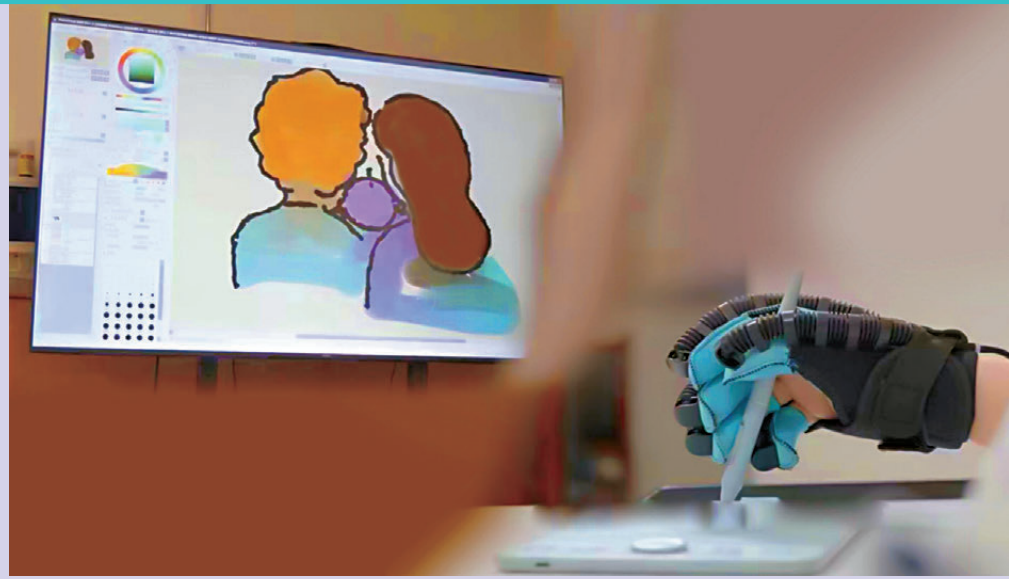


癱瘓患者重獲肢體操控能力，實現抬手、抓取等基礎動作；失語人群重新「發聲」，打破溝通壁壘；神經系統疾病患者依託腦機接口技術緩解病症困擾……腦機接口技術作為人機融合一項重要創新，目前已在醫療康復、民生輔助等領域綻放價值。

●香港文匯報記者 倪夢環 上海報道

癱瘓失語有得醫 腦機接口助患者重生



●腦虎科技第二例「三全」腦機接口患者腦控外骨輪握筆繪製全家福。受訪者供圖

●腦機接口已在康復領域應用，圖為上海一康醫院內景。香港文匯報記者倪夢環攝



腦機接口作為實現大腦與外部設備信息交互的交叉前沿技術，國家藥監局此前已批准博睿康醫療科技（上海）有限公司植入式腦機接口手部運動功能代償系統創新產品註冊申請，實現腦機接口醫療器械全球首發上市，標誌著國際首個侵入式腦機接口醫療器械進入臨床應用階段。公開資料顯示，中國腦機接口產業發展迅速，多家龍頭企業公布其侵入式腦機接口產品均已進入臨床試驗階段，一些非侵入式腦機接口開發企業也在探索消費級的應用場景。

年初完成灰度信息視覺重建首例

今年2月，明視腦機宣布實現全球首例基於腦機接口的灰度信息視覺重建。「我們的科研團隊已通過植入式電極對大腦視覺皮層進行精準電刺激，成功使受試者具備識別數字與簡單幾何圖形的能力。目前，公司已啟動針對全盲志願者的IIT臨床試驗籌備工作，目標是幫助因視神經受損而致盲的患者恢復輪廓感知、實現基本避障，並具備識別大字體及灰度層次的功能視覺。」明視腦機首席商務官陳文凱在接受採訪時表示。

陳文凱指出，當前中國腦機接口產業雖在多場景並行拓展，覆蓋運動功能康復、神經調控與語言康復等領域，但大多仍以單向輸出數據解碼為主。相比之下，「我們專注於植入式腦機接口視覺重建技術，其核心在於向大腦『寫入』編碼信息，而非單純讀取信號。」目前，公司自主研发的「1024通道大規模刺激植入式視覺重建系統」，通過將外接攝像頭採集的環境信息編碼為大腦可識別的時空電刺激信號，直接作用於視覺皮層，模擬自然視覺成像機制。該技術有望修復因視神經受損導致的、現有臨床手段難以治癒的視覺功能障礙，為失明人群重建「功能視覺」。

料2031年完成註冊開展臨床應用

據技術路線圖，陳文凱透露明視腦機將分階段推進產品定型與臨床驗證，於今年啟動全國乃至全球首例基於中低通道植入系統的全盲患者IIT試驗，並預計於2031年前完成臨床註冊並推向臨床應用。而待系統正式落地後，患者在經過康復訓練的基礎上，預計將能夠清晰辨識物體輪廓，滿足獨立行走、日常生活與基礎社交需求，真正實現社會融入。同時，依託大腦神經可塑性，結合「腦機雙學習」機制，長期來看或可實現個性化自適應優化，進一步提升視覺感知質量。「我們希望在植入式視覺重建這一細分賽道實現全球領跑，並推動前沿腦機技術從實驗室真正走向臨床普惠。」

與此同時，在運動與康復醫療方面，階梯醫療已完成多例侵入式腦機臨床驗證，成功幫助多位患者實現精準腦控操作，操控精準度與穩定性均達到臨床應用標準，為癱瘓、運動功能障礙人群帶來了全新的康復解決方案。在接受記者採訪時，階梯醫療相關負責人表示，團隊正在拓展腦機接口應用場景，「我們將加速推進帕金森、抑鬱症等神經類疾病的神經調控IIT臨床試驗，依託閉環刺激技術，實現對神經系統疾病的精準干預與治療，拓寬腦機技術的疾病適應邊界，同時也將在成熟的運動功能重建技術基礎上，逐步攻堅語言功能重建賽道，破解失語人群溝通難題，進一步填補國內腦機臨床應用空白。」

優先聚焦高位截癱及漸凍症等

該負責人表示，依託自主可控的核心技術，團隊已經實現單神經元級別的高信噪比採集精度，不僅能滿足高端醫療康復需求，未來更有望革新人機交互模式，打通腦機與人工智能的深度融合新場景。「我們將優先聚焦高位截癱、漸凍症等殘障患者群體，全力攻克真實、迫切的臨床痛點。這既是腦機技術落地的核心價值所在，也是產品合規審評、技術迭代驗證的關鍵路徑，能夠為後續拓展數字健康、民用交互等消費級場景積累充足的臨床數據與安全經驗。」

全植入全無線 患者行動更自由

記者近日從腦虎科技獲悉，繼2025年底完成首款自主研發全植入、全無線、全功能（「三全」）腦機接口臨床植入後，第二例臨床試驗取得關鍵性突破。通過50毫秒全鏈路超低延時與腦機接口驅動功能性電刺激技術（BCI-FES）的深度融合，幫助一名29歲高位截癱美術教師實現自主進食與繪畫創作。這標誌著該技術正式邁入臨床實用化與可複製推廣的新階段，為規模化應用奠定基礎。

延時低於50毫秒

據悉，作為內地首款、全球第二款內置電池的腦機接口系統，「三全」實現真正獨立蓄能運行，體積無線束縛，無線短時充電即可穩定支持日常使用。相較依賴外部供電、有線束縛、斷連即失效的傳統設備，「三全」腦機接口讓患者自由行動成為可能，更貼近真實生活場景。該系統全鏈路延時低於50毫秒，真正實現「意念即達」，即患者大腦產生握筆意圖的瞬間，手部便已同步啟動，該指標已達到國際植入式腦機接口延時控制的領先水平。

術後一個月實現自主活動

腦虎科技相關負責人介紹，此次臨床首次採用了腦機接口驅動的功能性電刺激技術（BCI-FES），將「三全」系統與功能性電刺激（FES）技術深度整合，構建了「意念—解碼—刺激—動作」的完整閉環：通過皮層電極精準採集並實時解析運動意圖，繞過受損脊髓，精準刺激外周肌肉，實現手指自然協調動作。臨床驗證顯示，患者術後1個月已通過意念控制實現患側手部精準主動抓握，可自主完成書寫、繪畫等高精度動作，真正將控制目標回歸患者自身肢體。

腦虎科技創始人兼首席科學家陶虎表示：「第一例臨床我們證明了能做，第二例臨床我們證明了好用且能推廣。從控制外部機械到驅動自身肢體，我們每一步迭代都緊扣臨床剛需。我們的目標不僅是讓患者動起來，更是要讓他們有質量、有尊嚴地回歸生活。」

聯動具身智能 康復訓練效果佳

隨著AI賦予機械人更強的理理解與預測能力，具身智能正加速從被動執行邁向主動協作，腦機接口與具身智能的聯動探索正不斷推進。「最新臨床共識表明，主動參與的人機協作訓練模式比被動機械性訓練的康復效果更好。我們早前已內部立項啟動了腦機接口結合外骨骼機械人的預研工作，並成功實現通過腦電信號驅動外骨骼行走，完成了早期概念驗證。」上海傅利業智能科技股份有限公司康復創新項目總監楊志豪說道。今年，傅利業更引入腦機接口技術，發布「腦機具身智能康復港」解決方案，構建起「意圖—執行—感知反饋」的閉環訓練機制，推動康復訓練從被動功能補償到主動意念驅動的躍遷。

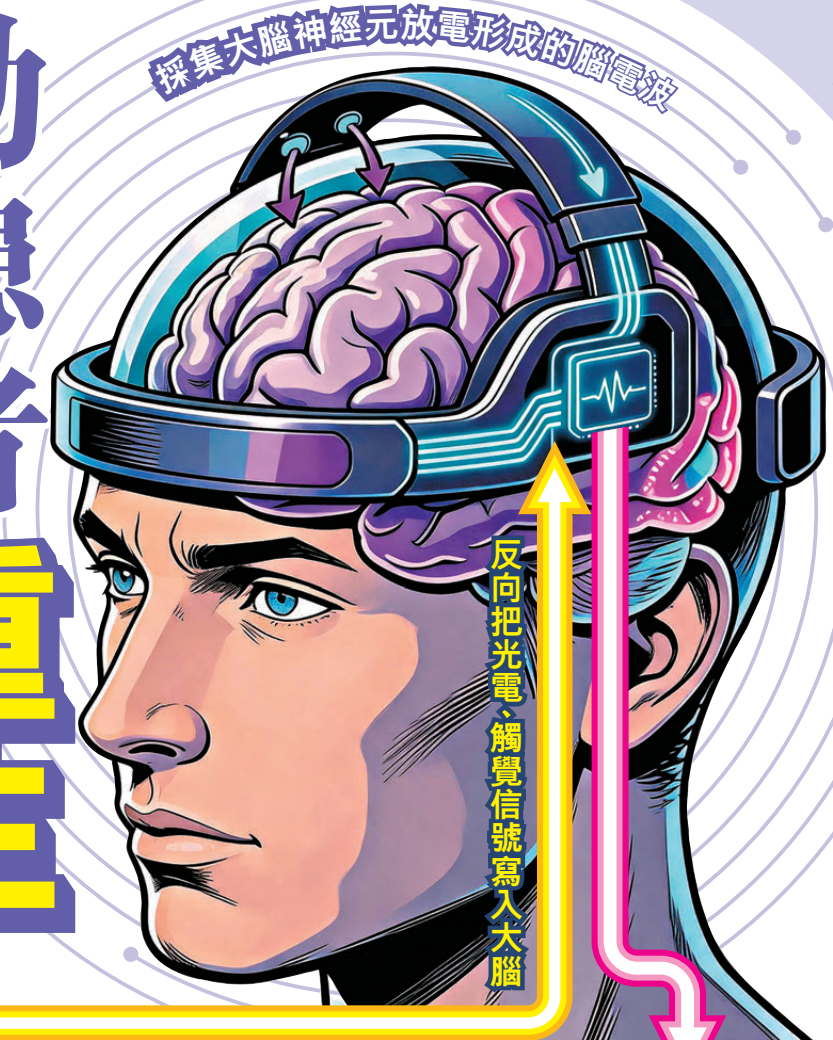
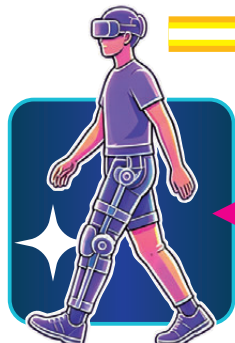
楊志豪介紹，在康復醫療領域，腦機接口技術可有效彌補傳統康復在早期介入、訓練有效性與評估精度方面的不足。一方面，適用於超早期康復訓練，在肢體無法自主運動時即可引入以意圖驅動的為核心的主動康復訓練，把握關鍵的功能重塑窗口。另一方面，通過同步監測運動皮層活動、腦電頻譜變化並結合力學數據，為訓練專注度和康復效果提供客觀、連續、可追蹤的量化依據，最大化提升訓練的有效密度。

搭建數據集 完善技術體系

談及腦機接口與具身智能的聯動，楊志豪解釋，二者本質上都是通過電信號實現控制，而二者聯動關鍵的是搭建專屬數據集。「目前，傅利業正聯合一些康復中心及相關合作單位，共同搭建基於具身智能的腦機接口數據集，核心目的是探索如何精準分析、解碼人類的運動意圖，並將其與機械人的數據採集、意圖識別相結合，打通二者聯動關鍵環節，這也是腦機接口與具身智能融合的核心突破口。」據悉，傅利業此前已開源相關機械人數據集，為技術研發提供了堅實基礎，此次搭建的腦機接口數據集，將進一步完善二者聯動的技術體系。

康復醫療由經驗邁向數據

據悉，傅利業已在全國建設300多家康復科，此次腦機接口與具身智能的聯動探索，將進一步拓展具身智能康復港的感知維度，推動康復醫療從經驗驅動的數據驅動，傅利業聯合多所科研院所與研究機構開辦了「腦機具身·數據引擎聯合創新計劃」。楊志豪說：「我們將聚焦具身智能本體硬件開發，承擔腦機與具身智能的接口適配，以及配套工具鏈等底層技術支持；與合作夥伴分工協作，嘗試探索腦機接口與具身智能體的深度融合，推動從意圖識別到具身執行的完整路徑。」



採集腦電波轉化為機器指令

話你知 腦機接口是大腦與外部設備直接雙向通信的前沿交叉技術，繞開手脚、聲帶等人體器官，採集大腦神經元放電形成的腦電波，經放大、濾波、AI解碼轉化為機器指令；也可反向把光電、觸覺信號寫入大腦，實現意念控物、神經修復，幫助功能障礙患者重建對外交流與肢體控制能力。

根據信號採集方式的不同，腦機接口主要分為三大類：

1. 非侵入式腦機接口無需開顱或侵入腦組織，僅將傳感器置於頭皮外部，這種方式安全無創、成本較低，廣泛應用於科研和輔助控制領域；
2. 半侵入式腦機接口將電極植入顱骨與大腦皮層之間，不直接接觸腦組織。這種方案在信號質量和安全性之間取得了平衡；
3. 侵入式腦機接口通過神經外科手術將電極直接植入大腦皮層內部。這種方式能夠獲取高質量的神經信號，實現更精細的控制，但存在手術風險和長期生物相容性挑戰。

商業化需政府醫院資本和企業共同推動

動脈智庫高級研究員李成平近日接受香港文匯報訪問時表示，中國的腦機接口產業在企業數量、專利布局、產業環境、資本環境均處於第一梯隊，「這些要素協同努力共同推動了腦機接口加速從實驗室走向產業化。」

滲透。腦機接口是交叉融合技術，它的商業化單點突破無法實現，需要產業合力，比如政府、醫院、資本、企業共同發力，建立一個以價值創造為核心的產業協同機制，才能共同推動腦機接口的加速商業化。」

已形成初步產業集聚效應

李成平表示，目前內地已經形成了從頂層設計到直接落地的產業政策支撐體系，截至2025年年底，內地已經公布25項腦機接口的相關標準，已經構建起了一個關於腦機接口產品全生命周期的標準體系。「在政策端，我們觀察到腦機接口企業主要是在信號採集、AI解碼算法、專用芯片和閉環調控這些核心方向實現關鍵突破。」他並指出，當前長三角、京津冀和粵港澳大灣區已經形成了初步的產業集聚效應，山東、湖北、武漢、川渝地區也有代表性的腦機接口企業出現，「侵入式腦機接口相對處於較為早期階段，非侵入式腦機接口在消費醫療領域的B端定製表現較好，正通過消費級產品創新與生態構建加速市場

競賽關鍵看臨床價值

陳文凱則直言，當前內地腦機接口產業雖熱度高漲、成果頻出，但整體仍處於產業導入早期與規模化爆發的前夜，並未成熟。「目前行業仍存在『重概念、輕落地』的現象，大量技術僅停留在淺層功能展示，尚未觸及臨床剛需痛點。」陳文凱認為，未來產業競爭的關鍵，必將回歸技術本質與臨床價值，「只有聚焦真實醫療需求、攻克底層核心技术、積累長期臨床數據，才能推動腦機接口從單點突破邁向規模化普惠落地。」

據中國信息通信研究院預測，去年中國腦機接口市場規模約為30億元（人民幣，下同），到2030年預計相關市場將達到120億元。