持續蛻變的智慧醫療：醫學與光子學在物理AI時代的交會

文 / 王堂權

新竹縣諦聽智慧診所

前言：從生成式AI邁向物理AI的臨床轉型

NVIDIA執行長黃仁勳(Jensen Huang)在近日演講中明確指出，AI的下一個浪潮是「物理AI(physical AI)」—即AI不僅存在於雲端，更能理解空間關係及具備現實3D世界物理行為的能力。先前筆者擔任大學教師，後借調到美國矽谷產業擔任首席醫療長，對於Jensen的論點確實深有同感。在新一代的智慧醫療裡，不是藥水味，而是滿滿的感測器與光電模組：未來的醫療，其實就是一場大規模的「設備微型化」與「數據優化」。在尖端手術領域，這意謂著手術機器人必須具備如人類醫師般的直覺、觸覺與空間感知。然而，現有的通訊傳輸架構在處理8K即時影像或是數以萬億計參數的AI模型時，常因延遲與功耗問題，限制了手術過程中即時決策的精準度。筆者依據過去的醫學工程知識與臨床經驗，相信「光電整合」技術，透過光子傳輸取代傳統電子訊號，能有效突破資料傳輸的延遲瓶頸，正是解決此困境的關鍵路徑。

共同封裝光學技術：打破數據優化的高牆，賦予手術室高效算力

共同封裝光學技術(co-packaged optics, CPO)透過將矽光子引擎與運算晶片整合於單一封裝中，突破了傳統I/O的頻寬限制。在臨床手術中，得以發揮無與倫比的價值，由於CPO能夠大幅地減少傳輸的延遲，在遠距手術、機器人手術或複雜的側顱底手術中，手術醫師能獲得近乎零時差的高解析影像反饋。此外，這樣的高頻寬數據流，有機會打破過去數據優化的高牆，憑藉著不斷提升的高效運算能力，讓「數位分身(digital twin)」成為可能，系統能即時同步手術室內的物理參數及生理數據，於虛擬空間內可以模擬手術器械與重要血管與神經(如面神經)的相對位置，實現預測性導航。

光纖感測技術：設備微型化，打造微創手術的「數位神經系統」

在耳鼻喉科的狹窄手術視野中，傳統感測器因體積過大且易受電磁干擾(electromagnetic interference)，難以提供精確回饋。相較之下，光纖光柵(optical fiber Bragg grating, FBG)技術則展現了極致的優勢：首先是觸覺回饋(haptic feedback)，在進行鐙骨手術或剝離膽脂瘤時，能感測極細微的組織張力變化，避免醫源性損傷。此外，還可以進行3D形狀感測，利用多核心光纖(multi-core fiber)結合光纖光柵，可在無需放射線暴露的情況下，即時重建內視鏡在耳咽管(eustachian tube)內的3D路徑。

台灣半導體供應鏈的地位與策略

台灣在全球矽光子產業鏈中佔據樞紐地位。從台積電(TSMC)的緊湊型通用光子引擎(compact universal photonic engine)到日月光(ASE)的CPO封裝技術，皆為醫療級的生醫設計與創新(biodesign)提供了堅實基礎。依據過去國際產官學研合作的經驗，筆者認為，醫療人員應該要自我精進，從單純的「使用者」轉向「定義者」，與工程界深度對接，開發專門針對醫療需求與臨

床流程的業界標準。

結 語

「物理AI」的實現，對比我們人體精密的器官與系統來說，靠的是循環系統中的高速動脈(如：共同封裝光學技術)，以及神經系統中精準的神經末梢(如：光纖光柵)。台灣不僅擁有領先全球的半導體實力，更具備深厚的臨床數據底蘊。身為醫師，我們應積極參與這個智慧醫療的進行式，將臨床經驗轉化為演算法參數。透過鏈結矽谷的創新動能與台灣的製造實力，我們不僅能提升手術的安全性與成功率，在全球智慧醫療的藍圖中，我們正定義著智慧醫療的下一個十年。