



星球永續健康線上直播

AI 藥物研發產業 (8)

人工智慧個人化精準流感疫苗

2026 年 3 月 18 日

雖然當今世界正處於動盪不安的國際環境之中，但正所謂「柳暗花明又一村」，科技的突破也正同時孕育新的希望。人工智慧不僅為疫苗設計提供了嶄新的工具，也可能開啟個人化精準疫苗新時代。本週我們將探討智慧精準流感疫苗的設計，以及 VaxSeer 精準流感疫苗的相關發展。

健康科學新知

中東能源設施空襲人道危機加劇：「烽火外溢」

22 月 28 日美國與以色列對伊朗展開聯合軍事行動後，衝突迅速由軍事打擊擴大為涵蓋能源、環境、政治與人道層面的區域危機。德黑蘭周邊多處石油設施遭空襲後長時間燃燒，釋出大量複雜污染物，造成嚴重空氣污染，甚至出現黑雨，對高密度都市人口的健康構成明顯威脅。世界衛生組織與相關專家均警告，這些污染不只影響呼吸系統，也可能透過水體與地表沉積形成持續暴露風險。在政治層面，阿里·哈米尼身亡後，伊朗在戰時體制安排下維持運作，並於 3 月 9 日由其子莫吉塔巴·哈米尼接任最高領袖。不過，這項接班更像是象徵性安排，實際權力進一步集中於伊斯蘭革命衛隊。莫吉塔巴本身在宗教資格與制度正當性上均有爭議，顯示伊朗政權正由宗教威權更明顯地轉向軍事安全主導。雖然伊朗仍保有反擊能力與一定程度的政權凝聚力，但基礎設施、糧食供應、能源系統與中央協調能力都已承受沉重壓力，整體局勢處於勉強維持與逐步失序。

衝突也快速外溢至黎巴嫩。真主黨為回應阿里·哈米尼之死而攻擊以色列後，以色列擴大對黎巴嫩的空襲與地面推進，導致超過 50 萬人流離失所，數百名平民死亡，並使貝魯特與南部邊境地區的人道危機加劇。與此同時，川普一方面表示戰爭可能很快結束，另一方面又強烈警告伊朗不得干擾荷莫茲海峽的石油運輸，否則美國將採取更猛烈的軍事回應。伊朗與美以之間軍事衝突以擴大牽動中東秩序、全球能源市場與區域穩定



多元危機。

中東衝突全球能源供應緊縮：「油海驚濤」

美國與以色列攻擊伊朗後，荷姆茲海峽迅速成為全球能源危機核心。由於海峽承載全球約五分之一的石油與海運天然氣運輸，且難以由其他路線取代，伊朗威脅攻擊航行船隻後，大量油輪與天然氣船停滯，連帶使波斯灣原油、液化天然氣與成品油供應面臨嚴重中斷風險。除海上運輸受阻外，伊朗、沙烏地阿拉伯與卡達等地能源設施也遭到攻擊，使市場擔心供應問題不只是短期航運延誤，而可能演變為生產、儲存與出口能力同步受損的複合型危機。衝擊對亞洲最為嚴重，經由荷姆茲海峽運輸的原油與液化天然氣多數流向亞洲，中國、印度、日本、南韓及南亞多國對波斯灣能源依賴極高。中國雖然是最大買家，但因原油與天然氣庫存較高，短期仍具一定緩衝能力；相較之下，印度、孟加拉、巴基斯坦等國庫存較少，壓力更大。印度因約一半能源進口需經過荷姆茲海峽，已面臨明顯供應風險，美國因此暫時放寬對俄羅斯原油的部分制裁，允許印度購買滯留海上的俄油，以緩和短期市場壓力，但這並未改變印度對中東供應的結構性依賴。市場價格迅速反映危機。布蘭特原油一度升至每桶 119.5 美元，天然氣價格也大幅上升，亞洲煉油與液化天然氣市場的替代需求同步推高阿曼原油、WTI、航運運費與天然氣現貨價格。部分亞洲煉油廠已減產，成品油與石化原料價格走高，顯示壓力已沿著整條能源供應鏈擴散。若危機持續，可能推升全球通膨、壓縮經濟成長，並迫使各國重新評估利率政策與能源安全策略。因應此全球能源危機，國際能源總署與 G7 討論是否啟動史上最大規模的戰略石油儲備釋出，以穩定市場與壓抑恐慌。不過釋儲最多只能提供短期緩衝，無法根本消除荷姆茲海峽受阻所帶來的地緣政治風險溢價。只要海峽無法恢復安全航行，市場仍會持續將供應中斷、運輸風險與軍事升級納入價格之中。這場戰爭影響到區域商業中心杜拜。杜拜原本以相對安全、穩定且遠離區域衝突的形象吸引國際資本、金融業、高資產人口與科技基礎設施，但伊朗報復行動已直接波及當地飯店、資料中心、機場與港口，動搖其安全與商業樞紐形象。雖然阿聯酋政府快速穩定局面，但企業與投資人已開始重新評估地緣政治風險。



川普訪中牽動亞洲經貿安全佈局：「大國控局」

美中即將舉行的川習峰會，目前重點不在於推動關係大幅改善，而是維持近月來的穩定局面。由於籌備時間短、安全考量高，加上中東局勢緊張，川普訪中行程預計僅限北京，雙方即使可能討論中國採購美國農產品與波音客機等議題，整體仍以控管分歧與避免局勢惡化為主。美韓近期亦展開「自由護盾」聯合軍演，北韓則強烈批評此舉是對其安全的威脅。雖然韓美強調演習屬防禦性質，且今年實地演習次數較去年減少，但北韓仍視其為敵對行動，金與正並警告可能帶來嚴重後果。南韓方面則認為，北韓此次表態雖強硬，但措辭相對克制，顯示平壤仍保留外交操作空間。中東戰事強化北韓對核武的依賴。北韓近期試射飛彈並強調軍艦核武化進展，反映其愈發相信核威懾是政權生存的核心保障。國際分析普遍認為，伊朗遭受軍事打擊的處境，對北韓形成明額信號，使其更堅信真正擁有核武比僅追求核能力更能確保安全，也讓未來若與美國重啟談判，平壤更可能以既成核武國家的姿態爭取安全保證與政治讓步。

AI 轉化現代戰爭型態：「算戰融合」

近期研究指出，人工智慧正快速改變現代戰爭型態。AI 可整合衛星、通訊與戰場資料，協助目標辨識與作戰決策，並模擬武器效果以提升打擊規劃效率。美國與以色列在對伊朗軍事行動中透過資料整合系統與人工智慧技術大幅提升作戰效率。2026 年 2 月 28 日美以聯軍發動大規模空襲以來其出擊架次已超過 1991 年與 2003 年波斯灣戰爭初期的規模，顯示現代軍事體系在目標識別與作戰節奏上出現重大變化。這種高密度打擊能力主要來自大型軟體平台與資料融合系統的應用，例如由 Palantir 開發的 Maven 智慧系統。該系統能整合衛星影像、電子訊號情報與社群媒體資訊等多種資料來源，利用人工智慧與機器學習快速分析戰場資訊，建立目標資料庫並協助指揮官進行武器配置與作戰決策，使軍方得以在接近工業化的規模下生成攻擊目標並執行打擊。作戰流程中，中央司令部負責整合情報資料並建立目標清單，再由武器專家決定適合的武器類型，法律顧問提供法律風險評估，最後由指揮官批准攻擊。人工智慧系統不僅能模擬爆炸影響範圍與平民傷害風險，建立戰場的數位孿生預測不同作戰方案的可能結果。這些技術使



得目標生成速度大幅提升，過去需要數十名分析人員耗費數十小時完成的作戰規劃，如今可能在數分鐘內完成。然而，高速目標生成與攻擊節奏也帶來新的風險。例如伊朗米納布女子學校遭飛彈誤擊事件，即可能源於目標資料更新不足。人工智慧雖可提升資料分析效率，但若決策者過度追求生成大量攻擊目標，仍可能增加平民傷亡風險。此外，當作戰節奏持續加快，人類在審查與更新目標資料方面的負擔也日益增加，可能削弱原有的審核機制。Project Maven 與相關人工智慧系統顯示現代戰爭正逐步轉向以資料融合與人工智慧為核心的決策模式。這種技術使軍事行動在效率與規模上大幅提升，但同時也帶來平民保護、倫理規範與人類控制權等新的挑戰。部分軍事 AI 構想希望發展具備自主識別與攻擊能力的武器系統，但現行國際人道法仍要求人類對致命武器保持控制。學界普遍認為，完全自主的致命武器在倫理與法律上仍存在重大爭議，需要更嚴格的國際規範。然而，由於人工智慧技術發展迅速且主要軍事強國對監管態度保留，目前建立全球性法律框架仍面臨相當困難。

螢光蛋白量子感測創新工具：「量子生醫」

最新研究顯示，常見螢光蛋白可能形成量子態，成為新型量子感測工具。科學家指出，蛋白質可利用三重態自旋形成量子疊加，偵測極微弱生物訊號。相較於鑽石量子感測器，蛋白質可透過基因工程精確定位於細胞內，有望提升生物影像與疾病研究能力。綠色螢光蛋白長期用於生物標記，但科研人員現已利用其量子性質將其轉化為量子感測器。若成功轉化，可偵測神經元放電的微弱磁場、離子流動與細胞早期病變信號。鑽石中的 NV 中心目前是最成熟的量子感測器，但在生物體內難以精確定位，相比之下，螢光蛋白體積更小，可透過基因工程精準部署在細胞內，具有優越的靶向性。Awschalom 與 Maurer 團隊將增強型黃色螢光蛋白轉化為量子感測器，利用蛋白在特定條件下進入的非發光三重態建立量子疊加，成功使其螢光強度隨磁場變化達 30%，並在活細菌細胞室溫下運作。另一研究團隊則發現含黃素的改良螢光蛋白對磁場敏感，可發展成具多工標記能力的感測平台。未來應用包括結合 MRI 穿透力與螢光蛋白特異性的新型深部影像技術，以及透過磁場遠端啟動蛋白活性的磁遺傳學。該領域雖仍處起步階段，但螢光蛋



白的基因靶向優勢使其具有超越現有量子感測器的潛力，正逐步從概念驗證進入實驗應用階段。

AlphaFold 4 即將發布：「算力製藥」

人工智慧蛋白質預測技術持續發展。AlphaFold 已能由胺基酸序列預測蛋白質三維結構，相關突破曾獲諾貝爾化學獎肯定。後續模型進一步分析蛋白質與藥物、DNA 與 RNA 等分子互動。研究者表示，新模型 IsoDDE 可評估結合方式與強度，可能協助縮短藥物研發流程。IsoDDE 是 Isomorphic Labs 開發的 AI 藥物發現引擎，在預測蛋白質與候選藥物交互作用、抗體結合親和力等任務上表現突出，性能超越開源模型 Boltz-2 與傳統物理方法。其最令人矚目之處在於「外推能力」能對訓練資料中不存在的新穎化合物做出可靠預測，顯示模型學到了可泛化的高層規律，這對藥物研發至關重要。然而，IsoDDE 採取專有技術策略，技術報告對其具體方法著墨甚少，公司並無公開的計畫。Isomorphic 總裁表示背後方法「本質上不同」，但僅籠統提及來自算力、資料與演算法的組合。這使學界既被激勵又受限。公司已與 Johnson & Johnson、Eli Lilly 等大型藥廠簽下數十億英鎊合作協議，並掌握私人結構資料，這可能構成競爭優勢。Isomorphic 內部有多個不同版本的 IsoDDE，使用不同資料來源，表明其勝利來自資料整合、模型調校與商業合作的綜合優勢。儘管如此，開源社群認為改進空間仍存——僅用公開資料也有大幅提升潛力。這反映 AI 藥物研發領域的深層局面：最先進能力快速往產業集中，公開科學與商業機密界線漸明顯，未來誰主導新一代藥物發現平台，將取決於演算法創新、資料取得與開放策略的拉鋸。

智慧精準流感疫苗設計

Netflix 紀錄影集《Pandemic：流感來襲》指出，大流行並不是「會不會發生」的問題，而是「什麼時候會發生」的問題。回到歷史，1918 年的西班牙流感發生在第一次世界大戰期間。當時人口快速移動，使病毒迅速擴散，最終形成全球大流行，對全球生命安全與經濟造成長期衝擊。當時生物醫學界對「病毒」的概念仍十分陌生，因此口罩的使用方式並不完全正確，許多人並未將口罩覆蓋鼻子。口罩更多是一種防護象徵，而



非真正有效阻斷病毒傳播的措施。然而社會各階層，包括警察與民眾，仍普遍配戴口罩，可見疫情對社會造成的巨大衝擊。大流行期間醫療體系承受極大壓力，醫院人滿為患，臨時病房被設置於大型建築或公共空間，情況與 COVID-19 疫情期間的臨時醫療設施相似。大量疾病與死亡也對社會運作造成衝擊，包括遺體處理與公共衛生管理等問題。歷史上對大流行疾病的記錄，不僅出現在醫學文獻中，也廣泛存在於影像、文學與藝術之中，例如黑死病相關紀錄，以及電影《危機總動員》(Outbreak) 等作品，均描繪疫情對人類社會的衝擊。病毒長期潛藏在地球與人類社會共存，生變異往往只是時間的問題。特別是在南亞地區，例如印度與中國交界一帶，由於人口生活空間與生產方式的特殊性，人類、家畜、家禽與農業活動往往同時存在。人類居住環境與畜牧、農業高度交織，例如水稻種植區、家禽與家畜飼養環境，以及野生動物棲息地彼此接近。該地區也存在大量蝙蝠等野生動物，加上傳統家禽市場與活體動物交易市場的存在，甚至包括野味或叢林肉 (bushmeat) 在市場上的販售與交易，這些因素都提高了病毒跨物種傳播與突變的機會。因此，在東南亞與南亞部分地區，這種人類生活型態與動物環境高度交錯的文化與生態條件，往往使新興傳染病的風險相對提高。再加上當前高度全球化的世界，即使在地緣政治衝突與戰爭情勢之下，人類的移動仍然難以停止。全球航空網絡與城市高密度人口，使人群持續頻繁往來。另一方面，在部分地區經濟壓力或社會不穩定時，公共衛生監測與防疫措施往往難以落實，疫情監測也可能無法及時到位。

雖然「One Health」概念已經被廣泛討論，但真正落實並不容易。One Health 涉及人類、動物與環境之間的整體關係，更重要的是文化與行為模式的改變，因此往往需要長時間的推動與跨領域合作，才能逐步實現。因此，科學界開始思考另一個方向：是否能透過科技發展新的疫苗策略。例如，是否有可能發展出一種「全效流感疫苗」。理想情況下，如果存在一種疫苗能夠對所有流感病毒株產生保護，就能大幅降低流感對人類社會造成的威脅。之所以每年都需要接種流感疫苗，主要原因在於流感病毒突變速度非常快，每一年流行的病毒株可能都不同。當病毒出現較大的變異時，人群原有的免疫力可能無法有效抵抗，情況就會類似新興病毒出現時的狀態，進而可能引發大流行並造



成嚴重的臨床後果。因此，科學界長期以來一直嘗試研發能夠提供長期保護力的流感疫苗，即使無法完全阻止感染，也能顯著降低重症與死亡的風險。過去多年來，《Science》與《Nature》等期刊已發表大量相關研究，但要真正發展出完全通用的流感疫苗仍面臨相當困難。隨著人工智慧與精準科學的發展，另一種較為可行的策略逐漸出現：即使無法立即研發出全效疫苗，仍可以利用人工智慧預測未來一至兩年可能流行的流感病毒株，並據此設計更精準、具有高效中和能力的疫苗。在全球真正全面落實 One Health 之前，透過科技力量達到更精準的預測與預防，成為目前重要且務實的方向。

流感疫苗株的預測與製造一直面臨挑戰。流感病毒會持續發生原漂移 (antigenic drift)，病毒在不斷分支與突變的過程中，分化成多個亞型。病毒出現新變異使疫苗保護效果受到影響。另一方面，傳統滅活流感疫苗的生產週期約需 6 至 9 個月，而流感病毒本身又具有季節性流行與快速變異的特性，因此疫苗完成生產時，實際流行的病毒株可能已經出現變化，導致整體保護力受到限制。根據美國的統計，在 201 至 2022 年的流感季中，有五個年度的疫苗整體保護力低於 40%。儘管如此，疫苗仍然具有重要價值，因為它仍然可以有效降低住院率與重症風險。因此在評估疫苗時，不僅要看是否能完全預防感染，更重要的是其對重症與死亡的保護效果。由於病毒株預測並非每次都能完全準確，有些年度的疫苗效果可能明顯下降。例如在 2014 - 2015 年的流感季，疫苗保護力僅約 19%。目前疫苗株選擇主要依賴傳統的血球凝集抑制試驗 (hemagglutination inhibition test, HI)。研究人員利用感染後產生的抗體，與病毒進行血球凝集反應的測試，藉由 HI 效價來評估不同候選疫苗株的免疫反應能力，並選擇最有潛力的病毒株作為疫苗設計的依據。然而這種方法在實務上存在許多限制。HI 試驗需要大量實驗資源與動物實驗材料，因此能夠進行廣泛測試的候選疫苗株通常不到十種。這也使得研究人員難以對所有可能出現的新興病毒株進行完整的交叉比對。為了改善這一問題，世界衛生組織 (WHO) 建立了全球病毒資料共享平台 GISAID。各國在監測到新的病毒基因序列後將相關資料，包括蛋白質序列、DNA 或 RNA 基因序列，上傳至資料庫，讓全球共享。目前全球已有近 200 個國家參與這一資料共享機制。在人工智慧尚未廣泛應用之前，



WHO 主要依賴有限的 HI 試驗資料與全球監測資料，對少數候選病毒株進行分析與推測，進而預測下一季可能流行的病毒株。由於可測試的候選疫苗株數量有限，無法對所有新興病毒進行全面交叉比較，這也成為流感疫苗預測與製造過程中的重要瓶頸。

如何將傳統實驗室的抽樣方式，進一步轉向今日以人工智慧為基礎高效預測為當前智慧疫苗生產挑戰。傳統上，WHO 在專家小組主導下，主要面對三個面向的限制。第一是資料維度。剛才提到，體外試驗可測試的病毒株數量通常非常有限。第二是時間維度。過去依賴的多半是歷史性、相對靜態的資料，而不是針對未來進行動態預測。因為在真實世界中，能夠觀察到的往往是最後的感染人數、門診人數、住院人數與重症人數，但對於感染規模隨時間的變化，以及更長期的動態趨勢，要準確掌握其實非常困難。第三是決策基礎。傳統決策高度依賴專家判斷，雖然專家經驗極為重要，但若可配對的病毒株資訊有限，或疫苗株與實際流行株無法有效對應，專家判斷仍然會受到很大限制。因此，需要進一步導入電腦模擬，也就是 *in silico* 的方式，來篩選龐大的基因資料庫，突破傳統實驗室在量能上的限制。將原本依賴實體試驗的流程，轉化為以人工智慧驅動的模擬與預測系統。這樣的作法，某種程度上類似 AlphaFold 在蛋白質結構預測上的發展。透過蛋白質模型，結合常微分方程式等動態模型，去模擬病毒演化與優勢株變化的過程，進一步預測未來可能出現的優勢病毒株。再根據這些預測結果，評估疫苗株與流行病毒株之間的匹配程度，最後產生一個可量化的預測覆蓋分數，也就是把病毒演化預測與疫苗配對能力整合。

流感精準疫苗的保護評估正逐步發展為雙軌預測模型。同時整合兩個關鍵面向，其一為未來可能成為主流的病毒優勢株預測，其二為疫苗與病毒抗原之間的匹配程度評估。在傳統方法中，疫苗與抗原之間的匹配主要依賴實驗室試驗進行評估；然而隨著人工智慧技術的發展，相關分析逐漸轉向以 AI 為核心，透過病毒基因序列所轉譯之蛋白質結構資訊，計算疫苗與病毒抗原之間的相符程度。此一方法使得病毒株與疫苗之間的匹配分析，能夠在大規模基因資料與蛋白質結構資訊的基礎上進行。在此架構下，病毒未來流行優勢與疫苗抗原匹配程度兩者被整合計算，形成預測保護分數。該分數用以評估特



定疫苗在某一流感季節中，對當季可能流行之病毒株所能提供的整體保護效果。因此，疫苗的臨床防護力並非僅取決於疫苗本身所誘發的免疫反應強度，同時亦受到病毒株在特定流感季節中出現機率，以及疫苗對該病毒株中和能力之共同影響。

在此架構下，預測覆蓋保護分數的計算建立於一項核心創新公式之上。該方法由 MIT 團隊運用機器學習技術所提出，將兩個關鍵預測整合於同一模型之中：其一為未來流感病毒主流株的優勢度預測，其二為疫苗與病毒抗原之間相符程度的預測。透過整合這兩項資訊，模型得以計算出整體的預測覆蓋分數 (Predicted Coverage Score)。此一預測覆蓋分數的意義，在於評估某一疫苗株在特定流感季節中，對可能流行之病毒株所具有的整體保護能力。換言之，該分數反映疫苗是否能够有效涵蓋當季主要流行病毒株，並對其產生足夠的免疫防護效果。與過去主要依賴有限實驗資料與專家判斷的方式不同，此一方法透過機器學習模型整合病毒演化趨勢與抗原相符性，使疫苗株選擇的評估更具量化與預測能力。當預測結果與實際流行病毒株具有較高匹配度時，疫苗對於感染控制的效果亦可望提升，進而降低門診病例數、住院率與重症發生率，並減少與流感相關的死亡風險。

MIT 團隊提出以雙引擎模型解析流感病毒演化與疫苗匹配問題。其核心方法是運用大型模型與自然語言處理 (NLP) 概念，將病毒基因序列視為類似語言序列進行解析，進而預測病毒的演化趨勢與抗原特性。第一個引擎為「未來優勢株預測」(Dominance Predictor)。此模型利用蛋白質語言模型 (protein language model)，結合動態系統中的常微分方程 (ODE) 方法，分析病毒蛋白質序列的演化特徵與時間變化，進而預測哪些病毒株在未來流感季節中可能成為主流或優勢株。第二個引擎為「抗原匹配預測」(Antigenicity Predictor)。該模型透過深度學習架構，將病毒株的 HA 蛋白序列與疫苗株的 HA 蛋白序列進行大規模比對。模型建立於 transformer 等大型神經網路架構之上，能夠學習病毒與疫苗抗原之間的結構與功能關係，進而預測兩者之間的抗原相符程度。透過這種方式，模型可以在電腦模擬環境中預測血球凝集抑制試驗 (HI) 所反映的免疫反應效果，等同於在「人工實驗室」(in silico) 中進行大規模抗原匹配評估。



與傳統依賴動物或實體實驗的 HI 試驗相比，此方法能夠在更大規模的病毒基因資料庫中進行篩選與分析，大幅提升病毒株與疫苗株匹配評估的範圍與效率，降低因樣本限制而造成的預測偏差。

近期的重要進展來自 MIT 團隊所提出的 VaxSeer 系統。該系統整合先前所述的技術架構，透過機器學習與大型模型，將未來主流病毒株的預測與病毒抗原—疫苗匹配分析結合，建立一套能夠進行疫苗評估與篩選的數位化平台。此一系統被稱為「VaxSeer 數位虛擬實驗室」。其核心概念在於利用數位演算 (in silico) 突破傳統實驗室在時間、空間與資源上的限制，使病毒演化預測與抗原匹配評估能夠在電腦環境中大規模進行。透過這種方式，可以同時分析大量病毒基因序列與候選疫苗組合，大幅擴展疫苗株篩選與評估的範圍。在方法上，VaxSeer 結合兩個重要分析方向。首先，利用演算法分析歷史病毒資料，預測未來可能成為主流的病毒優勢株。其次，透過深度學習模型評估病毒抗原與疫苗抗原之間的匹配程度。這兩個預測軌道被整合於同一系統之中，以雙軌並行的方式進行疫苗效力評估與篩選。透過這樣的數位化平台，可以在疫苗實際生產之前，即預先評估不同疫苗株對未來流行病毒的潛在保護效果，從而提高疫苗株選擇的精準度。流感疫苗被視為此類技術應用的重要起點，也可視為人工智慧輔助疫苗設計的重要里程碑。未來此一方法並不僅限於流感疫苗，亦有潛力應用於其他病毒疫苗的研發與設計。

VaxSeer 精準流感疫苗

MIT 研究團隊提出一種以數位 (in silico) 方法加速疫苗研發的技術。該方法透過多重序列比對與轉換器模型 (Transformer)，分析候選疫苗與流通病毒之間的 HA 蛋白序列差異，並從歷史 HI 試驗資料中學習抗體與病毒之間的交互作用。模型可直接預測 HI 檢測結果，評估疫苗對病毒的抗體抑制能力。此技術有望減少對動物實驗與傳統濕實驗的依賴，提升疫苗設計效率並加速新型疫苗開發。研究團隊提出一套結合人工智慧與數學模型的流感病毒演化預測方法。系統以流感病毒 HA 蛋白序列與採樣時間為輸入，透過大型語言模型分析蛋白質序列特徵，再結合常微分方程模型模擬病毒族群的動態變化。該模型可學習病毒在不同時間點的演化趨勢，生成感染發展的動態曲線，預測



疫情何時可能達到感染高峰。此方法有助於提前掌握病毒演化方向，並支援疫苗選株與公共衛生決策。研究團隊整合真實世界資料 (RWD) 建立流感病毒監測平台。系統彙整 2003 - 2023 年全球流感病毒 HA 序列資料，涵蓋北美、歐洲與亞洲等地區，並結合 GISAID 病毒株資料與 WHO 疫苗實驗結果。透過大量歷史序列進行模型訓練，可分析病毒演化趨勢並預測未來可能流行的病毒株。同時利用 HI 凝血抑制試驗資料評估疫苗與病毒株之間的匹配程度，為疫苗選株與公共衛生監測提供重要科學依據。

研究團隊建立 AI 預測疫苗保護效益的計算流程，首先分析候選疫苗株與流通病毒株的 HA 蛋白序列，透過抗原性預測模型估計 HI 抗原距離，評估疫苗與病毒之間的匹配程度。同時利用動態模型預測未來病毒株的流行優勢度。最後將抗原匹配結果與病毒流行機率加權整合，計算整體疫苗保護分數。此方法可協助提前評估疫苗效力，提升流感疫苗選株與公共衛生決策的科學依據。AI 模型 VaxSeer 的核心是建立「疫苗覆蓋指數」，同時考量兩件事：一是疫苗株與未來流行病毒的抗原相符性，二是該病毒在未來流感季成為主流株的可能性。模型以實際 HI 實驗資料搭配流行病毒分布回溯計算，將預測結果轉換成可比較的保護力表現，並在不同年度呈現 VaxSeer 與 WHO 選株策略在預測表現上的差異。以演化樹示意「選株覆蓋」差異：WHO 策略偏向選擇某一條預測的演化分支（例：3C.3a1），但可能因覆蓋範圍較窄而錯失相關流行變異株，VaxSeer 策略可發展覆蓋多數變異株疫苗，捕捉正在擴張的演化主幹，使疫苗株更有機會涵蓋未來持續擴張的其他分支。故 VaxSeer 在選株上更能掌握正在擴張的演化趨勢。多層證據支持「覆蓋指數=有意義的保護力指標」。在抗原預測方法比較中，「保護指數(抗原與流行比例)」與疫苗有效性相關性最高。且高預測保護指數對應到較高疫苗保護力。

臨床效益評估層面顯示高覆蓋分數對應「減少醫療就診次數」的效益，同時在與既有模型比較中，VaxSeer 的優勢株預測相關係數最高(約 0.8069)，優於 CSCS、EVescape、上一季優勢株、LLM 預測方法等。當疫苗的預測保護分數越高，實際效益不只在個人保護，也能反映在醫療與社會負擔下降：一方面可顯著減少流感相關醫療就診次數，可能協助美國減少數百萬次就醫；另一方面，更高的預測保護分數也能讓全球有症狀感染病



例下降，進一步降低整體社會疾病負擔。提升抗原匹配度、精準預測流行病毒株，有助減少大量醫療利用、急診壅塞與重症病例。

以上內容將在 2026 年 3 月 18 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