

納米 生物科技系列

科學家「駕駛」着微型的納米潛艇，深入人體，治療受損的器官組織，這科幻電影情節或許在不久將來成為現實。香港大學化學系助理教授唐晉堯的團隊，利用感光材料的光電化學特性，研發出全球首創、大小僅為頭髮直徑五十分之一的光控納米樹狀機械人，更成功對其實現極精準操控，「寫」出肉眼亦看不到的超小字體。有關研究突破過往納米機器主要以磁力操控的局限，為相關生物醫學應用帶來新方向，如將之注入人體，以光引導其移動，可望更有效去除癌細胞或輸送標靶藥。

■香港文匯報記者 高鈺

專門研究納米材料、納米引擎等的唐晉堯，其團隊以3年多時間研發了全球第一個以光能作為驅動力的納米機械人。

該機械人大小不足10微米（ μm ），只比頭髮直徑五十分之一略大，並以硅（Si）納米線作骨幹，二氧化鈦（ TiO_2 ）納米線作枝葉，形成納米樹狀結構，這兩種半導體材料理論上無害，成本便宜又感光，故可用光來控制機械人活動。

紫外光發電移動

科學家曾就能進入人體的微型或納米機械人技術進行研究，主要是透過注入磁性材料，用外部磁場控制納米機器運動，但卻難以做到多元及精準操控（見另稿）。

唐晉堯團隊則利用感光材料的光電化學反應（photoelectrochemical reactions），當納米機械人感測到紫外光後，就能透過化學反應產生電場及動力，令機械人活動。團隊並利用「化學修飾」作用，讓納米機械人能作趨光（phototropic）或避光（photophobic）移動，再配合電腦編程修訂其活動範圍及方向，成功作出精準操控，包括在肉眼難見的微米級尺度讓其迴旋「跳舞」、「寫」出單詞等。

唐晉堯解釋，相比其他納米機械人多為圓球或棒狀，其納米樹狀機械人擁有現時最複雜的3D異質結構，當中「掃把」般的納米線，每條納米線都是一個光感受器，可以作出反應產生動力。

他補充指，基本上有兩三條納米線就可驅動機械人，但最理想的是有上百個光感受器，以感測到不同方向的光線，增加準確性。

他並提到，團隊是受到自然界綠藻所啟

發，因綠藻可感受光線的射入方向和強度變化，朝着光源運動以便進行光合作用；透過上述的納米樹狀設計，其機械人就如有很多眼睛的昆蟲，可具備分辨光方向的功能。

體積接近紅血球

由於納米機械人與人體紅血球細胞大小相若，故適合於血液和淋巴液中遊走，具輸送標靶藥物等醫療應用潛力。

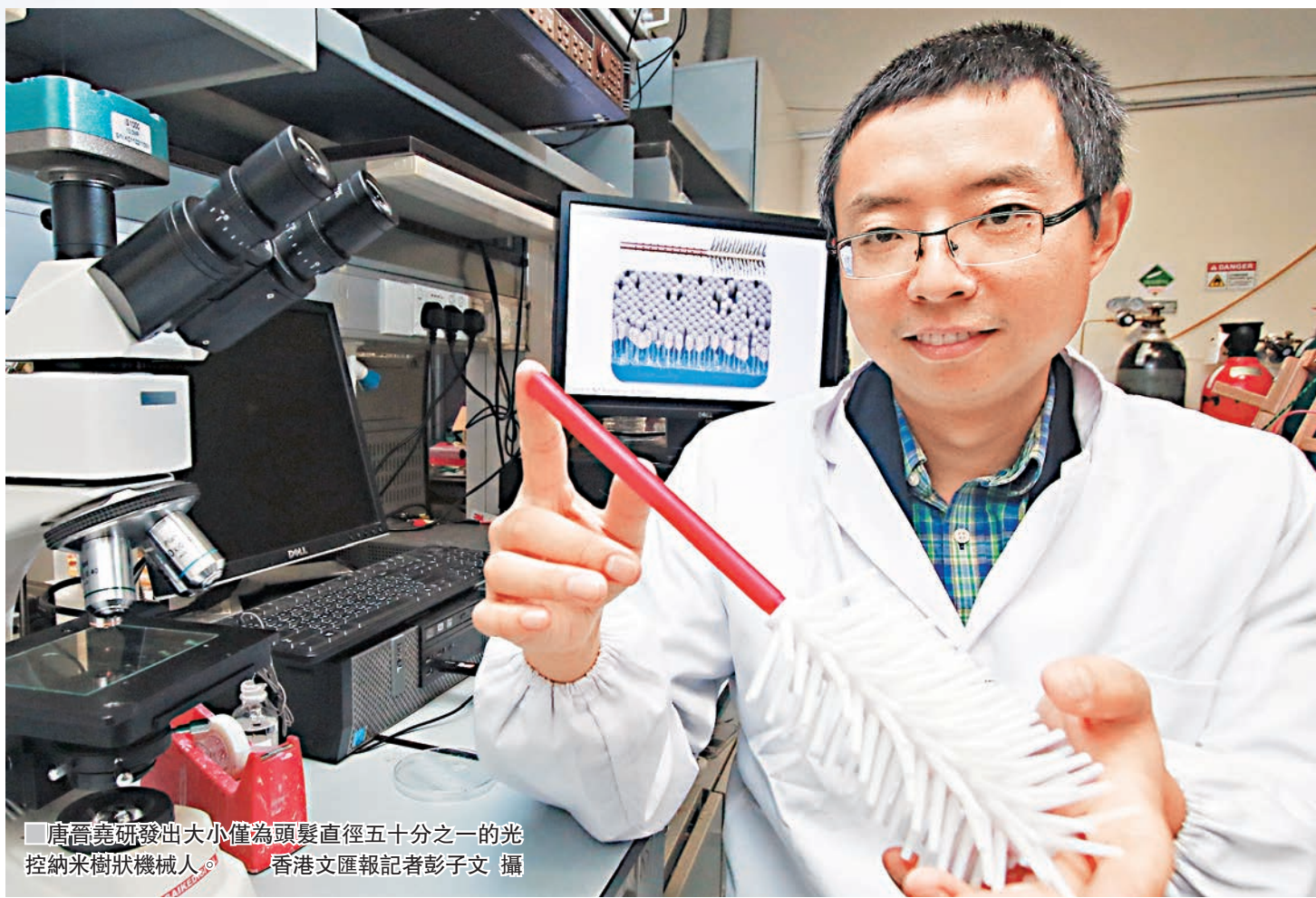
唐晉堯坦言，目前還未做到以單個機械人去除腫瘤細胞，但利用一群機械人卻有機會是有效方案，例如當識別出腫瘤細胞後，多個機械人可以包裹方式，斷絕腫瘤進一步吸收養分，或是以尖銳納米線破壞有害細胞；而最理想的是，納米機械人可成為納米醫生，自主識別癌細胞發出的特別訊號，及尋找已經擴散的癌細胞，以進行治療。

唐晉堯表示，上述方案暫時仍屬於理論層面，以現有實驗來說，與納米機械人配合的液體對人體有害，首先要解決生物及細胞兼容的問題，預計需時三四年，再下一步則仍要研發更高效的納米機械人系統，所以討論如何實際應用在醫療或其他用途上仍言之過早，預計最快在10年後才可落實。

他並提到，去年獲得諾貝爾化學獎的「分子機器設計和合成」研究，是只得分子尺度、比其納米機械人還小得多的人造機器，項目早在上世紀80年代開始，雖然為往後的相關技術奠基及帶來大突破，但其實現時仍未發展到實際應用層面，認為「科學研究是要慢慢、慢慢進行的」，毋須急於求成。

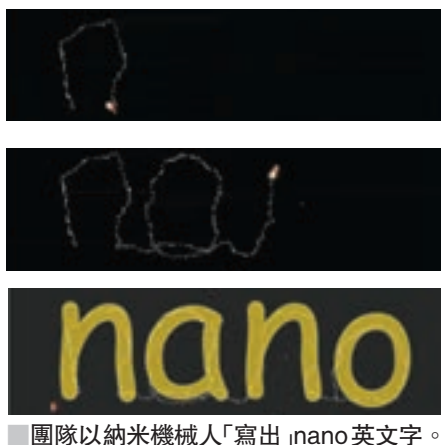
光控「森林」 「圍攻」腫瘤

唐晉堯研微型樹狀機械人 遊走血管送標靶藥



唐晉堯研發出大小僅為頭髮直徑五十分之一的
光控納米樹狀機械人。香港文匯報記者彭子文 攝

聯群結隊易控制 單個指令難聽話



團隊以納米機械人「寫出」nano英文字。

光控 當納米機械人要進入人體，如何有效控制是必要解決的難題。

唐晉堯指，現時納米機械人主要以磁性材料製成，利用外在磁場的調節來控制其移動，若只是要控制一個機械人的話，問題不大，但如要控制多個機械人或作為一個複雜的操控元件就不太適合，因難以將足夠的訊息傳給機械人，「要開的話所有部分都要開，要關就全部關，很難實現精準控制」。

而相比下光控納米機械人可以帶來一定的技術突破，他表示，現有光學技術發展

良好，讓光可以在不同方向聚焦，每點光並可以作單獨控制，容易操作光的分佈，攜帶訊息的方式及可能性遠比磁性機械人多，亦可控制光控納米機械人的前後左右移動，「甚至轉（動）一下亦沒有問題。」

不過，磁控與光控技術其實並不排斥，唐晉堯補充指，磁場具備方向和強度，可以提供基礎操控動力，未來亦可結合光學技術，發展出擁有兩者優勢的組合機械人，在不同部分使用不同功能，提升整體效率。

■香港文匯報記者 高鈺

化學信號作語言 首領帶隊發任務

群體 一個納米機械人的力量有限，但要控制一群納米機械人共同去除腫瘤細胞或輸送標靶藥，提升其治療效能，就涉及到群體操控（Swarm Control）技術。唐晉堯表示，從科學角度來說，群體操控代表着不同物體之間有聯繫（interaction），有訊息交流。科學家需要利用編程與化學方法，為納米機械人設計「溝通的語言」。

他坦言，最困難之處是要「準確」地讓納米機械人發放信號，令其他機械人收到

信號及有所回饋，涉及不少複雜的應用，需要持續研究。

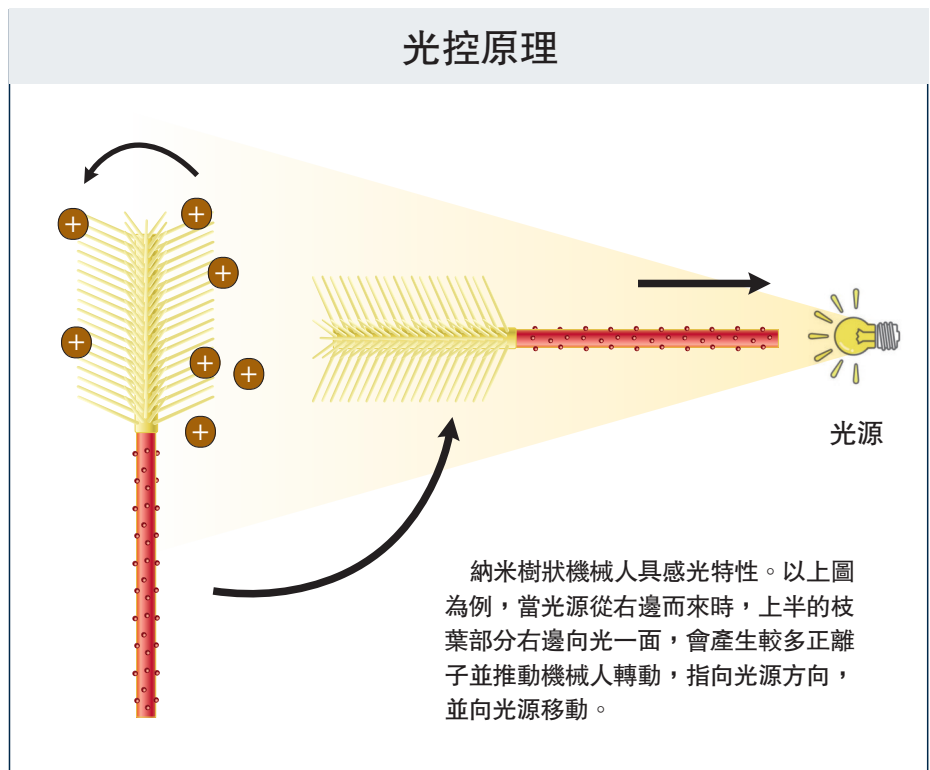
現時麻省理工學院（MIT）亦有相關群體操控的研究，主要研發讓微型機械人發出信號，告訴身邊的機械人移動的路徑，如向右或向左移動。

唐晉堯認為，類似的方法也可轉移到納米機械人，某程度上對團隊有所啟發，但MIT的微型機械人與其研發的納米機械人大小相差甚大，信號也較簡單，「我們要做的話，當中涉及的化學過程、如何用法

學物質來實行，都有一定的難度。」

他解釋，納米機械人本身就是一些化學物質，「試想像一下，你要讓一個chemical（化學物質）接收到另一個chemical的信息後，再作出回應，這是化學的問題，我們每天都在研究的」，涉及不少複雜的應用。而最困難的是要「準確」地讓機械人發放信號，令其他機械人收到信號後，共同去完成任務，仍然需要團隊努力不懈地研究。

■香港文匯報記者 高鈺



納米樹狀機械人組成的「森林」。

受訪者供圖

體積可大可小 首要安全無毒

有一大有一細 隨着科技進步，科學家已由研究「微米級」的機械人升級至更細的「納米級」機械人，能於人體內的血管、腸胃遊走，但是否愈細就愈好呢？唐晉堯認為，機械人並非愈細愈好，其大小應視乎其功用，例如若要修復DNA，就需要小至幾個到幾十個納米（nm）的納米機械人；若機械人要推動細胞的移動，便要與一般細胞大小相若。他強調，納米機械人要進入人體作大規模應用前，必須評估其安全性，確保這些細小的機械人對人體無毒無害。

唐晉堯表示，納米材料安全（Nano

Safety）備受學界關注，亦是一個重要的研究領域，「不少人關心機械人做得愈小，毒性會不會愈大，或者有一些特殊的毒性，所以大規模應用前一定要小心評估，經過反覆試驗及評估，確保這些細小的機械人對人體無毒無害。」

他強調，納米機械人的大小取決於其應用，應按需要設計合適的大小，如要進入胃或腸內，微型機械人便可發揮其作用；但當要進入血液循環系統、進入細胞內，便要是幾微米的十分之一；而將來如要能做到修復DNA，更需要小至幾個到幾十個納米的機械人。 ■香港文匯報記者 高鈺

「大科學」要跨學科 多領域專家聯手

合作研究 港大化學系助理教授唐晉堯的團隊，成功於光控納米機械人的化學材料特性作出突破，但他強調，單是化學專家並不足以完成研究，要讓納米機械人實際應用於醫學或其他領域，必需要通過跨學科合作平台，讓包括醫學、生物、工程等不同專業及技術的專家一同解決問題，那比起單純增加投放研究資金更為重要。

唐晉堯指，納米機械人研究涉及廣闊的尖端學科及技術範疇，屬於「Big Science（大科學）」研究：例如當中的機械人需要使用生物材料、半導體材料、金屬材料

等進行組裝，涉及工程學專業知識；而電腦科學專家則可研究如何利用軟件或編程以控制機械人；物理專家可跟進如何優化機械人結構；生物及醫療方面的團隊，則可研究機械人結構及傳送介質等對人體有何影響，機械人若運用在醫療方面又該如何運作等。

他提到，過往知名的「大科學」項目，包括二戰時的「曼哈頓計劃」及「人類基因組計劃」，都是透過不同國家及地區的合作，以不同專業團隊為一個總目標服務及研究，期望合力完成計劃，同時亦可有效利用資源及技術，加快計劃的進度。



唐晉堯認為跨學科合作平台比起單純增加投放研究資金更為重要。
香港文匯報記者彭子文 攝

他認為，未來納米機械人的研究關鍵，在於建成合作平台，讓不同領域專家一同解決當中的科學及技術問題，惟難以估計需要多少經費研究才能完成。

■香港文匯報記者 高鈺