



星球永續健康線上直播

AI 藥物研發產業 (2)

人工智慧加速新藥精準研發

2026 年 2 月 4 日

人工智慧(AI)已對全球產業、科學研究與醫療科技領域產生影響，對藥物研發產業，尤其在蛋白質與小分子藥物的開發上，AI 所展現的潛力可望提高研發效率與創新突破。本週我們將聚焦於 AI 如何加速創新藥物研發，以及可解釋人工智慧（XAI）在免疫抗癌精準藥物研發中的應用。

星球健康新知

俄國-烏克蘭持續進行和平磋商：「各說各話」

2026 年初，俄羅斯、烏克蘭與美國代表於阿布達比展開新一輪和平磋商，三方均表示願意持續對話。俄羅斯會後重申，烏克蘭全面停火是和平協議的必要前提，並強調領土議題仍是談判核心。烏克蘭則表示，與美國相關的安全保障協議文件已完成，正等待正式簽署，以強化未來防衛承諾。然而，在外交接觸持續的同時，烏克蘭仍遭飛彈與無人機攻擊，戰事未見明顯降溫。國際分析指出各方對和平的理解存在落差，俄方聚焦停火與領土安排，烏方堅持主權與安全保障，美國則嘗試在雙方立場間推動折衷方案。整體而言，俄烏談判進入「持續對話、各說各話」階段，雖持續維持對話但短期內仍難以出現突破。

美軍波灣集結 伊朗強勢回應：「進退維谷」

2026 年 1 月下旬美伊關係在核議題、伊朗群眾抗議事件動盪與區域安全威脅交織下迅速升溫。美國總統川普要求伊朗就核計畫重返談判，另一方面則透過亞伯拉罕·林肯號航空母艦戰鬥群等高強度軍事部署強化威嚇。伊朗方面由不同政治層級同步回應，行政部門強調已為任何戰爭情境做好準備，但仍以對話作為優先選項，總統佩澤希基安則試圖與民眾溝通穩定國內局勢，國會議長卡利巴夫則警告，美國或許能發動戰爭，卻無法掌控其最終走向，並質疑在軍事壓力下進行談判的真實性。情勢的關鍵轉折在於區



域盟友態度出現明顯變化，沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國、卡達與科威特相繼拒絕提供領空或基地，並由沙國王儲穆罕默德·賓·薩勒曼親自向伊朗表達支持對話的立場，使美國可行的軍事選項大幅收斂，僅剩約旦與印度洋遠端基地等有限節點可供運用。在此架構下，美伊對峙進入高張力但行動空間受限的狀態，軍事威嚇、外交斡旋與內政壓力彼此牽動，核談判與區域安全前景持續充滿不確定性。

關稅壓力牽動全球經貿聯盟布局：「殊途同歸」

印度與歐盟在歷經近二十年斷續談判後，正式宣布達成一項具指標性的自由貿易協議。該協議將在印度與由二十七個成員國組成的歐盟之間建立大規模自由貿易區，涵蓋人口約二十億人，經濟規模約占全球國內生產毛額的四分之一。歐盟執委會主席 馮德萊恩 與印度總理 莫迪 於新德里共同對外宣布協議達成，歐洲理事會主席 安東尼奧·柯斯塔 亦出席相關雙邊峰會。馮德萊恩在新德里舉行的媒體簡報會上表示，歐盟與印度已完成她所稱的「所有協議之母」，並強調這是一項具歷史意義的成果。莫迪則形容該協議為印度歷來規模最大的自由貿易協定，指出此舉將有助於擴大印度農業、小型企業、製造業與服務業進入歐洲市場的機會，同時促進創新合作。歐盟與印度將大幅調降或取消多項貨品與服務關稅。歐盟方面表示，將分階段取消或調降對印度出口的化學品、機械、電機設備，以及飛機與太空相關產品的關稅。汽車關稅方面，現行最高達 110% 的稅率，將在配額制度下逐步調降至 10%，年配額為 25 萬輛，規模明顯高於印度先前提供英國的配額水準。印度亦同意調降歐盟酒類與農產品的進口關稅，包括葡萄酒、啤酒與橄欖油。歐盟指出，該協議將有助於促進雙向投資、改善市場准入，並深化供應鏈整合。印度政府則表示，幾乎所有出口至歐盟的印度產品都將獲得優惠性准入，紡織品、皮革製品、水產品、手工藝品、寶石與珠寶等勞力密集型產業，預期可受惠於關稅調降或取消。同時，印度也說明已審慎保留部分敏感產業，包括乳製品、穀物、家禽、黃豆粕，以及部分蔬果品項，以在擴大出口與維持國內政策優先順序之間取得平衡。茶葉、咖啡、香料與加工食品等商品，則可望因協議而提升出口條件。此一協議達成的時點，正值印度與歐盟同時承受來自美國的經濟與地緣政治壓力。印度近年面臨美國對其出口



商品加徵高關稅的情況，而歐盟亦曾因地緣政治爭議，與美國在貿易與戰略議題上出現摩擦。馮德萊恩指出，這項協議展現兩大經濟體選擇以合作回應全球挑戰，並傳達支持貿易協定、反對單邊關稅措施的政治訊號。柯斯塔亦表示，該協議向國際社會釋放明確訊息，即印度與歐盟更重視貿易合作而非關稅對抗。

專家指出，該協議有助於支撐印度受美國關稅衝擊較大的產業，例如蝦類養殖、紡織品、寶石與珠寶。不過，也有分析認為，印度製造業在環境規範與碳相關標準方面，仍需加強因應歐盟嚴格的制度要求。目前歐盟已是印度最大的貨品貿易夥伴，雙邊貨品貿易額於 2024 至 2025 年間達到 1,360 億美元，十年間幾乎倍增。印度與歐盟的自由貿易談判最早於 2007 年啟動，2013 年一度停滯，並於 2022 年正式重啟。歐盟外交官指出，美國前總統 川普 推動的高關稅政策，成為促使協議在最後階段加速完成的重要外在因素。近年來，印度亦密集完成多項貿易協定，包括與英國、阿曼、紐西蘭的協議，以及與瑞士、挪威、冰島與列支敦士登組成的歐洲自由貿易協會之協定；並已於 2022 年與澳洲完成貿易協議。

在印度與歐盟宣布完成大規模自由貿易協議、選擇以制度化合作深化經貿關係的同時，美國則持續以關稅作為主要談判工具，對其盟友施加即時且具壓力的政策訊號。此一差異，在美國與南韓近期的貿易互動中表現得尤為明顯。美國總統川普日前宣布，將對南韓出口至美國的商品關稅由原先的 15% 調升至 25%。川普指出，此一決定係因南韓國會尚未批准雙方於去年 7 月達成的貿易協議，認為首爾方面未能依協議進度行事；他並表示，美方已迅速履行自身承諾，但南韓的立法程序進展緩慢。在關稅威脅提出後，南韓執政的共同民主黨隨即表態，將於 2 月底前完成與美韓貿易協議相關的特別法案立法程序。該法案主要目的，在於建立由國家主導的投資管理機構，以負責南韓承諾對美國投資 3,500 億美元的整體規劃與執行，其中部分資金將投入造船等關鍵產業。南韓總統府表示，已召開跨部會會議評估川普宣布調升關稅後的可能因應作為，並重申將履行與美方既有的關稅與投資協議。南韓政府同時指出，目前尚未收到美方正式書面通知或說明，但將持續與華府保持溝通，以釐清相關立場。



美國近期亦多次以關稅作為對外政策工具，對加拿大、歐洲國家及其他貿易夥伴提出高額關稅威脅，即使部分措施隨後調整，仍對盟友關係與市場信心造成影響。相較之下，印度與歐盟選擇透過長期談判完成自由貿易協議，並同步推進安全與制度性合作，被視為另一種回應全球貿易不確定性的路徑。南韓在美國關稅壓力下加速立法與投資承諾的過程，也突顯當前國際經貿環境中，不同經濟體在合作與施壓之間所面臨的結構性差異。

英國芬蘭相繼訪中布局亞洲經貿：「權衡取捨」

近期歐洲在對中政策上呈現出兼顧經貿合作與國家安全的審慎取向，英國與芬蘭相繼展開高層訪中行程，顯示歐洲部分國家正以更務實、分議題的方式調整對中政策。英國方面，施凱爾訪中期間宣布英國公民可赴中短期免簽、威士忌進口稅率下調，並啟動服務貿易合作的可行性研究，同時由英國藥廠阿斯特捷利康宣布在中國的大規模投資計畫。這些措施被定位為循序推進的經貿安排，意在改善企業營運條件，但英國國內仍圍繞國安與對中立場存在高度政治爭論，顯示其對中政策同時承受外交現實與內部壓力。芬蘭則將重點放在能源轉型與技術合作。歐波訪中期間，芬中簽署新的能源合作備忘錄，聚焦清潔能源、智慧能源系統與能源創新，並結合示範計畫與企業交流，為芬蘭能源技術進入中國市場提供制度支撐。習近平亦公開表態歡迎芬蘭企業在中國市場發展，凸顯雙方以產業與氣候政策作為合作主軸的低政治敏感度路線。英國與芬蘭雖採取不同切入點，但皆展現出避免全面對抗、改以分議題深化合作的共同方向。此一發展反映歐洲國家在多極化國際環境下，嘗試在安全顧慮與經濟、產業利益之間，建立更具彈性的對中互動模式。

格陵蘭局部海平面變化：「一地兩天」

過往多將海平面變化視為長時間尺度下的緩慢過程，近年極地研究則顯示，冰體快速融化所引發的地貌負載變化，可能在數十年間加速相對海平面的變動。在此背景下，本世紀全球平均海平面勢必持續上升，但其變化幅度與方向將呈現顯著的空間差異。在冰川快速退縮的地區，原本承受巨大重量的地殼隨著冰量減輕而產生回彈，使得即使全



球平均海平面上升，當地相對海平面仍可能出現下降。最新研究指出，此現象在格陵蘭尤為明顯。格陵蘭冰蓋融化約占目前全球海平面上升量的五分之一，而相關研究顯示，其部分沿岸地區的地殼回彈幅度高於先前預期，推估至 2100 年，相對海平面可能下降約 1 至接近 4 公尺，且以西部與南部地區最為顯著，該區同時為格陵蘭的經濟與文化核心。研究指出，海平面下降將直接影響港口通航條件，甚至可能迫使地方重新規劃港口設施。此一現象主要源於格陵蘭冰蓋龐大的質量，其面積約為德州的三倍，部分厚度超過 3 公里，長期將下方地殼壓低；隨著冰蓋融化，地殼回彈使相對海平面降低。此外，冰蓋對周邊海水具有重力吸引作用，當冰量減少，該吸引力隨之減弱，海水重新分布並向外移動，進一步強化當地海平面下降的趨勢。傳統觀點認為，僅有地殼能在數十年間對負載變化作出反應，而地函因黏滯性高，其調整需歷經數千年。GPS 觀測顯示格陵蘭基岩上升速度明顯快於既有假設，顯示地函流動在數十年間即開始顯著回應。當研究模型納入此一加速的地函流動後，推估格陵蘭周邊海平面下降幅度將比傳統模型高出約 25% 至 65%。此結果亦與地質證據相互呼應，例如約 14 至 19 世紀的小冰期期間，冰川體積與海平面曾出現快速變動，可能與維京人離開格陵蘭的歷史背景相關。上述發現有助於深化對格陵蘭未來地貌與海平面變化的理解，並可作為解讀其他地區古地質紀錄的重要參考。在實務層面，地殼回彈將導致港灣與航道基岩抬升，增加航行風險，潮間帶的貝類、海藻與甲殼類生態系亦可能因水位下降而暴露於空氣中。未來影響程度仍高度取決於溫室氣體排放情境；若排放持續增加，靠近快速退縮冰川的海域至 2100 年可能出現接近 3.8 公尺的相對海平面下降，若升溫控制在約 2°C，下降幅度則可限制在約 0.5 公尺。現階段格陵蘭部分海岸仍呈現海平面上升，但隨著冰量持續流失，趨勢預期將逐步轉變，且在部分地區已可直接觀察到海岸線延伸的現象，顯示當地已需面對調整生活型態與基礎設施的現實課題。

AI 代理考驗民主韌性：「防微杜漸」

代理型人工智慧與大型語言模型的結合，使資訊操弄進入以「惡意 AI 群體」為核心的新階段。此類群體由多個可自主協調的 AI 代理組成，能長期維持身分、即時適應



人類與平台回饋，並以極低成本滲透社群、製造看似自然的共識。作者認為，在既有高度碎裂且信任下滑的民主資訊環境中，AI 群體可能透過合成共識、分眾敘事、長期資料污染與協調式騷擾，削弱集體判斷的獨立性、侵蝕公共論辯基礎，進而對民主制度造成系統性風險。面對此一威脅，文章主張治理重點應放在提升平台與社會的韌性，而非全面撤離數位空間，包括即時偵測協調行為、強化來源正當性、調整市場誘因，以及建立跨國的研究與監測機制；透過提高操弄成本與可被揭露性，民主社會仍有機會在維持創新與言論空間的前提下，回應 AI 賦能資訊戰帶來的挑戰。

AI 科學應用雙面效應：「得失相權」

ChatGPT 等人工智慧工具迅速擴散至商業與學術場域，一種廣泛流傳的說法逐漸成形，也就是人工智慧本身未必會取代研究人員，但善用人工智慧的研究者，可能在競爭中取得顯著優勢。近期發表於《Nature》的研究即顯示，這種差距已經實際出現，並且正在形塑學術界中的「贏家」與「落後者」。該研究被描述為目前規模最大的相關分析之一。研究結果顯示，無論是早期機器學習方法，或近年大型語言模型，只要研究者在工作中採用人工智慧工具，其發表論文數量、被引用次數，以及晉升至學術領導角色的速度，皆明顯高於未使用人工智慧的同儕。換言之，人工智慧的導入，對個別研究者的學術產出與職涯發展具有顯著正向關聯。這些個人層面的好處，可能伴隨整體科學發展的代價。研究指出，人工智慧驅動的研究更容易集中於既有且高度擁擠的研究議題，導致科學探索的主題範圍縮減。此外，這類研究也使得學術文獻之間的連結程度下降，越來越少研究真正回應、延伸或整合彼此的成果。耶魯大學人類學家 Lisa Messeri 認為相關結果足以敲響警鐘。她指出，當一項工具對個人有利，卻可能傷害科學本身時，學界有必要嚴肅反思人工智慧應被如何使用，以及其制度性後果。

研究團隊蒐集了 1980 年至 2025 年間，橫跨生物、醫學、化學、物理、材料科學與地質學等領域，超過 4,100 萬篇論文。研究者同樣運用人工智慧模型，訓練系統掃描論文標題與摘要，篩選出可能使用人工智慧工具的研究，結果顯示自 1980 年代至今，使用人工智慧的論文，其每年平均被引用次數幾乎為未使用者的兩倍。採用人工智慧的



研究者，其論文發表量約為其他研究者的三倍，被引用次數則接近五倍。對於初階研究人員而言，使用人工智慧亦與較低的學術流失率，以及較高的成為成熟研究領導者的機率相關。進一步檢視人工智慧研究所涵蓋的主題分布時，發現其探索範圍比傳統研究少了約 4.6%。這種集中現象可能來自回饋循環：熱門研究問題往往伴隨龐大資料集，使人工智慧工具特別適用，而透過人工智慧取得的進展，又進一步吸引更多研究者投入相同議題。研究共同作者、芝加哥大學計算社會科學家 James Evans 形容，研究者在此過程中如同「群居動物」，傾向追逐相同方向。此種集中化也反映在文獻引用網絡中。理想狀態下，新知識通常建立於密集交錯的引用關係之上，但人工智慧驅動的論文，其後續研究互動程度降低約 22%，更多研究圍繞少數「明星論文」運作。清華大學共同作者徐鳳麗以 AlphaFold 為例指出，當研究注意力被這類指標性成果吸引時，研究者往往只思考如何在既有成果上競逐，卻忽略尚未被探索的研究領域，導致整體科學版圖的多樣性減損。

科技發展世代創新方向：「三線並進」

未來十年科技創新將呈現「三線並進」趨勢，涵蓋 AI 氣候科學、次世代核能與量子算力。人工智慧在氣象與氣候科學領域的整合，促使預報型態轉移。新一代 AI 模型跳脫傳統數值天氣預報對複雜流體力學方程式與高效能運算的依賴，透過深度學習技術直接處理氣象站與衛星觀測之海量原始數據。此種數據驅動的方法不僅能精確預測颶風路徑與強度等極端天氣事件，更將運算資源需求降至桌上型電腦即可負荷的程度。在氣候研究層面，AI 模型已具備整合大氣、海洋及極地資訊的能力，可進行跨越數百年甚至千年的氣候尺度模擬。這種技術普及化使得過去侷限於國家級超級電腦中心的模擬工作，轉化為一般研究人員皆可操作的分析工具，對於理解長期氣候變遷機制具有重要意義。能源領域正經歷以核能為核心的技術變革，以支持 AI 發展與資料中心快速成長的電力需求，同時達成低碳轉型的目標。小型模組化反應爐（SMR）憑藉較低的初始投資成本、較短的建置工期及具備高度彈性的輸出功率，成為多國能源計畫的優先選項。除傳統核裂變技術的精進外，熔鹽反應爐等新型系統的研發重點在於提升燃料利用率並最



小化核廢棄物風險。此外，核融合技術在能量增益與電漿穩定控制方面取得突破性成就。雖然商轉尚需時日，但其作為安全、充足且潔淨能源的終極潛力，已促使政府與私人資本投入大量資源，推動受控核融合由理論驗證邁入工程實踐階段。量子運算在硬體架構與運算穩定性上展現出實質進展，有效縮減了理論與應用間的鴻溝。近年研究重點在於克服量子退相干問題，透過材料科學與製程技術的優化，將量子位元穩定時間提升至毫秒等級。量子錯誤校正技術的成功導入，使得具備容錯能力的邏輯量子位元成為可能，這代表實際可用的量子處理器規模能精簡至數萬位元的可行範疇。在硬體架構方面，超導路徑與中性原子架構並行發展，後者因具備更佳的可擴展性，已展示出容納數千量子位元且能穩定運行的系統。隨著硬體基礎逐步完備，科學界的焦點正轉向設計具備運算意義的量子電路，旨在探索量子演算法在解決複雜科學與工程難題上的實際應用價值。

消費電子產業智慧轉型：「捨本逐末」

消費電子產業正面臨 AI 浪潮帶來的結構性衝擊。人工智慧始終端裝置型態與關鍵硬體供應兩個面向重塑消費性電子產業的結構。智慧型手機雖長期作為人類與數位世界互動的主要入口，並由蘋果與谷歌形成高度穩定的雙頭壟斷體系，但在人工智慧時代，這一地位正面臨來自內外部的多重壓力。一方面，OpenAI、Meta 與亞馬遜等業者嘗試以人工智慧為核心，發展智慧眼鏡、語音導向裝置與可穿戴式硬體，試圖重新掌握使用者互動介面與資料流向；另一方面，人工智慧資料中心對高頻寬記憶體龐大需求，正導致記憶體產能與資本加速轉向高獲利用途，使傳統消費性電子所需的標準型記憶體供應趨於緊縮，成本顯著上升。智慧型手機所承受的挑戰，已超越單純的產品競爭層次，並深受半導體供應鏈重組影響。記憶體價格上揚、先進製程資源被人工智慧晶片吸收，以及代工產能配置改變，正逐步削弱智慧型手機的經濟優勢，也加速產業內部分化。具備規模與整合能力的企業相對具備承受空間，中小型製造商與高度依賴電子零組件的產業則面臨更大壓力。長期而言，人工智慧對消費性電子產業的關鍵影響，在於價值與利潤向資料中心與平台集中，終端裝置由核心價值所在，轉為多個互動入口之一。未來競爭的焦點，將落在誰能在人工智慧主導的供應鏈與資料架構中，持續掌握關鍵零組件、



運算能力與使用者關係。

AI 加速創新藥物研發

電影《Living Proof》描述乳癌重要的標靶藥 Herceptin (trastuzumab) 研發歷程。乳癌是全球女性最主要的癌症威脅之一。在早期階段，若能及早發現，多數乳癌仍可視為一種局部性疾病，透過外科手術即可有效處理。然而，在實際臨床情境中，即使在篩檢技術已相當成熟的今日，仍有相當比例的乳癌因其生物特性，成為全身系統疾病而需要接受化學治療。傳統化療的治療過程往往伴隨高度不適與顯著副作用，包括掉髮、噁心嘔吐與生活品質大幅下降，對病患，特別是女性病患而言，是極大的身心負擔。因此，即便病患理解不治療將危及生命，仍可能因副作用而對化療產生高度抗拒。影片描述 Dennis Slamon 醫師發現部分乳癌病患在基因表現上，會高度表現 HER2 特定基因，而該基因與癌細胞的快速生長密切相關。進一步的研究顯示，HER2 對應的蛋白質可能成為一個可被藥物阻斷的治療標的。若能抑制這條訊號傳遞路徑，理論上便能有效抑制腫瘤生長，這也成為標靶治療的核心概念。電影正是圍繞這項新藥研發歷程所展開。從概念上看，標靶藥物的構想似乎相當直觀：辨識致病基因、找出對應蛋白質，並設計藥物加以阻斷。然而，在實務上，新藥研發是一條極為漫長且艱難的道路，涉及嚴謹的科學驗證、安全性評估與臨床試驗。影片中特別邀請 Slamon 醫師親自擔任顧問，協助重現他當年在研發過程中所面臨的種種困境，包括資金不足、專業人力難以招募，以及研發初期缺乏產業支持等問題。片中呈現出研究人員連基本研究助理都難以找到，必須從零開始培養人力的現實處境。影片透過多位乳癌病患的真實治療歷程，呈現傳統化療在臨床實務中所面臨的困難，以及創新藥物研發對病患所帶來的轉變與希望。其中一位病患 Nicole，是最早接受標靶治療藥物 Herceptin (trastuzumab) 治療的個案之一。她的治療經驗，象徵標靶藥物首次在臨床中展現出與傳統化療截然不同的可能性，也成為後續藥物研發的重要關鍵案例。另一位病患 Barbara，本身是一名藝術教師。她的案例極具代表性。Barbara 在一次檢查中已出現明顯臨床症狀，不僅在乳房自覺腫塊，頸部亦可觸及轉移的淋巴結，顯示疾病已進入較為嚴重的階段。即便如此，她仍強烈抗拒傳統化療，



原因並非否認疾病的嚴重性，而是無法接受化療對外貌與生活品質所帶來的衝擊。作為一名藝術創作者，她擔心掉髮與身體改變，將徹底影響自我認同與職業生命。在極度抗拒化療的情況下，Barbara 甚至曾考慮前往墨西哥接受未經證實的替代療法。直到後來，在 Dennis Slamon 醫師的反覆說明與說服下，她才同意參與標靶藥物的臨床試驗，成為創新治療的重要一環。片中還呈現另一位病患 Ellie，她是一名時裝設計師。Ellie 在早期即能自覺乳房腫塊，但初次就醫時並未獲得適當處置，導致病情延誤，最終進展為較晚期的乳癌。後來，她被納入 Herceptin 第三期臨床試驗，成為實驗性治療的對象之一。這部拍攝於 2008 年的作品，真實反映當時的臨床氛圍：罹患癌症，特別是晚期癌症，往往被視為近乎死刑的宣判。在治療選項有限、化療副作用沉重的年代，病患不僅面對疾病本身的威脅，更承受來自心理、職涯與家庭結構的巨大衝擊。也正因如此，創新藥物的臨床試驗不僅是醫學研究的一部分，更成為病患在絕境中所能寄託的最後希望；同時，這些新藥的研發歷程，也反映出臨床醫師試圖突破既有治療限制、回應病患真實需求的努力。

Nicole 是最早接受 Herceptin 治療的病患之一。當時該藥物所使用的抗體蛋白，是以動物來源蛋白為基礎進行開發，因此該試驗主要目標為藥物是否會引發嚴重的過敏反應，確認蛋白藥物安全性。她在治療期間戴著類似老鼠耳朵的頭飾，自嘲為「老鼠女孩」。新藥在 Nicole 身上出現了極為顯著的臨床效果，在接受治療後，腫瘤明顯縮小，並額外延長了約兩年的存活時間。正因為這樣的結果，藥物才得以正式推進至第二期臨床試驗，並開始招募更多病患。隨著藥物進一步推進至第三期臨床試驗，倫理衝突也隨之浮現。Nicole 在接受治療後，曾達到約兩年的無病狀態，但之後仍不幸復發。她的母親因此親自向 Slamon 醫師懇求，希望能破例讓 Nicole 再次納入第三期臨床試驗。然而第三期臨床試驗有極為明確的納入與排除標準，即便醫師清楚知道該藥物可能對 Nicole 有效，仍不能違反試驗規範。因為一旦破壞試驗設計，將可能導致整個試驗失效，最終使藥物無法上市，影響的是更多病患未來的治療機會。同樣的情況，也發生在另一位第二期臨床試驗的病患身上。當研究團隊從第二期試驗中，篩選出反應最佳的族群，並以此



設計第三期試驗的納入條件時，這名病患因反應未達標準，即使曾有部分改善，仍被排除在第三期試驗之外，無法再繼續使用藥物。

影片中對這樣的掙扎描寫得極為真實。科學與法規要求必須以嚴謹的數據證明療效與安全性；另一方面，醫師面對的卻是一位位具體存在的病人與家庭。即便面對病患母親的眼淚與懇求，仍必須遵守當時 FDA 的臨床試驗規範，因為一旦破例，可能導致整個藥物開發計畫失敗，反而犧牲更多未來病患的治療機會。這正是傳統藥物研發體系中最艱難、也最殘酷的現實之一在科學證據尚未完成之前，個別病人的需求往往無法被制度所承接。影片並非以戲劇化方式誇飾衝突，而是極為細膩地呈現新藥研發在科學、倫理與制度層面所必須承受的張力。所幸，在歷經長時間的努力、資金整合與制度推進後，這項藥物最終仍成功上市，也為後續乳癌標靶治療開啟了新的篇章。

在藥物研發的前期階段，AI 能夠透過基因序列與生物分子資訊，協助研究人員進行精準定位。透過演算法分析與深度學習模型，AI 可以快速判斷具有潛在價值的分子，可能成為前導的藥物，進一步篩選出真正值得投入後續開發的候選藥物。使得前期的藥物發現與設計，建立在數據與模型支持之上的系統性決策。當完成前期的發現與設計後，接下來便進入藥效分子特性評估的階段。AI 可以預測分子的化學性質、藥物與標靶之間的交互作用，以及可能產生的藥效表現，協助研究人員更精準地評估候選藥物的效力與結合能力。若這一階段的評估不足，往往會導致藥物在臨床第二期或第三期試驗中失敗，造成研發時程延宕與資源的巨大浪費。安全性與藥物代謝動力學分析是各國藥品審查中極為關鍵的一環。AI 能協助預測人體內藥物的吸收、分布、代謝與排除情形，並提前掌握潛在的安全風險，減少後期因毒性或不良反應而被迫中止開發的可能性。最後，藥物是否能夠成功進入臨床試驗，並順利完成第一期、第二期乃至第三期試驗，關鍵在於藥物適應症的精準定位與後續擴展策略。若適應症選擇不當，即使投入大量資源，仍可能在第三期臨床試驗階段宣告失敗，造成極高的經濟與時間成本。

在藥物研發的各個階段中，人工智慧能夠依循研發流程，逐步輔助不同關鍵環節，形成一套有系統的 AI 輔助應用架構。流程可從數個核心方向出發，逐步推進，構成一



個階段式的 AI 藥物研發路徑。第一個階段是療效標靶的標定與驗證。傳統的標靶治療多半依賴基因或蛋白質序列進行定位，而在導入 AI 之後，除了序列層次的分析之外，還能進一步推估標靶的立體結構與實際作用位置，使作用標靶能在結構層次上被更精確地辨識。在確認潛在標靶之後，接下來進入化合物篩選的階段。此時的關鍵在於判斷哪些小分子或化合物可能具有生物活性。透過 AI 模型，可進行藥物生物活性的預測，協助從大量化合物中篩選出具潛力的候選分子，這在傳統方法中是一項相當耗時且困難的工作。隨後進入藥物設計與候選藥物選擇。面對不同的分子結構，AI 可用於評估其開發潛力，並作為後續物理化學性質預測的基礎。透過這些預測，得以定量分析分子的結構－活性關係。接下來是物理化學性質預測與交互作用預測。AI 可協助預測藥物與標靶之間的結合力、作用位置及交互作用情形，進一步評估藥效表現，並支援定量結構－活性分析。毒性預測以及藥物動力學預測階段可輔助 ADMET 包括藥物在人體內的吸收、分布、代謝與排除，以及潛在安全風險藥物特性預測。這一階段對於降低後期臨床試驗失敗的風險具有關鍵意義。對於藥物適應症的開發與定位可透過 AI 分析藥物特性與疾病特徵評估其是否適合特定疾病，作為臨床試驗與治療定位的重要依據，例如標靶藥物在特定疾病中的應用。

在傳統流程中學術單位或受託研究機構的主要任務，是釐清疾病的致病機轉，並找出可能的治療標的。這一階段通常需要 1 到 5 年 的時間。接下來，進入前導化合物的產生與篩選。透過實驗方式，從大量化合物中找出可能具有療效的分子，例如核酸鏈或小分子藥物。完成篩選後，還需進一步進行前導化合物最佳化，以提升活性與穩定性，這個過程通常需要 2 到 3 年。之後是臨床前研究，包括動物實驗與相關安全性評估，並完成新藥試驗申請（IND），此階段約需 2 到 3 年。真正最耗時的階段，則是進入臨床試驗，包含第一期、第二期與第三期，用以評估藥物在人體中的療效與安全性，往往需要 6 到 10 年，最後才有機會進入 FDA 核准，整體流程通常超過 10 至 15 年。在疾病標靶鑑定階段，AI 能同時結合致病機轉分析與標靶蛋白結構預測，使錯誤率顯著降低，讓原本需要 1 到 5 年的過程，縮短至約 1 到 2 年。在前導化合物的產生與最佳化階段，



AI 可透過虛擬篩選，快速辨識候選分子，並同步預測生物活性與毒性，使前導化合物篩選與最佳化各自壓縮至約 1 年。進入臨床前研究後，AI 可協助進行臨床試驗配對設計與風險評估，使臨床前階段進一步縮短。在臨床試驗階段，AI 可用於臨床結果預測、病人特徵配對與試驗效率優化，使原本 6 到 10 年的臨床試驗流程，縮短至約 4 到 7 年。同時，透過數位雙胞胎等模擬技術，可加速安全性與療效的整體評估。最終，在 FDA 核准階段，數位化與模擬工具也有助於縮短審查時間，加速新藥研發流程。

在目前的藥物與疾病研究中，標靶探索已逐漸從過去單一的基因序列定位，轉向多體學 (multi-omics) 整合研究。近年來，多體學結合人工智慧的疾病標靶探索快速興起，已成為標靶鑑定與驗證階段中極為關鍵的發展方向。在標靶鑑定與驗證過程中，所依賴的已不再只有基因體學資料，而是涵蓋多個層次的生物資訊，包括表觀遺傳學 (如 DNA 甲基化等修飾機制)、基因體學、轉錄體學 (DNA 轉錄為 RNA 的表現變化)、蛋白質體學，以及代謝體學。其中，代謝體學亦納入腸道菌相 (microbiota) 等生理代謝產物的影響，使疾病機轉的理解更為完整。這些來自不同層次的生物資料，構成了高度複雜的多模態資料 (multimodal data)，必須透過 AI 進行整合分析。在 AI 模型資料整合階段，機器學習與深度學習被用來處理各類多體學 (omics) 資料，從表觀遺傳、基因體、轉錄體到蛋白質體層次，進行高維度特徵學習。蛋白質體與分子層級的分析中也可進一步導入網路式因果分析，用以探索不同分子網絡之間可能存在的因果關係路徑，協助釐清疾病發生與進展的關鍵節點。目前，這類多體學 AI 標靶探索已在多種癌症研究中展現成果，包括乳癌與大腸直腸癌等。相關研究不僅促進了標靶藥物的發展，也進一步延伸至免疫治療藥物的探索，正如稍早所提及的免疫抗癌標靶藥物。在應用研究層面，多體學 AI 不僅有助於深入解析疾病機轉，對於藥物標的的鑑定亦具有高度價值。同時也有助於促成舊藥新用 (drug repurposing) 的發現，為既有藥物找到新的治療定位。過去已有不少案例顯示，原本作為舊藥使用的藥物，在重新分析其分子機制後，被發現具有新的治療潛力。例如常用於糖尿病治療的 metformin，後續研究指出其對腸道菌相平衡亦可能具有正面影響，這正是多體學資料整合所帶來的附加價值。



XAI 免疫抗癌治療精準藥物研發

小分子藥物在癌症免疫治療中正扮演日益關鍵的新興角色，並逐步展現由傳統研發模式轉向 AI 優化設計之發展歷程。癌症免疫治療的核心目標在於重新啟動或強化宿主免疫系統以清除腫瘤細胞，傳統策略主要仰賴過繼性細胞療法、細胞因子治療、癌症疫苗及免疫檢查點抑制劑等生物製劑。相較之下，小分子免疫調節劑係指分子量介於 0.1 – 1 kDa 的化學化合物，具備良好的口服生物利用度、較高的理化穩定性，並能有效作用於細胞內標靶。其優異的組織滲透性（特別是在實體腫瘤中）、高度化學可調性及較低的生產成本，使其成為生物製劑之外極具潛力的補充或替代方案。隨著 AI 技術的導入，小分子藥物的研發流程得以加速，涵蓋快速篩選、分子生成、標靶特異性強化及多目標最佳化，並透過 ADMET 預測提升安全性與成本效益，進一步推動精準且個人化免疫治療的實現。人工智慧正快速重塑抗癌新藥的研發與臨床應用流程。在藥物研發階段，AI 可加速標靶辨識、分子設計與活性親和力預測，並於臨床前即評估代謝與毒性風險，大幅降低試錯成本。在臨床決策層面，AI 結合化學機制解析與藥物動力學驗證，提升模型可解釋性與決策透明度，增進監管信任。同時，透過精準醫療分層，AI 協助預測治療反應，促進更個人化且有效的癌症治療策略發展。AI 成為小分子免疫治療藥物開發的核心工具。透過聯邦學習與資料協作，AI 可在保護隱私下整合多源資料，加速先導化合物鑑定與 *de novo* 分子生成。同時，模型可預測免疫活性、ADMET 特性與生物標記新抗原，並結合高通量篩選與標靶探索，進行高效迭代優化，支持精準標靶治療策略，提升研發效率與臨床應用成功率。

以肺癌治療標的 IDO1 抑制劑為例，IDO1 抑制劑的核心目的在於降低腫瘤對免疫系統的抑制，協助免疫細胞重新攻擊腫瘤、提升免疫治療效果。在分子設計上，將藥物結構拆解為「配體與蛋白基質—鐵離子結合區」等關鍵區塊，並透過 XAI 辨識哪些結構是維持活性所必需、不可任意修改；同時也指出可在不破壞活性的前提下，針對可調整的側鏈位置進行結構優化，以平衡分子特性、提高療效並降低毒性。XAI 能把原本難以理解的 AI 預測轉化為化學家可讀的設計依據，進一步提升分子優化效率與成功率。



目前 XAI 導入藥物研發仍面臨三大挑戰。第一是資料品質與可用性限制：資料可能存在標註錯誤、偏差與稀缺性，容易造成模型過度擬合與不可靠預測，進而影響泛化能力。第二是模型可解釋性：深度學習模型本身透明度不足，需仰賴 XAI 提供可理解的依據，才能增加臨床端對 AI 結果的信任。第三是臨床轉譯與實務落差：AI 設計分子往往仍受藥代動力學、安全性與法規要求限制，且臨床試驗與導入門檻高，讓研究成果走向臨床應用仍需跨領域與制度面的配套。

以上內容將在 2026 年 2 月 4 日(三) 10:00 am 以線上直播方式與媒體朋友、全球民眾及專業人士共享。歡迎各位舊雨新知透過星球永續健康網站專頁觀賞直播！

- 星球永續健康網站網頁連結: <https://www.realscience.top/7>
- Youtube 影片連結: <https://reurl.cc/o7br93>
- 漢聲廣播電台連結: <https://reurl.cc/nojdev>
- 不只是科技: <https://reurl.cc/A6EXxZ>



講者：

陳秀熙教授/英國劍橋大學博士、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑀博士

聯絡人：

林庭瑀博士 電話: (02)33668033 E-mail: happy82526@gmail.com

劉秋燕 電話: (02)33668033 E-mail: r11847030@ntu.edu.tw