



星球永續健康線上直播

AI 藥物研發產業 (9)

人工智慧個人化精準抗過敏疫苗

2026 年 3 月 25 日

如同資安防火牆般失衡或遭到突破造成混亂與損失一般，嚴重過敏反應即為免疫系失衡對人體造成廣泛系統影響之結果。當外來過敏原如同入侵者進入體內，便可能引發過度且失衡免疫反應，產生涉及廣泛系統之過敏症狀。隨著人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 的快速發展，數位科技已可應用於過敏原辨識、免疫反應預測與疫苗設計，推動個人化、精準且具長期免疫調節效果的治療策略。本週我們將聚焦於智慧抗過敏疫苗的設計原理及其臨床精準應用，透過跨領域整合，期望為過敏性疾病的預防與治療開創嶄新的發展方向。

健康科學新知

伊朗軍事行動轉為能源戰爭：「能源為刃」

中東衝突快速升級，戰場已由軍事對抗轉向能源與航運控制，升高為牽動全球能源、航運與外交局勢的重大危機。以色列攻擊伊朗南帕爾斯氣田，美國又打擊哈格島相關設施，顯示戰火已直接觸及伊朗能源命脈。伊朗則以攻擊阿聯富查伊拉石油出口區、杜拜周邊燃料設施及威脅波斯灣多國能源目標作為回應，使區域能源基礎設施全面暴露於戰爭風險之下。由於荷莫茲海峽接近封閉，全球約五分之一石油運輸受影響，油價與天然氣價格大幅上升，市場對供應中斷的疑慮迅速升高，並進一步擴散至交通、民生與國際經濟層面。面對航運危機，川普主張籌組多國海軍聯盟重啟荷莫茲海峽，但多數歐洲與亞洲國家態度保留，擔憂被更深捲入戰爭。歐盟明確表示無意擴大軍事介入，德國、英國、法國、日本、澳洲等國也未承諾派遣軍艦。專家指出，荷莫茲海峽地形狹窄、靠近伊朗海岸，且充滿飛彈、無人機與水雷等威脅，多國聯合護航在軍事整合與實務執行上都極為困難。因此，部分國家開始改採與伊朗直接協商的方式，爭取本國船隻有限度通行。



整體局勢顯示，這場戰爭的影響早已超出軍事範圍，逐步演變為結合能源安全、海上供應鏈、國際市場波動與多邊外交壓力的系統性危機。未來發展不僅取決於戰場攻防，也取決於各國能否在軍事升高與外交斡旋之間尋找平衡空間。

全球能源脆弱性與通膨風險：「通膨再臨」

中東戰事升高引發全球能源供應危機，荷莫茲海峽受阻使油氣運輸大幅中斷，推升通膨風險。伊朗戰爭已引發全球重大能源供應衝擊，核心在於荷莫茲海峽受阻，使約 15% 的石油與大量液化天然氣運輸中斷，進一步推升能源與相關商品價格，並擴散至糧食與工業供應鏈。中東伊朗戰爭已引發當代最嚴重的能源供應衝擊之一，顯示過去認為大型石油危機已不再出現的觀點，已被現實情勢推翻。此次衝擊核心來自荷莫茲海峽，其戰略地位使全球能源流動高度依賴該通道。伊朗飛彈攻擊使約 15% 的全球石油供應受阻，此規模約為 1970 年代石油危機的兩倍，即使全球經濟的能源密集度已較當時下降一半，仍難以完全抵銷衝擊。國際能源署雖釋出緊急儲備石油約 4 億桶，但此措施僅具短期效果，且受限於運輸與分配瓶頸，未能有效穩定價格。除此之外，約五分之一的液化天然氣運輸同樣中斷，並進一步推升肥料、硫磺及氦氣等相關商品價格，連帶影響糧食供應、金屬冶煉與半導體產業，國際貨幣基金已呼籲各國為極端情境預作準備。在價格與市場反應方面，儘管能源供應遭遇重大限制，油價上升幅度初期仍相對有限，僅較戰前高出約每桶 25 美元，部分原因來自市場對戰事可能迅速結束的預期。然而隨時間推移，若供應無法恢復，市場將面臨供需重新平衡的困難。若海峽持續封鎖至月底，部分分析認為油價可能升至每桶 150 至 200 美元，此將重現 1970 年代停滯性通膨情境，即經濟衰退與高通膨並存。即使在較溫和情境下，能源運輸持續受干擾，全球經濟仍將承受顯著壓力。

不同地區之影響呈現高度不均。美國由於近年頁岩油發展，已轉為淨能源出口國，加上經濟結構能源依賴度下降，使其在能源價格上升時部分產業反而受益。金融市場亦反映此特性，美國股市僅小幅下跌，長期公債殖利率雖上升但未突破近期高點。然而，能源價格上漲仍對消費端造成壓力，汽油價格隨油價變動高度敏感，戰爭爆發後已上漲



近兩成，可能壓縮其他消費支出，影響內需。聯準會在通膨仍高於目標情況下，政策空間受限，市場對未來降息預期亦有所調整，利率預期上升進一步推升公債殖利率。歐洲則面臨更高的通膨風險。為降低對俄羅斯天然氣依賴，歐洲近年轉向液化天然氣，使其在全球供應受阻時特別脆弱。戰爭引發液化天然氣現貨市場競價，價格一度上漲超過七成。雖然短期內重現 2022 年能源危機的極端價格可能性不高，但能源價格上升仍將傳導至整體物價。更重要的是，在經歷多年高通膨後，民眾對未來通膨的預期已較為敏感，使能源價格變動更容易轉化為持續性通膨壓力。金融市場已由原先預期降息轉為預期升息，歐洲央行可能面臨在抑制通膨與支持經濟之間的政策困境。

亞洲經濟體則為此次衝擊中最脆弱的區域。該地區高度依賴進口能源，尤其來自波斯灣的供應。2025 年約 87% 的經過荷莫茲海峽的原油及 86% 的液化天然氣流向亞洲，使其暴露於供應中斷的高度風險。中國雖具備較高戰略儲備並可透過價格管制減輕民眾負擔，但其他國家如日本與南韓能源進口依賴度極高，長期價格上升將顯著增加進口成本。能源價格上升亦對貨幣造成貶值壓力，南韓韓元已接近金融危機以來低點，政府需採取市場穩定措施。較低所得亞洲國家面臨更嚴峻挑戰。能源價格上漲將迅速擴大經常帳赤字，並削弱貨幣價值，進一步提高進口成本。印度與泰國的能源進口支出占 GDP 比例較高，油價上升將明顯惡化其外部平衡。此外，中東地區經濟受損將減少外籍勞工匯款，對南亞國家形成額外衝擊。聯合國亦警告，能源與運輸成本上升可能推升糧食價格。為減緩衝擊，多數政府透過補貼或價格管制壓抑燃料價格，但此舉將財政負擔轉移至政府，對財政脆弱國家構成壓力，甚至可能出現能源短缺與配給情形。

中東產油國本身亦難以倖免。儘管多數國家具備龐大石油收入累積的財政緩衝，但戰爭直接破壞其能源基礎設施，並阻斷出口通道，使大量石油滯留，迫使企業減產，導致收入大幅流失。若封鎖持續至四月且產能恢復需時，沙烏地阿拉伯與阿聯的年度石油產出可能下降 12 至 16%，其他國家降幅甚至更高。除此之外，金屬與化工產業亦因供應鏈中斷而停工，觀光業同樣受到重創，進一步削弱稅收與經濟活動。部分國家 GDP 可能出現雙位數衰退。



地緣衝突影響航空產業：「航網重構」

中東戰事已對全球航空與旅遊市場產生多層面衝擊。燃油價格因石油供應受影響而大幅上升，使航空公司成本增加，機票價格上調趨勢逐漸明確。短期內業者仍可透過燃油避險減緩壓力，但隨時間推移，成本將更直接轉嫁至旅客。同時，空域關閉與安全風險導致航班大規模取消、改道與延誤，甚至出現往返卻未抵達目的地的異常航班，顯示全球航網運作已受到明顯干擾。在市場結構方面，中東旅遊需求快速萎縮，旅客轉向歐洲等較穩定地區，使歐洲短期內受益，但也帶來觀光承載與管理壓力。部分歐洲航空公司藉此機會調整航線並重新爭取國際轉運市場，同時旅遊行為出現轉向區域內旅遊的趨勢。航空公司亦透過調整會員制度以維持顧客關係，反映需求不穩定下的應變策略。在政策層面，航空業者與監管機構對永續航空燃料規範產生分歧，呈現產業成本壓力與能源轉型目標之間的拉鋸。整體而言，此次戰事不僅影響短期營運，更正在重塑全球航空與旅遊市場的結構與流動模式。

美中角力與亞洲盟友壓力交織：「權力交錯」

中東戰事升溫，使美中日關係同步承壓，經貿、能源與安全議題交織升高地緣政治緊張。伊朗軍事衝突荷莫茲海峽安全成為牽動美中日互動的核心議題。美中高層雖已在巴黎完成經濟會談，並在航空、能源、農業及關鍵礦物等議題上展現一定合作空間，但原訂於3月31日至4月2日舉行的川習會，因戰事與能源危機而出現延後可能。川普一方面希望透過北京峰會推進經貿成果，另一方面又要求中國協助重新開放荷莫茲海峽，使安全議題迅速凌駕原本的經濟協商安排。中國對美方要求態度審慎，並未明確承諾配合。原因在於中國本身較具承受能源衝擊的能力，也與伊朗維持重要能源與戰略關係，因此缺乏直接支持美方行動的誘因。北京較可能採取觀望與保留彈性的策略，一面維持與美方談判，一面避免被捲入對伊朗不利的軍事框架。日本則成為美方施壓盟友政策下的重要受壓方。由於日本約95%的石油仰賴經由荷莫茲海峽輸入，能源安全風險極高，但同時又受到和平憲法與國內反戰民意限制，難以直接提供軍事支援。高市早苗與川普會談時，雖表達願意就區域穩定與航道安全作出適當努力，但仍避免承諾派遣自衛隊艦



艇，顯示東京正試圖在回應美國、遵守制度限制與維持國內支持之間取得平衡。在更大範圍的戰略層面，伊朗戰事已使美中競爭、美日同盟與日歐合作同時出現新變化。美國需兼顧中東戰事、對中談判與盟友協調；中國希望維持中東與能源布局的操作空間；日本則在對美依賴仍高的情況下，更加體認到深化與歐洲合作的重要性。整體局勢顯示，中東衝突的外溢效應正快速重塑東亞安全、全球能源秩序與主要國家之間的外交互動。

氣候衝擊威脅非洲抗瘧成效：「風險重構」

最新研究指出，氣候變遷正透過極端氣候事件削弱非洲瘧疾防治成效。預估至 2050 年將新增約 1.23 億病例、逾 50 萬死亡，其中近八成源於醫療與基礎設施受衝擊，而非蚊媒擴散。氣候變遷對非洲瘧疾控制的影響，指出主要威脅並非來自氣溫的漸進上升，而是極端氣候事件對公共衛生體系所造成的衝擊。過去數十年，學界多聚焦於氣溫與降雨如何影響按蚊屬蚊媒生存及惡性瘧原蟲在蚊體內的發育，藉此推估瘧疾傳播範圍的變化，但研究結果常不一致，且偏重疾病是否擴散至新地區，較少評估既有高風險區的疾病負擔是否加劇。近期研究則將氣候變遷置於社會與公衛體系的實際脈絡中，重新檢視瘧疾風險的形成機制。該研究整合非洲 25 年的瘧疾資料，結合蚊媒生態、居住條件、防治措施（蚊帳發放與抗瘧藥物）及社會經濟因素，模擬至 21 世紀中葉的可能情境，並特別區分兩種風險途徑：其一為環境條件的漸進改變，如氣溫與降雨模式變動；其二為氣候衝擊事件，如洪水與熱帶氣旋等極端天氣，後者會破壞住宅、干擾醫療服務並削弱防治措施，對疾病控制造成即時且顯著的影響。結果顯示，若僅考慮氣候對生態條件的影響，至本世紀中葉非洲整體瘧疾傳播的淨變化有限—南部非洲與東非高地因增溫而更適合傳播，但薩赫爾半乾旱區因條件超出蚊媒適存範圍而風險下降，兩者在大陸尺度上大致抵銷。然而，一旦納入極端氣候事件，情勢顯著改變：在維持現有氣候減緩措施的情境下，2024 至 2050 年間可能額外增加約 1.23 億例瘧疾病例與逾 50 萬例死亡，其中近八成源自氣候衝擊對防治系統的干擾，而非蚊媒棲地的變化。新增疾病負擔主要集中於原本即為高風險且人口密集的地區，如奈及利亞南部與非洲五大湖區域，顯示氣候變遷的影響更常表現為既有流行區的強化與波動。該研究同時呈現正反兩面意涵：過去



透過蚊帳、藥物治療、居住改善及醫療可近性提升所達成的防治成果，證明持續投入的有效性；但這些成果高度依賴穩定的社會與醫療體系，遭遇氣候衝擊時可能迅速倒退，反映出貧窮、基礎設施脆弱及醫療承載能力不足等結構性問題。在方法上，該研究突破僅依賴蚊媒與病原生物學的傳統模型，納入生活條件與介入措施以貼近實際情境，但仍存在限制，包括極端氣候對醫療可近性與居住環境的量化證據有限、模型假設社會經濟發展維持不變等，故屬情境分析而非預測。儘管如此，研究對公衛策略提供明確啟示：若氣候變遷主要透過破壞醫療體系增加疾病風險，則調適措施應超越蚊媒控制本身，轉向強化系統韌性，例如建立可於災害期間持續運作的基層醫療網絡、分散式藥物供應體系及具防災設計的醫療設施與早期預警系統。此研究亦提供一種更廣泛的分析框架，說明氣候變遷對傳染病的影響取決於環境變化、極端事件與社會脆弱性的交互作用，維持健康成果的關鍵在於確保疾病控制體系於壓力情境下仍能穩定運作。

寶可夢 30 週年科學與社會貢獻：「虛實交融」

迎接寶可夢問世 30 週年，科學界回顧其對研究與教育的深遠影響。從田尻智童年昆蟲採集的靈感出發，寶可夢不僅成為全球文化現象，也啟發分類學、生態學與古生物學等領域。研究者指出，「全部捕捉」與物種分類高度契合，甚至影響新物種命名與博物館展示。同時，寶可夢亦被轉化為教學工具，提升兒童對生態系理解。此外，其角色亦被用於揭露掠奪性期刊問題，展現科學傳播的新途徑。

AI 協助改進學術同儕審查：「審查進化」

面對學術審查品質不一的問題，研究團隊開發「AI Review Feedback Agent」，透過多模型協作提升評論品質。在 ICLR 2025 的大規模實驗中，約四分之一審查者依 AI 建議修訂意見，使評論更具體且增加篇幅。專家評估顯示多數修訂版本更清晰且具建設性，並促進作者與審查者間更深入互動。然而，研究亦指出 AI 未改變論文接受率，顯示其影響主要在表達層面，對實質審查判斷仍有限。

AI 能否勝任科學研究：「秩序重塑」

隨著 AI 逐步應用於科學研究，如何評估其能力成為關鍵議題。目前包括 HLE、



FrontierScience、SDE 與 LABBench2 等多種測試工具，分別從知識、推理與研究流程進行評估。結果顯示，AI 在標準題表現良好，但在複雜研究任務與多步驟推理上仍有明顯限制。學者指出，單一測試難以全面反映科學能力，未來需建立多元評估架構，以更精準引導 AI 技術發展方向。

共生菌降低花生過敏反應：「菌護免疫」

最新研究指出，人體共生菌可能在降低花生過敏反應中扮演關鍵角色。科學家發現唾液與腸道中的 Rothia 與 Staphylococcus 菌可分解花生過敏原，並在小鼠實驗中顯著減輕過敏性休克。進一步分析顯示，對花生耐受度較高的人，其體內相關細菌數量亦較多。研究團隊認為，未來可透過調控微生物組發展新療法，為食物過敏提供潛在治療方向。

智慧抗過敏疫苗設計

電影《致命防火牆》(Firewall, 2006) 片中主角 Jack 為西雅圖大型銀行的資訊安全主管，負責維護銀行資訊系統的完整性與安全性，並為組織中高度信任的核心人物。他與妻子及兩名子女過著穩定的家庭生活，具備良好的專業能力與嚴謹的道德標準。在工作上，Jack 的主要職責為監控系統是否遭受入侵，包括檢測異常連線、潛在攻擊與資安威脅，以確保銀行客戶資產與資料安全。其所負責的防火牆系統具高度防護能力，使銀行成為難以被攻破的目標。為取得銀行的數位資產，犯罪集團事先設計縝密的入侵計畫。他們先在 Jack 名下偽造一筆九萬五千美元的賭債，製造其涉及不當行為的假象，藉此引導其主動通報並進入調查情境。隨後，對方假借協助解決問題之名與 Jack 接觸，實際上則同步展開行動，控制其家人作為威脅手段。在關鍵會面後，Jack 遭到脅迫，被迫利用其專業能力協助入侵銀行系統，從原本的資安防護者轉變為被操控的工具，進而捲入一場以資訊安全為核心的金融犯罪行動。犯罪集團之所以選擇脅迫 Jack 的家人，關鍵在於掌握其個人弱點。儘管 Jack 具備高度的專業能力與道德標準，但其家庭關係緊密，成為對方施壓的主要切入點。透過控制其家人，迫使他配合進行銀行系統入侵行動。在過程中，Jack 說明銀行的資訊系統以防護為主，實際的資金轉帳需透過更高層級的金融系統完成。然而，犯罪集團仍要求他利用專業能力設計可行方案，其核心目標為自大



量帳戶中分散轉出小額資金，每戶一萬美元，累積達一億美元，以規避系統即時偵測機制。同時，犯罪集團對 Jack 進行全面監控，包括在其住家與個人設備中部署監視與監控機制，使其行動與通訊皆受到限制，難以對外求援。儘管 Jack 嘗試在工作場域中釋出求救訊號，但在高度監控之下難以奏效。進一步地，對方掌握其家庭成員的健康弱點。Jack 的兒子對花生具有嚴重過敏，屬於可能引發急性過敏性休克的高風險狀態。犯罪集團刻意誘導其攝入含花生成分的食物，並同時取走其隨身急救用的腎上腺素注射筆（EpiPen），導致其出現呼吸困難並迅速惡化。透過此極端手段，直接削弱 Jack 的心理防線，迫使其放棄抵抗並配合行動。在此情境下，Jack 必須在專業倫理、個人信念與家人安全之間做出抉擇，形成劇情發展的核心衝突。

過敏性休克的致病機轉明確。當人體首次接觸原本無害的蛋白質（如花生、塵蟎或動物皮屑等致敏原）時，免疫系統可能產生免疫球蛋白 E（IgE）。IgE 原本的生理功能是用於對抗寄生蟲感染，但在過敏體質中，卻會對這些無害抗原產生過度反應。這些 IgE 會結合於肥大細胞表面的受體上，使免疫系統處於異常致敏狀態。當相同致敏原再次進入體內時，會與這些 IgE 結合，進而活化肥大細胞，促使其大量釋放組織胺等發炎介質。組織胺的釋放會引發一連串過敏反應，包括咳嗽、蕁麻疹、氣管收縮，嚴重時可導致全身性過敏反應，即過敏性休克。此反應的強度與體內 IgE 的數量及其活化程度密切相關，當 IgE 過多或反應過強時，將顯著增加嚴重過敏的風險。因此，當前的免疫治療策略之一，是透過疫苗或相關生物製劑，調節 IgE 的生成或阻斷其與免疫細胞的結合，以降低肥大細胞活化與組織胺釋放，進而預防或減輕過敏性休克的發生。

IgE 與肥大細胞表面受體的結合，是引發過敏反應的關鍵機制。可將此過程類比為「插頭與插座」：肥大細胞上的受體如同插座，而 IgE 則如插頭；當兩者結合後，即可啟動過敏反應的訊號傳遞。若能阻斷此結合，便可有效抑制過敏反應的發生。現行的抗 IgE 單株抗體療法（如 Omalizumab），即透過結合游離 IgE，防止其與受體結合，進而降低肥大細胞的活化與後續發炎反應。然而，此類治療仍面臨多項臨床挑戰。首先，治療成本高，限制了臨床可近性與整體健康經濟效益；其次，需每 2 至 4 週重複施打，影



響患者依從性；此外，其適用族群仍以嚴重氣喘或慢性蕁麻疹患者為主，受眾範圍有限。更重要的是，當體內游離 IgE 水平過高時，即使使用單株抗體進行中和，仍可能不足以完全抑制過敏反應。因此，如何發展能夠長期調控 IgE 反應、兼具療效與可近性的創新策略，已成為當前過敏免疫治療的重要挑戰。

為克服現行抗 IgE 治療的限制，近期發展出新一代抗過敏疫苗設計策略，其中代表性技術為 IgE-K 疫苗。此疫苗的設計核心在於，在保留 IgE 關鍵結構辨識區域（如 C ϵ 3 區域）以維持免疫辨識能力的同時，透過引入特定突變（如 G335C），形成雙硫鍵以穩定結構並鎖定其構形，藉此降低疫苗本身誘發過敏反應的風險。進一步地，該設計將修飾後的 IgE 結構結合高免疫原性的載體蛋白（如白喉毒素突變體 CRM197），以提升免疫系統對該抗原的辨識與反應能力，突破自體免疫耐受的 limit。最終形成的 IgE-K 疫苗，兼具結構穩定性與高免疫原性，可有效誘導抗 IgE 抗體生成，進而降低體內 IgE 活性，抑制過敏反應的發生。

IgE-K 疫苗所誘導產生的抗體具有較大的分子結構，其關鍵作用在於產生「空間阻礙」效果。此機制可有效干擾游離 IgE 與肥大細胞表面 Fc ϵ RI 受體的結合。在過敏反應中，若體內游離 IgE 濃度過高，仍可能與受體結合並啟動過敏反應。然而，當疫苗誘導產生之抗體佔據關鍵空間位置時，會在物理上阻擋 IgE 接近並結合受體，等同於改變其結合能力，使其無法完成「插頭與插座」的結合過程。此種策略不同於傳統單株抗體僅透過中和游離 IgE，而是透過結構設計與空間遮蔽，從源頭干擾 IgE 的功能。此一概念亦結合了現代結構生物學與人工智慧輔助設計，使抗體在維持辨識能力的同時，具備更有效的阻斷效果。最終，藉由降低 IgE 與受體的結合機會，可減少肥大細胞活化與組織胺釋放，進而抑制過敏反應，達到長期免疫調控的治療目標。

儘管 IgE-K 疫苗展現出良好的免疫調控潛力，其安全性仍面臨重要挑戰。首先，必須避免疫苗所誘導的抗體與已結合於免疫細胞表面的 IgE 發生交叉結合。若產生此類雙重結合（dual-binding）機轉，可能反而活化肥大細胞，誘發嚴重過敏反應，帶來潛在風險。在過敏體質中，IgE 常已預先結合於肥大細胞表面；當再次暴露於致敏原時，便可



能觸發強烈免疫反應。因此，疫苗設計的關鍵在於確保所誘導的抗體僅能辨識並結合「游離 IgE」，而不會與細胞表面的 IgE 產生交叉反應。此外，IgE 在人體中仍具有對抗寄生蟲感染的生理功能。若長期過度降低 IgE 水平，可能影響宿主的免疫防禦能力。因此，如何在抑制過敏反應與維持正常免疫功能之間取得平衡，是另一項重要課題。基於上述挑戰，次世代精準疫苗設計正結合基因工程與結構優化策略，目標在於精準調控 IgE 作用，使抗體專一性結合游離 IgE，並避免與細胞表面 IgE 的交互作用。同時，透過結構與空間設計，降低過度抑制 IgE 所帶來的風險。

在臨床應用方面，實驗性抗 IgE 疫苗可與現行單株抗體療法進行對照理解。現有的 Omalizumab 屬於被動免疫治療，需定期注射外源性單株抗體以維持療效；相較之下，抗 IgE 疫苗則屬於主動免疫策略，目標在於誘導人體自行產生具專一性的抗 IgE 抗體。此類疫苗未來的臨床應用潛力，不僅限於食物過敏，也可能延伸至氣喘及其他 IgE 相關過敏性疾病，作為預防嚴重過敏反應的前瞻性治療策略。其優勢在於，若能成功誘發穩定且持久的保護性抗體反應，理論上可降低反覆注射的需求，提升治療便利性與長期依從性。相較於目前每 2 至 4 週需重複施打的單株抗體療法，實驗性抗 IgE 疫苗有望以較低施打頻率維持較長時間的免疫保護，甚至可能延長至一年。然而，這項技術目前仍處於臨床前試驗階段，後續仍須透過嚴謹的人體臨床試驗，進一步驗證其安全性、有效性與適用族群。

精準抗過敏疫苗應用

IgE-K 疫苗的核心設計在於誘導可中和游離 IgE 的抗體。IgE 是即時型過敏反應的關鍵分子，當其與肥大細胞表面的 $Fc\epsilon RI$ 結合後，遇到過敏原會引發交聯反應，導致去顆粒與發炎介質釋放。IgE-K 接種後可產生類似 omalizumab 的中和抗體，優先結合游離 IgE，阻止其與受體結合，從源頭降低過敏反應。此外，疫苗透過構形工程設計，使抗體能辨識 IgE 的 $C\epsilon 3-4$ 區段，同時避免與 $Fc\epsilon RI$ 不當互動。動物實驗顯示，IgE-K 可降低肥大細胞活化與 MCPT6 濃度，並減少低體溫等過敏反應。整體而言，此策略在過敏反應發生前即進行抑制，具有長效預防潛力。研究進一步從結構層面優化疫



苗安全性。研究團隊發現，IgE 的 $C\epsilon 3$ 區域在開放構形時容易暴露 $Fc\epsilon RI$ 結合位點，可能引發過敏反應；因此，IgE-K 透過 G335C 突變重新配置雙硫鍵，將抗原穩定鎖定於不易與受體結合的閉合構形。此構形控制策略，使疫苗在保留關鍵表位、可誘導類 omalizumab 中和抗體的同時，大幅降低與 $Fc\epsilon RI$ 互動的風險。換言之，IgE-K 不僅在功能上抑制過敏反應的上游來源，也在結構上避免自身成為過敏觸發因子，實現免疫效果與安全性的雙重平衡。在完成疫苗結構與作用機制的設計後，研究進一步面臨關鍵問題：如何在動物體內準確評估 IgE-K 對人類 IgE 的中和效果。由於一般小鼠的 IgE 與 $Fc\epsilon RI$ 與人類差異顯著，無法真實重現人類過敏反應，因此研究團隊建立人類化小鼠模型作為測試平台。透過基因敲入 (hIgEKI)，使小鼠產生具有人類常數區的 IgE；同時藉由基因轉殖 (h $Fc\epsilon RITg$)，讓小鼠表現人類高親和力 IgE 受體 $Fc\epsilon RI$ 。配體—受體雙人類化設計，使體內 IgE 與受體能以人類機制互動，從而能在活體中驗證 IgE-K 是否可誘發中和抗體、阻斷 IgE - $Fc\epsilon RI$ 結合，並最終降低過敏反應，提升研究結果的臨床轉譯價值。

在建立人類化小鼠模型後，研究進一步驗證 IgE-K 是否具備實際保護效果。結果顯示，在模擬抗原再暴露與直接交聯 IgE 兩種全身性過敏模型中，IgE-K 均能顯著抑制過敏反應。與對照組相比，接種 IgE-K 的小鼠幾乎不出現明顯低體溫變化，且血清中反映肥大細胞活化的 MCPT6 濃度大幅下降，顯示去顆粒反應得到有效抑制。更關鍵的是，在高敏感的嚴重過敏模型中，IgE-K 組維持 100% 存活率，而對照組則出現高度死亡率。整體結果證實，IgE-K 不僅能誘發抗體反應，更能在體內功能性阻斷 IgE - $Fc\epsilon RI$ 訊號，達到預防致命性過敏反應的效果。以巨觀與微觀證據指出，IgE-K 抗過敏疫苗可有效抑制過敏反應造成的血管滲漏。以 Evans Blue 染劑外滲觀察，對照組出現明顯微血管通透性增加；施打抗過敏疫苗後，皮膚可維持較完整、外滲顯著下降。顯微影像也顯示對照組有嚴重滲水腫，而 IgE-K 組血管壁較完整清晰。在致敏抗體施打後，IgE-K 組的血管滲漏訊號較低、肥大細胞活化比例下降（數值越高代表通透性越高），顯示其可降低血管通透性上升，並有助預防皮膚型過敏反應與休克風險。IgE-K 具有良好安



全性與長期保護效果。在誘發抗體的安全性測試中，施打後體溫變化與對照組相同；而在過敏原挑戰（如 25 μ g、100 μ g）時，抗過敏疫苗組體溫下降幅度較小，代表過敏反應被抑制。血清中的抗體可直接抑制過敏反應。長期追蹤結果顯示，IgE-K 能誘發中和抗體、降低循環 IgE 濃度，並在第 52 週的保護測試中仍維持明顯保護力，證實可提供長期過敏防護。

IgE-K 雖能持續降低循環中的 IgE 濃度，但並不會削弱宿主對寄生蟲的防禦。以腸道組織影像與數據比較，IgE-K 組在黏膜寄生蟲免疫反應濃度、以及糞便寄生蟲 DNA 反應量等指標上，並未出現寄生蟲清除能力下降效應，顯示 IgE-K 可在控制過敏相關 IgE 的同時，維持小鼠對寄生蟲的抵抗力與防禦能力。IgE-K 的三大優勢：第一是精準設計：透過 G335C 點突變，將 C ϵ 3-4 結構域鎖定於閉合構形，確保抗原安全性並精準暴露標靶表位。第二是高效製備：結合 CRM197 載體蛋白與佐劑，藉由化學共軛技術提升製程可行性，並能有效抑制 IgE 誘導的過敏反應。第三是長期保護：單一療程即可誘導高親和力中和反應，提供食物過敏與慢性蕁麻疹等情境的長效治療潛力。

以上內容將在 2026 年 3 月 25 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