



■ 劉家甄、詹順雯、林宗宏

# 智慧型衣物—— 衣服不再只是衣服

智慧型衣物結合了紡織品與電子產品，  
使原本平凡的衣物具有特別的功能，  
且可以和你我互動以符合需求和期待。



隨著科技的進步，人們對自我的健康也越來越重視，因此智慧型衣物成為一股迅速崛起的新風潮，在市場上發光發熱。有智慧的衣物是什麼？簡單地說，就是一種整合「電子元件紡織化」的創新產品，它結合了紡織品與電子產品，使原本平凡的衣物具有特別的功能，且可以和你我互動以符合需求和期待。

舉例來說，進入醫院時，穿了它就不怕被空氣中的細菌感染；跑步時，身上的衣服可以全程記錄心跳、體溫、步數、熱量消耗等生理訊號。甚且當偵測到身體快超出負荷時，衣服還會發出警示提醒該休息了，或者當老年穿戴者被偵測到有危險時，也能自動發出求救訊號。智慧衣相較於智慧手錶或手環，因為能更大範圍地貼近人體，所以檢測的效能會比手環類產品更為精確。在去年的國際電子消費展（CES）上，智慧衣物是亮點之一，種種趨勢都指出它有成為新一代潮流的潛力。

## 供電技術的瓶頸

儘管智慧衣前景似錦，但現有的技術仍有一些瓶頸，其中最大的難題就是儲存電力裝備的體積和重量。通常電子紡織品都是以電池作為電力的來源，而現今電池既重、體積也頗大，使得智慧衣顯得笨重也累贅。若把它的體積縮小，可供給的電力又會降低，且由於它們的材質是堅硬的，無法完全融入紡織結構中。試想穿的衣服裡面若有一大塊硬邦邦的地方，會覺得



智慧衣物可提供各種應用，例如 GPS 定位、供電、檢測運動狀態、記錄身體狀態等。

舒適嗎？很顯然的，這個缺點減低了很多人穿戴的意願。

把電池裝置在衣物上就是這麼不理想，這也是傳統電池不適合與紡織品結合的主要原因，不僅缺乏可持續性、輕便性，甚至當電池滲液接觸到皮膚時，也會有致毒傷害的疑慮。現今雖有很多研究專注在電池的微型化，但成果仍然不彰，不僅體積仍失之過大、過重，生命周期也較短，最麻煩的是在清洗衣物前須先把它們移除。要推廣穿戴式科技的產品，電力供應器的體積必須縮小，重量也要減輕，因此創新的供電技術成為智慧衣亟需突破的問題。

**要推廣穿戴式科技的產品，電力供應器的體積必須縮小，重量也要減輕，因此創新的供電技術成為智慧衣亟需突破的問題。**



## 如何讓電力無所不在

現今使用的電力大多取自煤炭，但在資源有限的情況下，為了確保下個世紀的能源不至於枯竭，過去幾十年科學家不斷地從浪費的環境能源中，回收並轉換成可滿足全球需求的能源。而電子電力的應用範疇很廣泛，除了日常生活的家用供電外，還能運用於生物科技及醫學方面。例如現行的殺菌技術，就是藉由高壓的交流電對細菌產生的電穿孔效應，這一技術也能用於農產品的抑菌及殺菌。

除了再生能源外，自供電系統也是熱門的研究領域。所謂自供電，就是把日常生活中浪費的能源轉化成可用電力的構思，像是摩擦效應、壓電效應等，以單一或多種的方式收集環境中機械溢散的能量，使它生成電力。因此若能設計一個可以有效地把這些能量轉換為電能的發電機，不僅能作為智慧衣物的供電來源，並有設備體積微小、不需插電源、方便攜帶等優點。

摩擦奈米發電機的概念早在 2012 年就提出了，它的原理是利用摩擦起電效應結合靜電感應以達到自發電的效果。摩擦起電效應是自然界常見的現象，像是雨拍打屋頂、風摩挲樹葉等，甚至人走路時，腳與地面的接觸也有摩擦。在我們身邊其實有諸多豐富的摩擦能源，若能把這些不起眼的摩擦能源收集起來，不就有足夠的電力可用了嗎？摩擦奈米發電機就是基於這個想法所啟發的。

根據摩擦序列表，不同的材料帶正電或負電的偏好各不相同。而摩擦奈米發電機產生電力的機制，就是利用兩種不同材料互相接觸，由於兩個接觸表面上會分別產生正負靜電荷，當這兩個表面分離時，接觸起電形成的正負電荷也會分離，進而產生感應電勢差。

這時若把兩個電極通過負載連接在一起，這個感應電勢差就會驅動電子通過外電路從一個電極流向另一個電極，形成一個反向的電勢差以平衡靜電場。而當兩材料再次接觸時，由於電勢差消失，電子會流回來，不斷重複這接觸與分開的過程，就可得到連續的交流電。

由於摩擦奈米發電機的原理很簡單，只要簡單地觸發幾下就會有電壓、電流信號產生，它的材料又具有普適性、應用層面廣，這一發明為自供電系統開啟了一盞明燈。科學家另外想到，也可以把發電機產生的電力用電容儲存起來，並藉由監測發電機輸出信號的微小變化，成為一種結構簡單又方便攜帶的自供電感測器，開發潛力可說是無可限量。

## 智慧衣物不平凡之處

奈米發電機結合智慧衣物可以有兩個應用，第一是感測人體的生理訊號，關鍵就藏在從衣物外觀看不出來的細節，即置入在服裝面料中的感測器。這是一種藉由偵測人體中特定生物分子的含量，並把生物訊號轉換成電訊號或光訊號輸出，經分析後再傳輸到後端平台，轉化為血壓、體溫等你我可理解的資訊的裝置。

生物感測器最大的特點就是具有專一性，能夠在複雜的樣本中只對特定的生物分子有辨識能力，例如接下來要提到的葡萄糖及乳酸感測器。它們不會受到葡萄糖或乳酸之外的物質所干擾，因此應用層面相當廣泛，從化學分析、健康照護到醫療診斷等領域都有它的蹤跡。

其中非侵入式的生物感測器在現代化醫療中，是一種高效率且越來越受重視的健康管理方式。它可以即時得到人體重要的數據，但不需經過抽血或植入到身體中等會讓人感到疼痛或不適感的偵測方式，因此相關產品在近年發展相當快速。





## 從汗液檢測乳酸和血糖

在這裡舉汗液中的葡萄糖跟乳酸為例作為人體健康的指標，可能有人想問它們對人體有什麼重要性嗎？其實葡萄糖與乳酸濃度在人體中有相當重要的生理意義。例如當身體中葡萄糖的濃度失調時，容易發生糖尿病，患者若再不做有效的控制，而讓血液中葡萄糖含量長期持續飆高，全身各器官會產生嚴重的傷害，導致各種併發症的發生。

先前另有研究提出乳酸的濃度變化與運動強度成指數相關，有氧運動能力較佳者，其乳酸堆積速度較慢；反之，運動能力較差者，乳酸堆積速度較快。這些乳酸如果不迅速讓它們通過肝臟和腎臟代謝掉，累積到一定濃度時，身體便會產生乳酸中毒，這也是乳酸濃度監控十分重要的原因。

說到血糖及乳酸檢測，腦中第一個念頭是否想到要不要抽血？或者要不要買一台居家血糖機？但你是否知道汗液也能用來測血糖和乳酸？由於市面上可見的血糖計需有電池供電，在外出時攜帶的確較為不便，而且現今乳酸檢測仍需採集血液樣本，不但麻煩且耗時也較長。那麼自供電感測器又是如何排除這些不便呢？

首先，利用摩擦奈米發電機把人體日常的機械能收集成電能，並儲存在電容內。接著把葡萄糖氧化酵素修飾在碳纖維導電電極上作為陽極，並以鉑為陰極。葡萄糖氧化酵素是一種有高度專一性的酵素，會和汗液中的葡萄糖作用產生氧化還原反應，透過反應後產生的物質濃度就可推算出汗液中的葡萄糖含量。同樣的道理，若在碳纖維電極上加入乳酸氧化酶，那是一種能使乳酸氧化的電化學活性物質，與葡萄糖感測器的原理雷同，再利用電容放電及氧化還原反應就可進行乳酸感測。



傳統刺指取血的血糖儀將進階為以汗水做偵測並可隨時監控血糖

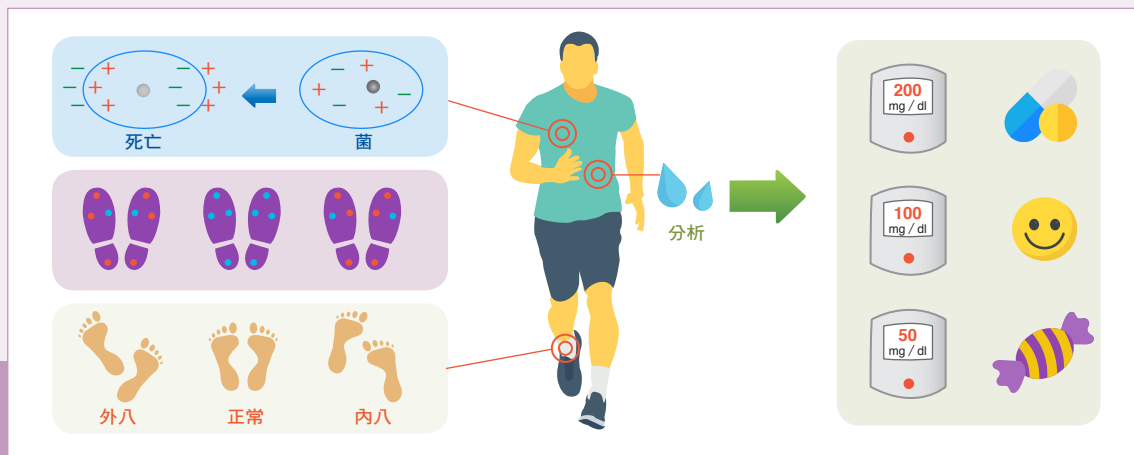
舉例來說，可以把發電機放置在鞋底，藉由跑步時所產生的機械能驅動，並產生偵測物質所需的氧化還原電位，藉此就可偵測跑步時產生汗液中的葡萄糖及乳酸濃度，形成一非侵入式自供電生物感測器。這個系統不但不需插電且攜帶方便，又能讓人們隨時了解自己的身體狀況，達到高效率的健康管理。

## 衣服也能殺菌嗎

智慧衣物的第二個應用是殺菌及抑菌。細菌是無所不在的，從水資源的汙染，到空氣中飄散的細菌，都可能是致病甚至致命的因素。例如金黃色葡萄球菌就是一種感染力很高，且常使人致病的病原菌。另一個聲名狼藉的大腸桿菌，則是寄生在人和動物腸道內，一旦離開腸道就會產生對人類致病的危險。

傳統殺菌的方式存在著腐蝕性、毒性、低生物相容性等副作用，而抗生素雖是最普遍的治療方式，但隨著濫用的結果，造成細菌對許多種抗生素都出現抗藥的能力，甚至出現了極度危險的超級細菌。奈米生物技術是一種整合了奈米科技、生物學、生物化學及醫學的新興領域，透過它可以獲得較低成本的殺菌方式。

把摩擦發電機與穿戴衣物結合，  
可以收集生活中的機械能並轉換為電能使用，  
也能利用智慧衣物感測器偵測乳酸或葡萄糖，還可以產生殺菌效果。



未來智慧衣物能進行各種身體狀態的感測以及抗菌的應用，例如即時血糖分析及步態感測。

其中金屬奈米粒子由於成本較低廉、穩定性高、治療效果持久，又有電穿孔效應可對細菌細胞壁及細胞膜產生損害，已經廣泛運用於病菌的抑制。

因此在自驅動抗菌系統的裝置上，可以選擇帶有抗菌效果的金屬奈米粒子為基底，把它合成在導電的碳纖維布上，作為摩擦奈米發電機的導電電極。如此一來不僅能透過奈米粒子進行初步抗菌，還可以結合摩擦奈米發電機提供所需的電力，產生對細菌細胞膜造成不可回復的電穿孔效應而殺死細菌。

若把抗菌電極製作成大面積的商品例如衣物，以及把摩擦奈米發電機置入鞋子內、手肘、膝蓋等位置相互結合，便可收集人體每日行動的機械能。再透過電容收集這些暫存的電能，選擇電力釋放的時候，就可達到抗菌效果。

## 自供電智慧衣物的未來

自供電智慧衣物就是把摩擦發電機與穿戴衣物結合，可以收集生活中的機械能並轉換為電能使用，也能利用智慧衣物感測器偵測乳酸

或葡萄糖，還可以產生殺菌效果。除了上述的功能外，智慧衣物還有更多的應用正等待相關技術的成熟，例如步態感測等，方便人們能夠即時偵測自己的身體狀況。

由於不需額外的電力輸入，解決了傳統檢測儀器衍生的電池環境汙染問題，而能達到永續發展的目標。另外，透過感測器的材料改良，更能使它隨著人體運動彎折以減少配戴上的限制。再者除具備不需供電就可工作的優點外，也可以大幅縮小尺寸，這一優點有高度的發展潛力，預期這裝置在不遠的將來能成為一種可促進健康的商品造福你我。

劉家甄、詹順雯、林宗宏  
清華大學生物醫學工程研究所