

借助設備倚靠在床頭，癱瘓多年的張先生通過意念在腦海中寫字，一條條被腦機接口設備捕獲的腦電波在計算機屏幕上不斷跳動，最終幻化成一道道明確的指令，操控機械臂在旁邊的白板上寫下了「浙江大學腦機接口」八個字。望着白板上清晰的字跡，年逾70歲的張先生顯得有些激動，緊閉許久的雙唇向上彎起一道弧線，他笑了。

多年前因為一次車禍，張先生的頸椎脊髓受到嚴重損傷，造成高位截癱。腦子尚能思考，但四肢已無知覺，這對張先生而言無疑是一場災難。與浙江大學醫學院附屬第二醫院神經外科團隊交流後，張先生成為了侵入式腦機接口的臨床試驗者。「我不想把餘下的生命都浪費在床上，參與臨床研究，說不定可以為生活打開另一種可能性。」

●文/圖:香港文匯報記者

俞晝 杭州報道

在研究病房裏，張先生與團隊默契配合，逐步實現從操控機械臂揮手，到拿起杯子喝水、吃油條……五年來，張先生已經習慣了機械臂的存在，經過系統訓練，成功實現了用意念操控機械臂書寫漢字的突破。

近年來，伴隨着人工智能、神經生物學、傳感器等技術水平的不斷提升，「腦機接口」這項聽起來很科幻的技術，正逐步走進人們的生活。

「人的思維，包括動作的控制和對外界的識別，歸根到底都是由人腦中的神經細胞所發出的電信號所決定的。」朱君明是浙江大學醫學院附屬第二醫院神經外科副主任，也是中國最早從事侵入式腦機接口應用的研究者之一。早在2006年，他所屬的浙江大學研究團隊便進行了通過電極植入大鼠腦部的動物導航系統，讓大鼠按照指令走迷宮的實驗。

從動物到人類 破解技術難度

啖齒類動物試驗成功後，研究團隊很快又開啟了靈長類動物也就是在猴子身上的試驗。在接下來的很長一段時間裏，浙江大學用猴做試驗的腦部植入手術幾乎都是他來操作的，因此他也積累了更多的經驗。通過不斷調試，2012年，浙江大學團隊成功在猴子腦中植入微電極陣列，使牠能通過自身意念直接控制外部機械手臂完成勾、抓、捏、握等不同手勢。

從動物大腦，到人類大腦，這項技術到底難在哪？「人類的大腦皮層神經元共有六層，為了達到最佳效果，需要將4毫米×4毫米大小的微電極陣列不深不淺地『安放』在第四層與第五層之間——太淺達不到效果，太深則會損傷其他神經。」朱君明一邊用手比劃，一邊向香港文匯報記者解釋道，「最終我們利用步進為0.1毫米的手術機器人，成功將電極植入誤差控制在0.5毫米以內。」

從雜亂數據中 尋找穩定波形

意念寫字的原理，不難理解：在腦海中寫不同的字，腦電波各不相同，但是每個字對應的腦電波相對穩定，研究團隊要做的便是從無數雜亂無章的數據中尋找相對穩定的波形，再解碼成字操控機械臂書寫。據了解，此前已有國外研究團隊實現了英文字母的腦電波解碼，但是漢字與英文字母相比，難度要大得多。

「漢字的書寫在偏旁、部首、筆順等方面有很多講究，甚至筆畫長一些或短一些（長橫或短橫），就有可能完全是兩個字。」朱君明坦言，一開始，研究團隊嘗試借鑒國外已有的幾套線性算法，效果都不太好。「在張先生的配合下，我們花了近兩年的時間對他意念寫字時釋放的腦電波進行解碼，自主研發了一套解決方案。」

透過解碼模型 捕捉書寫軌跡

在這套方案中，研究團隊從解碼筆畫升級到了解碼偏旁部首。「我們發現張先生在『書寫』不同的偏旁部首時，他的神經元會產生不同的波動，這種波動的改變非常細微，但若通過不斷的測試，依然可以找到一定的規律。」朱君明進一步解釋道，用意念書寫每一個偏旁部首時，會有不同的神經元組合參與進來，進而產生不一樣的腦信號模式。

最終，研究團隊通過動態解碼模型，實時捕捉張先生的腦神經活動，解析他想像的書寫軌跡，成功實現了用意念操控機械臂書寫漢字的突破。「目前，該方案在離線狀態下100個常用漢字的分辨正確率達到91.3%，若有AI模型的輔助，正確率可提高至96.2%。」



●張建民教授（右）和朱君明教授（左）展示電極片安裝。

高位截癱者獲新生：參與臨床研究，為生活打開另一種可能性

解碼極細微腦電波 腦控機械臂寫漢字

●張建民教授（中）和朱君明教授（左）團隊順利完成我國首例閉環神經刺激器（Epilex™）植入手術。



「控腦」抑制異常腦電 神經調控治療腦部疾病

特稿 採訪當天，朱君明剛剛結束一台手術，午飯都來不及吃便匆匆趕來會議室，他早已習慣了在門診、手術、教學和科研的不同角色間來回切換。「最近我們在『控腦』的臨床應用上又有了新的突破。」一提起患者的進展，朱君明的神情明顯興奮了起來，「那是一位來自浙江台州的重度抑鬱症臨床試驗者，通過神經調控治療病情得到了有效的控制。」

「像張先生這樣通過意念操控機械臂的行為，我們稱之為『腦控』，也就是通過電極植入實現腦電波的解碼，進而操控例如鼠標、機械臂、發聲器等外部物體，進而切實改善包括聾啞、癱瘓、漸凍症病人等患者的生活。」在朱君明看來，伴隨着外骨骼、機械臂、發聲器等技術的進步聯合發展，通過腦電波解碼實現癱瘓者「走路」、聾啞人「發聲」都是可以預見的情形。

無需開顱可抑制癲癇

除了「腦控」，腦機接口的另一種臨床應用則是「控腦」——通過在大腦中植入的電極放電，抑制例如癲癇等腦部疾病。2021年3月，朱君明所在的團隊便順利完成了由浙江大學腦機接口臨床轉化研究團隊研發，具有中國自主知識產權的基於閉環腦機接口神經刺激器（下稱閉環神經刺激器）首例植入手術。

減輕患者經濟負擔

在張建民看來，隨着神經病學的發展，未來將進入「腦科學」時代。只有認識腦，才能做到治療、調控腦。腦機接口技術，就是探索大腦奧秘的重要工具。但腦機接口技術的進步，並不是單靠醫學探索，而是涉及醫學、材料、電子、集成電路等多個學科，需要跨學科合作和醫工深度融合，醫院將在其中發揮重要的橋樑作用。

「閉環神經刺激器猶如『反導系統』，它可以實時監測患者腦電活動情況，並自動識別癲癇等疾病的特徵性腦電，在疾病發作前或剛一發生即產生『報警』，同時自動激活脈衝發生器給予精準電刺激，從而對癲癇等疾病的異常腦電產生抑制效果。」朱君明說，整個預警、治療過程是由閉環神經刺激器一體化完成，實現了「腦-機-腦」的閉環式診治。

「癲癇是一個常見病、多見病。中國約有1,000萬癲癇病人，浙江省約有40萬患者，其中約30%的難治性癲癇患者通過藥物治療無效，需要通過手術或者神經調控方式進行治療。」與傳統癲癇灶切除手術相比，植入閉環神經刺激器具有無需開顱切除癲癇灶的優勢，且彌補了臨床遇到的諸如雙側海馬硬化等無法通過傳統手術切除病灶的治療空白。

據了解，閉環神經刺激器體積小、重量輕。患者將充電設備佩戴到手臂上，再戴上一頂配置藍牙設施的帽子，閉環神經刺激器就可以通過藍牙自動連接開始充電，每周只需充電1次，大幅度提高了產品的使用壽命，大約可使用10年時間。

在朱君明看來，伴隨着中國腦計劃的推進，人們對大腦疾病的病理機制將愈來愈深入了解，「與炫技相比，我們更想去做一些能切實改善患者生活的研究。」

醫保局為「腦機接口」價格立項 「綠色通道」縮短產品落地時間

「作為臨床醫生，我們希望能把腦機接口研究轉化到更多臨床實際應用中。」浙江大學腦醫學研究所所長、臨床腦機接口浙江省工程中心負責人張建民表示，眼下連接人腦與電腦的步伐正在加速，針對腦血管病、外傷、漸凍症、難治性癲癇，以及帕金森氏病、抑鬱症等多種病症，都有不同方向的腦機技術正在研發。

3月12日，國家醫保局發布《神經系統醫療服務價格項目立項指南》，該指南首次將腦機接口新技術單獨立項，設立了侵入式腦機接口植入費、取出費，非侵入式腦機接口適配費等價格項目。「相比國外，中國做腦機接口，在製造業基礎和研發成本上都有比較明顯的優勢。醫保立項後，會有越來越多的企業看到腦機接口的發展前景，在符合醫學倫理的前提下，通過產學研深度合作，加快推出一批自主研發、可用於臨床治療的腦機接口產品。」

此外，醫保政策對腦機接口的支持，不僅加速了技術的臨床應用，也減輕了患者的經濟負擔。張建民認為，醫保的介入相當於為腦機接口技術的臨床應用開出了一條「綠色通道」，大大縮短腦機接口產品落地的時間，有助於形成產研應用的良性循環，推動技術與產品的普及，給癱瘓、失語等患者帶來福音。

融、隨岩漿上湧的元素。月幔源區的極度虧損，或緣於大型撞擊事件的熔體抽取所致，揭示大型撞擊事件可能對月球深部圈層演化產生巨大影響。科研團隊認為，SPA盆地下方發現的這種「超虧損」月幔，為人們了解月球早期內部如何分層、冷卻和演化提供了獨一無二的信息，是揭開月球正背面巨大差異之謎的關鍵一步。

中國科學院院士、地質地球所研究員吳福元表示，南極—艾特肯盆地是月球三大構造單元之一，直徑約2,500千米，該撞擊坑形成的能量大約相當於原子彈爆炸的萬億倍，但這種大型撞擊到底對月球演化造成怎樣的影響，一直是未解之謎。「此次在《自然》雜誌發表的四篇文章，首次系統揭示了南極—艾特肯大型撞擊的效應，這是成果的核心亮點。」

嫦娥六月壤新成果 中國首揭月背演變史

香港文匯報訊（記者 劉凝哲 北京報道）中國科學院9日召開新聞發布會，介紹中國科學院地質與地球物理研究所（下稱：地質地球所）、中國科學院國家天文台（下稱：國家天文台）與南京大學等科研團隊，利用月背樣品取得的四項研究成果以封面文章形式發表於國際學術期刊《自然》雜誌。四項研究分別揭示了月背岩漿活動、月球古磁場、月幔含水量及地球化學特徵，首次為人類揭開了月球背面的演化歷史。

月球具有「二分性」，其正面和背面在形貌、成分、月殼厚度、岩漿活動等方面存在顯著差異，但月球「二分性」的形成機制仍然懸而未

決，是月球科學研究中亟待解決的關鍵問題。此前，科學界對於月球背面的認識主要基於遙感研究，嫦娥六號在人類歷史上首次攜帶1,935.3克月背背面樣品返回地球，這些樣品採集於月球上最大、最深且最古老的撞擊坑——南極—艾特肯盆地（SPA），為釐清月球正面和背面物質組成的差異、破解月球二分性之謎提供了難得的機遇。

此次，科學家們通過嫦娥六號樣品取得了多個「首創性」的關鍵進展：首次揭示月背在約42億年前和28億年前存在兩期不同的玄武質火山活動，表明月球背面可以維持持久的火山活力；首

次獲得月背古磁場信息，發現月球磁場強度可能在28億年前發生過反彈，指示月球發電機磁場並非單調衰減而是存在波動；首次獲得月球背面月幔的水含量，發現其顯著低於正面月幔，指示月球內部水分分布也存在二分性。

其中，最新發表的研究成果由國家天文台、聯合地質地球所、中國地質大學（北京）、北京高壓科學研究中心、東華理工大學等多家院校共同完成，詳細分析了月背SPA盆地玄武岩成因，發現形成這些玄武岩的「初始原料」——即月球的深部物質（稱為月幔源區），其狀態極其「貧瘠」，科學上稱為超虧損。這意味着它非常缺乏那些容易熔