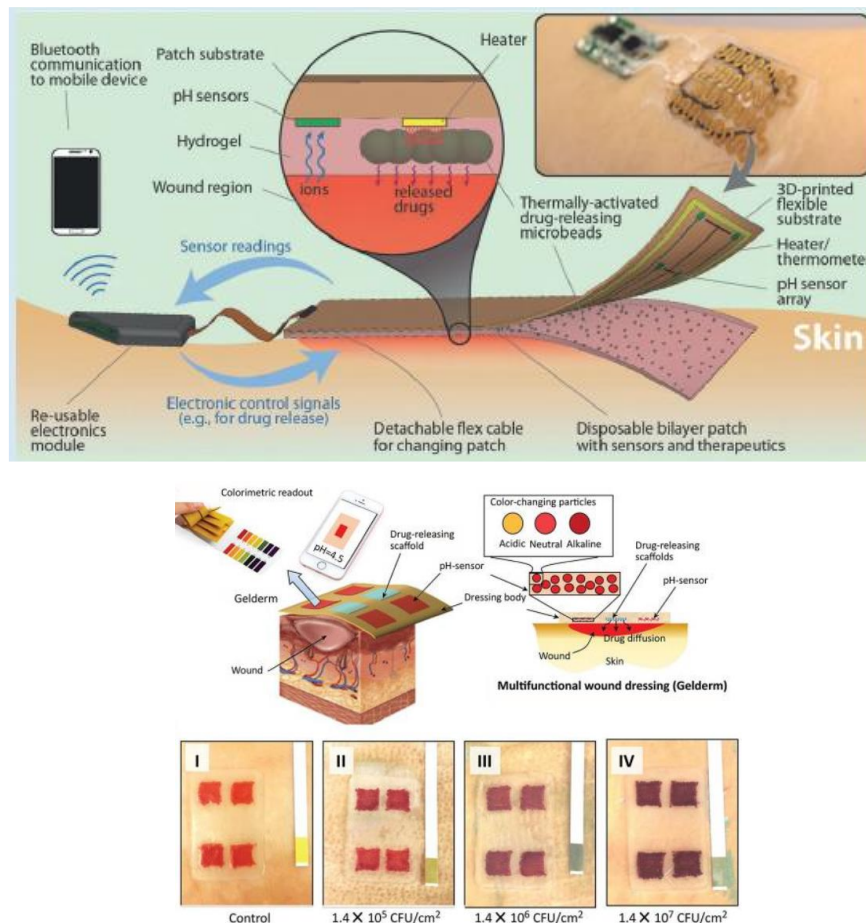
參數	指標	感測器
pH	人體內部酸鹼值為中性 pH 7，當皮膚遭受到破壞時，皮膚 pH 值會改變，傷口修復大都在弱酸性進行，若有細菌增生或是慢性傷口則 pH 值會呈現弱鹼性，因此 pH 值可以提供傷口癒合階段以及感染示警。	 <p>電化學 pH 感測器</p>
溫度	傷口會產生發紅、腫脹、疼痛導致溫度提升，根據文獻顯示，若溫度提升 1.11°C 則有可能有細菌感染的風險。	 <p>Microfabricated metallic resistive sensors</p> <p>微製造金屬電阻感測器</p>

<p><b>氧 (Oxygen)</b></p>	<p>氧在傷口癒合過程中扮演重要調節功能，可協助膠原蛋白沉積、上皮形成、纖維增生、血管生成和抵抗感染。在健康組織中氧分壓為 30-50 mmHg，傷口氧分壓為 5-20 mmHg。</p>	 <p>光學感測、傷口氧氣二維發光成像；下圖為燒傷組織(左)、健康組織(右)之耗氧量實測</p>
<p><b>濕度 (Moisture)</b></p>	<p>傷口濕度檢測可提供傷口滲出液量、傷口滲出率、傷口敷料飽和度和敷料功效等四項數據，以評估是否需更換敷料保持濕度或是吸收多餘的水分或組織液等。</p>	<p>濕度感測器、電阻抗濕度描繪</p>
<p><b>壓力</b></p>	<p>加壓療法可改善靜脈血流，進而加速傷口癒合，透過壓力監測可了解傷口壓力是否足夠或是加壓過當。</p>	<p>壓電和電容式壓力感測器、光學壓力感測器 fiber Bragg grating</p>
<p><b>尿酸 (Uric acid)</b></p>	<p>尿酸會抑制傷口癒合，尿酸檢測可提供下肢靜脈潰瘍其嚴重程度和氧化壓力(oxidative stress)數據。</p>	<p>電化學和電流感測器</p>

資料來源: O'Callaghan S (2020)

在上述多種感測器中，除了常見的溫度、壓力感測器外，pH 值感測器也常運用在智慧敷料中。目前已有研究人員將電化學 pH 值感測器與攜帶藥物的水凝膠結合，當檢測到傷口受到感染時，可透過外部傳輸控制加熱水凝膠釋放藥物，以達到感染控制療效(圖一上)。

加拿大維多利亞大學 Mirani 教授開發一款水凝膠敷料 “GelDerm”，可同時進行傷口 pH 值檢測，其 pH 感測器貼附在透明背襯敷料下，面積大小約 12 mm<sup>2</sup>，透過 pH 感測器呈色顯示結果，再利用智慧手機 iDerm app 進行酸鹼值比對與確認，其 pH 準確度約在±10%。此外，GelDerm 還可進行藥物釋放，可預先將抗菌藥物放至水凝膠敷料中，若偵測到傷口感染則可透過智慧手機 app 進行抗生素釋放(圖一下)。

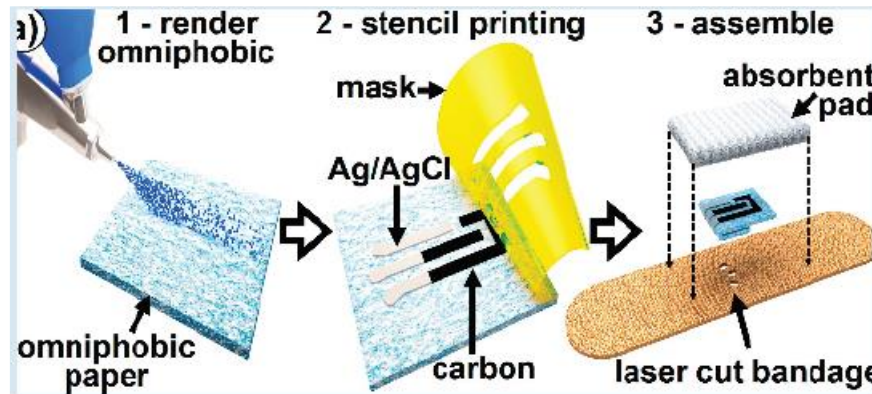


資料來源: O'Callaghan S (2020)

圖一、水凝膠 pH 智慧敷料

普渡大學 Pal 教授團隊開發一款疏水紙基智慧繃帶(omniphobic paper-based smart bandage, OPSB)，在全疏水性的 Whatman #1 紙上印刷碳和銀/氯化銀導電油墨，並用雷射切開繃帶上的黏著劑，再將紙基感測器放置於繃帶黏合劑層和吸收墊之間，最後形成疏水紙基智慧繃帶 OPSB(圖二)。此智慧繃帶內嵌高精度阻抗分析儀可測量繃帶下的壓力，並以電化學方式檢測傷口 pH 值和尿酸值。該智慧繃帶採用恆電位儀，其阻抗分析儀晶片除了可檢測組織損傷外，

並具備 3.6 V 可拆卸之充電電池，每 2 小時採樣一次持續 7 天，以解決電源供應的問題。該裝置還具備無線通訊與 RF 收發器可將數據傳輸至外面裝置以利傷口監測。



資料來源: O'Callaghan S (2020)

圖二、OPSB 紙基型智慧繃帶

### 三、智慧敷料挑戰

智慧敷料雖然在傷口照護提供新的進展，但目前仍有許多關鍵問題亟待克服。首先是剛性的電子裝置須具備靈活性、軟性材質、低功耗、低成本等特性，由於這些嵌入式感測器敷料與傷口接觸，患者感到舒適與否以及是否有感染風險都是首要考量因素；再者，為能源消耗與電源壽命，目前常見的解決方式為採用間歇式數據採樣，而非連續式監測，以降低電力消耗，或是透過遠端或人體收集電源，且為滿足醫療一次性使用需求，也希望能開發出可燃性電池。然而，有時實際狀況並不如理想預期，例如適合穿戴的傷口敷料其電源卻無法達到所需功率的要求，或是合適的電池與軟性電路卻會阻礙敷料讓傷口癒合的能力等；傷口癒合過程會隨著病患身體狀態與環境不同而有變化，因此借用多參數感測器來收集各項生理參數如細胞、分子、電化學、物理等數據來提供完整的解決方案，如目前研究人員正在研發可以同時提供傷口感染、發炎反應、蛋白酶平衡，以及可以調控細胞遷移、增殖和傷口癒合血管生成的表皮和真皮信號轉導途徑，建構傷口癒合先進分子網絡。

### 四、結論

隨著新興技術開發，將敷料結合微電子感測器、微處理器和無線通信等元件以監測傷口照護，提升治療效果，不僅讓傳統傷口敷料進行可視化、數位化轉型，也為敷料照護帶來新的曙

光。過去因慢性疾病、糖尿病、肥胖、壓瘡與血管疾病所導致的慢性傷口，也期望能透過智慧化敷料來提供最佳的療效以及降低醫療人力成本與資源。

理想的敷料會根據傷口床、傷口邊緣狀態、傷口滲出液、生菌試驗(bioburden)以及其他相關要素來達到傷口癒合的目的，這涵蓋多種材料與技術組成，以及研發人員對於傷口癒合過程的認知與瞭解，因此需要臨床醫師、醫療器材開發者、材料開發與生物醫學工程等專業人員之間緊密合作，並搭配 AI、大數據與機器學習技術，提升傷口照護診斷與治療之精準度。此外，也可透過無線傳輸將數據連結至病患電子病歷系統，建立臨床醫師、護理人員與病患三方相互回饋機制，讓醫療端獲得患者對治療的依從性以便提供更好的傷口照護管理，為病患帶來更優質的照護品質。

## 五、參考資料

1. O'Callaghan S, Galvin P, O'Mahony C, Moore Z, Derwin R. 'Smart' wound dressings for advanced wound care: a review. *J Wound Care*. 2020 Jul 2;29(7):394-406. doi: 10.1002/adhm.202100477.
2. Derakhshandeh H, Saheb Kashaf S, Aghabaglou F, Ghanavati I, Tamayol A, Banerjee J, et al. Smart bandages: The future of wound care. *Trends Biotechnol*. 2018 Dec; 36(12): 1259–1274.
3. 羅淑芬, 胡文郁. (2007). 慢性傷口之評估與測量原則. 護理雜誌. 54 卷 2 期

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS智網<http://www.itis.org.tw/>