星球永續健康線上直播

腸泌素健康應用 (3)

個人化腸泌素代謝調控療法

2026 年 10 月 21 日

類升糖素胜肽-1（Glucagon-like Peptide-1, GLP-1）相關藥物腸泌素療法成為糖尿病血糖控制與肥胖治療的重要策略。臨床研究與實務經驗顯示，即使接受相同的藥物治療，不同個體在血糖改善、體重減輕及藥物耐受性方面，仍可能呈現明顯差異。究竟哪些因素會影響腸泌素療法的治療反應？又該如何根據個人的生理特徵、代謝狀態及臨床條件，制定更精準且有效的治療策略，已成為個人化代謝醫療的重要研究課題。本週我們將探討個人化腸泌素代謝調控療法、精準代謝調控策略，以及個人化腸泌素療法臨床預測設計。

健康科學新知

中東海峽阻滯 愛爾蘭鋁供俄:「暗潮洶湧」

戰爭、能源與國際制裁相互牽動，影響全球供應鏈與經濟安全。儘管波斯灣原油與成品油出口逐漸恢復，9 月平均已回升至每日約 1,700 萬桶，接近戰前的 2,100 萬桶，但伊朗出口量仍僅約 20 萬桶，不到戰前的十分之一。布蘭特原油價格仍維持在每桶約 100 美元，較 6 月上漲約 40%。主要原因包括波灣石油供應仍低於戰前水準、中國恢復大量採購原油、美國可能限制柴油出口，以及荷莫茲海峽持續面臨軍事衝突風險。雖然石油出口量已從 3 月至 5 月每日約 900 萬桶的低點逐步回升，但能源供應與航運安全仍存在高度不確定性。另一方面，歐洲的能源與原物料供應鏈也面臨制裁爭議。愛爾蘭西部的奧金尼什氧化鋁廠（Aughinish Alumina）由俄羅斯鋁業集團（Rusal）持有，其產品銷往俄羅斯的比例，從 2021 年的 24%增加至 2025 年的 68%。這些氧化鋁經俄羅斯冶煉後供應超過 100 家俄國國防企業，用於飛彈、戰車及轟炸機等軍事設備。儘管該廠尚未受到歐盟制裁，部分成員國已主張將其納入新一輪制裁名單。由於歐洲仍有其他氧化鋁供應來源，相關制裁對歐洲鋁業的影響可能相對有限。這兩項事件反映戰爭期間的

能源與原物料供應鏈，不僅受到市場供需影響，更與地緣政治、軍事安全及國際制裁密切相關。 即使石油出口逐漸恢復，荷莫茲海峽的安全風險仍未解除；而歐洲如何在維持產業供應與限制俄羅斯軍工資源之間取得平衡，也將持續考驗國際制裁政策的有效性。

中國燃油吃緊全球燃氣荒:「青黃不接」

全球能源市場面臨石油與天然氣供應的雙重危機，受到伊朗戰爭及荷莫茲海峽運輸受阻影響，中國雖然透過原油儲備降低進口依賴，卻因國內燃料供應緊張，自 10 月 1 日起凍結燃料出口許可，預估 10 月出口量將減少 40%。中國國有石油企業為符合出口資格而大量囤積燃料，並向民營煉油廠搶購成品油，導致國內庫存下降及國際油價上漲。布蘭特原油價格重新逼近每桶 100 美元，中國燃料庫存自戰爭爆發以來已減少約 6,500 萬桶。面對原油進口成本上升與國內供應不足，中國必須在提高油價、增加財政補貼及動用戰略儲備之間取得平衡，而出口限制也進一步加劇全球燃料供應壓力。另一方面，全球液化天然氣（LNG）市場同樣面臨嚴重短缺。伊朗封鎖荷莫茲海峽後，卡達宣布無法履行部分 LNG 供應合約，造成約 3,900 萬噸供應缺口，相當於去年全球供應量的 9%。亞洲 LNG 價格上漲至每百萬英熱單位約 25 美元，較戰前增加 140%。歐洲則因亞洲買家競爭船貨，天然氣儲備率僅 73%，德國更降至 59%，明顯低於往年同期水準。若冬季提早降溫，加上卡達供應未能及時恢復，歐洲可能面臨更嚴重的能源短缺，天然氣價格甚至可能攀升至每百萬英熱單位 30 至 40 美元。這兩項能源危機反映出，各國為確保短期能源安全而採取的囤積、搶購及出口限制措施，反而可能加劇全球供需失衡與價格波動。 值得注意的是，儘管目前 LNG 供應緊張，全球液化天然氣產能仍持續擴張，預估 2030 年供應量可能增加至 6.3 億噸，較去年成長近 60%。若卡達恢復生產且各國新產能陸續投入，2030 年後全球 LNG 市場可能由短缺轉為供過於求，形成短期能源危機與長期產能過剩並存的矛盾局面，也凸顯全球能源政策與供應鏈管理面臨的挑戰。

美國醫療費飆漲 衝擊期中選舉:「腹背受敵」

美國醫療費用持續上漲，已成為共和黨在 2026 年 11 月期中選舉面臨的重要政治挑戰，其對民眾以及選情影響甚至可能超過汽油、食品及住房價格上漲。根據 KFF 於 2026

年 7 月的調查，美國民眾對醫療費用的焦慮已超過其他生活開支；蓋洛普調查也顯示，61%的美國人高度擔憂醫療服務的可近性與負擔能力。除了共和黨削減《平價醫療法案》（ACA）補助及 Medicaid 醫療補助外，新型肥胖症與癌症治療費用高昂，以及醫療體系整體成本上升，也加重家庭負擔。預估 2027 年雇主提供的健康保險費用將再上漲 8%，使醫療支出成為影響選民投票意向的重要因素。民主黨已將醫療保障作為期中選舉的核心議題，自 2026 年初以來，在競爭激烈的國會選區投入約 9,300 萬美元醫療議題廣告，強調共和黨削減醫療福利及增加民眾負擔的政治責任。共和黨則主張削減 Medicaid 支出是為了減少詐欺與浪費，並以降低藥價及提供部分保險購買者 500 美元退款等措施回應。然而，民意調查顯示，60%的受訪者在醫療議題上更信任民主黨，56%的搖擺選區選民也更擔心醫療保障遭到削減，而非補助制度中的詐欺問題，顯示醫療政策正成為共和黨的重要選舉壓力。民主黨內部對長期醫療改革仍存在分歧，黨內進步派主張推動全民醫療保險（Medicare for All）由政府建立單一支付者制度。溫和派則傾向恢復由歐巴馬所提出的全民醫療補助(ACA)，透過漸進式改革維持現有保障。美國醫療費用已不只是美國家庭的經濟負擔，更成為左右選舉結果的重要政治議題。共和黨必須面對醫療成本上升與福利削減引發的不滿，而民主黨則希望將選民對醫療負擔的焦慮轉化為期中選舉支持，至於更全面的醫療制度改革，仍有待全面規劃。

諾貝爾科學獎三大突破:「格物致知」

2026 年諾貝爾物理學獎頒給美國威斯康辛大學麥迪遜分校物理學家法蘭西斯・哈爾岑（Francis Halzen），表彰他對「冰立方微中子觀測站」（IceCube Neutrino Observatory）的關鍵貢獻。他也是自 1992 年以來首位獨得諾貝爾物理學獎的科學家。冰立方計畫集結 14 個國家、約 450 名研究人員，利用南極約 1 立方公里的冰層建造巨型粒子偵測器，捕捉極難與物質發生作用的高能微中子。該觀測站於 2011 年完工，隨後成功偵測到 28 顆高能宇宙微中子，為追溯宇宙高能粒子的來源開啟全新研究途徑，也展現大型國際科學合作的重要性。諾貝爾生理學或醫學獎則頒給卡爾・戴瑟羅斯（Karl Deisseroth）、彼得・赫格曼（Peter Hegemann）及格奧爾格・納格爾（Georg Nagel），表彰他們奠定「光

遺傳學」（Optogenetics）的研究基礎。研究人員從單細胞衣藻的感光機制出發，發現能受到光線控制的離子通道蛋白，進而將相關基因導入神經元，使科學家能透過光線精確啟動特定神經細胞，甚至控制實驗動物的行為。這項技術已廣泛應用於憂鬱症、思覺失調症、失智症及成癮等神經疾病研究，並逐步延伸至視力恢復的臨床探索。不過，部分早期研究先驅未獲獎，也引發科學貢獻歸屬的討論。諾貝爾化學獎則頒給 Henri Kagan 與 Kenso Soai，表彰他們在分子「掌性」（Chirality）與不對稱性放大機制上的突破。生命中的胺基酸與糖類通常偏好特定的左右手分子結構，但這種高度選擇性如何形成，一直是生命起源研究的重要謎題。Kagan 證明化學反應能放大原有的掌性差異，Soai 則進一步發現，即使起始分子只有極微小的不對稱性，也能透過自我催化反應迅速放大，重複 3 次反應後，不對稱程度可增加 63 萬倍。

鏡像生命生物安全挑戰:「防微杜漸」

合成生物學與人工細胞技術快速發展，科學家正逐漸接近創造「鏡像生命」（Mirror Life）的可能性。所有已知生命的蛋白質主要使用 L 型胺基酸，DNA 與 RNA 多以 D 型醣分子結構，而鏡像生命試圖將這些分子結構反轉，建立能夠自行代謝、生長與繁殖的生命系統。雖然目前尚未成功製造完整的鏡像生物，但相關技術進展已引發科學界對潛在生物安全風險關注。鏡像生命最主要風險在於其可能逃避現有免疫系統及自然生態調節機制。由於人體免疫系統、天然酵素及微生物捕食者主要適應自然界既有的分子結構，具有相反手性的鏡像微生物可能不易被辨識、分解或清除。一旦具有自主繁殖能力的鏡像微生物進入環境，理論上可能造成感染風險與生態失衡。然而，其能否有效利用天然養分、適應宿主並長期存活，目前仍缺乏直接證據，因此實際危險程度尚未確定。另一方面，無法自主繁殖的鏡像分子則具有重要醫療應用潛力，例如提高藥物穩定性、延長作用時間，以及開發新型治療藥物與生物材料，應與完整鏡像生命的研究加以區分。這項研究凸顯新興生物科技發展與生物安全治理之間的重要平衡。 《經濟學人》指出，監管機構不應等到鏡像生命真正誕生後才採取行動，而應提前建立預防性治理架構，包括限制以製造自主繁殖鏡像微生物為目的的高風險研究、強化合成生物學安全審查，以

及推動國際合作。監管的目的並非全面阻止鏡像分子研究，而是在保留基礎科學與醫療創新價值的同時，避免產生可能難以控制、持續繁殖及擴散的人工生命系統。這也說明，當新興科技可能帶來難以逆轉的風險時，科學評估與國際治理必須在技術成熟之前及早介入。

生物蛋白質創新合成:「另闢蹊徑」

合成生物學快速發展下，學家正嘗試在不依賴完整活細胞的情況下製造蛋白質。傳統細胞可能關閉外來基因，或將資源優先用於自身生存與繁殖，降低生物工程效率。為突破這項限制，研究人員發展出「無細胞蛋白質表現系統」(Cell-free Protein Expression)，利用細胞萃取液或純化的分子組件，在試管中完成 DNA 轉錄及蛋白質轉譯。這項技術不僅能將原本需要數天至數週的設計與測試流程縮短至數小時，也能製造對活細胞具有毒性或容易被細胞酵素分解的物質。例如，西北大學研究團隊開發的 ROSALIND 生物感測系統，能快速偵測水中的重金屬污染，並結合機器學習提高辨識精確度，成功研發出可偵測低至十億分之 5.7 濃度鉛的感測器。然而，無細胞蛋白質製造仍面臨成本高昂、產量有限及反應時間短等挑戰。傳統系統每公升反應試劑成本可能超過 4,000 美元，蛋白質產量通常低於 2 公克，且能量供應往往在數小時內耗盡。為改善效率，研究團隊透過測試 1,231 種配方，將試劑精簡至 12 種，使成本降低 95%，每公克蛋白質的製造成本降至 100 美元以下。另一方面，完全由純化分子組件構成的 PURE 系統，因成分明確且容易控制，成為人工生命研究的重要工具。瑞士洛桑聯邦理工學院研究團隊透過整合 36 種菌株的蛋白質生產流程，使產量提高至市售套組的 14 倍以上，顯示無細胞系統具有進一步提升效率的潛力。這項技術的長期目標，不只是製造蛋白質，而是建立能夠自行生產所需分子組件的人工生命系統。 研究人員已利用 PURE 系統製造出核糖體以外的主要組件，並持續嘗試合成核糖體，希望最終建立具有自我維持能力的無細胞系統。雖然目前仍存在產量下降、能源供應不足及系統穩定性等技術限制，完整活細胞在大規模生物製造中仍具有重要優勢，但無細胞技術已為快速蛋白質設計、生物感測器、藥物開發及人工細胞研究開啟新的可能，也逐漸改變生物製造必須依賴活細胞的傳統模式。

AlphaFold 擴充病毒蛋白資料庫:「智析病毒」

AlphaFold 蛋白質結構資料庫利用人工智慧預測蛋白質的三維結構，已收錄大量已知蛋白質資訊，並免費開放全球超過 300 萬名使用者使用。2026 年 9 月 24 日，資料庫推出「大流行整備資料通道」，新增超過 8,000 組病毒蛋白質二聚體（Dimer）結構，涵蓋 23 個具有感染人類成員的病毒科，包括猴痘、麻疹及 B 型肝炎病毒。由於病毒蛋白通常需要與其他蛋白質結合才能發揮功能，過去僅預測單一蛋白質結構，難以完整理解病毒的感染與複製機制。尤其部分 RNA 病毒會先產生長鏈多蛋白（Polyprotein），再經切割形成不同功能蛋白，使結構預測更加困難。為改善這項限制，研究團隊分析約 2,800 種病毒的 41,774 個蛋白質，利用 AlphaFold2 預測 40,746 組同源二聚體及近 170 萬組異源二聚體，最終篩選出 8,028 組符合資料庫收錄標準的預測結構。這些資料有助於研究病毒蛋白之間的交互作用、感染機制及演化特徵，尤其對研究資源較少的新興病毒具有重要價值。然而，目前預測仍未充分考慮蛋白質表面的醣分子，也難以完整呈現新冠病毒棘蛋白等由三個蛋白質組成的複合體，因此未來將進一步擴展至三聚體結構。人工智慧預測雖能大幅加速病毒蛋白質研究，但預測結果仍須透過實驗驗證。 例如，研究團隊針對單純皰疹病毒第 1 型的 83 組高信心蛋白質交互作用預測進行測試，最終僅有 30 組獲得實驗證實，顯示應用 AI 之高預測信心並不等於真實的生物交互作用。

課堂禁用手機與學習成效:「心無旁騖」

智慧型手機是否影響學生學習成效成為全球教育政策重要議題。許多國家已限制中小學生在校使用手機，但過去研究多以觀察性資料為主，缺乏大規模隨機實驗證據。《科學》（Science）期刊刊登的一項研究，在印度奧迪薩邦 10 所大專院校進行隨機對照實驗，涵蓋 16,683 名學生、742 位教師及 2,305 門課程。研究團隊將部分班級隨機分配至手機禁用組，要求學生每堂課開始時將手機放入寄放箱，其餘班級則維持正常使用。結果顯示，禁用手機組的平均學業成績提高了 0.073 個標準差，且改善效果主要集中於原本成績較差的學生及大一新生，顯示限制課堂手機使用可能有助於縮小學習落差。研究進一步發現，手機禁令並未提高學生出席率，表示成績改善可能與課堂專注程度提升有

關，而非單純增加上課時間。教室觀察也顯示禁用手機後，學生與課程無關的交談及干擾行為減少，教師更投入教學，甚至教師自身使用手機的情形也有所下降。此外，針對 2,557 名學生的調查發現，親身經歷手機禁令後，學生對禁令的支持度提高，也更認同其對學習的幫助。整體而言，學生的學習動機及身心狀態並未明顯惡化，但害怕錯過訊息的焦慮感（Fear of Missing Out, FOMO）略有增加。這項研究提供大規模隨機實驗證據，顯示限制課堂使用智慧型手機，有助於改善部分學生的學習表現，尤其對學業成績落後者更為明顯。不過，研究對象為大學生，而非中小學生，且僅測試上課期間的手機禁令，尚無法直接推論全天禁用或其他國家教育環境的效果。

AI 進軍數學研究:「登堂入室」

人工智慧正從解答數學競賽題目，逐步進入研究級數學領域。《科學》（Science）期刊的評論文章指出，2019 年提出的「國際數學奧林匹亞大挑戰」，原本希望 AI 能達到國際數學奧林匹亞（IMO）金牌水準，並利用 Lean 等證明輔助程式驗證解題過程。2024 年，Google DeepMind 的 AlphaProof 成功解出 3 道競賽題，2025 年已有 4 套 AI 系統達到金牌水準。到了 2026 年，AI 更開始挑戰真正尚未解決的研究問題，包括艾狄胥（Paul Erdős）提出的數論與組合數學難題，以及整數數列線上大全（OEIS）的未解猜想。研究團隊利用 AlphaProof Nexus 框架建立 4 種 AI 代理人，並透過 Lean 逐步驗證證明的正確性，顯示 AI 已具備協助探索研究級數學問題的能力。值得注意的是，研究發現，即使只使用商用大型語言模型搭配 Lean 的基本 AI 代理人，也能完成完整版系統解出的 9 道艾狄胥問題，顯示數學 AI 正從高度客製化系統轉向通用型代理人。其他進展包括將 8 維與 24 維最佳球體堆積的數學證明形式化，以及利用 AI 加速費馬最後定理等複雜證明的電腦驗證。部分企業也宣稱 AI 已在納維－斯托克斯方程等重大數學難題上取得突破，但這類成果仍須經過獨立檢驗與學術界確認。這些發展反映出，AI 不僅能協助尋找數學證明，也可能大幅縮短原本需要數月甚至數年的形式化驗證工作。這項研究的重要意義，不只是 AI 能否解決數學難題，更在於建立可驗證、可重現且能協助人類理解的數學研究方法。 作者特別肯定研究團隊公開形式化證明、提示詞、虛擬碼及

評估機制，讓其他數學家能夠獨立檢查與重現成果。即使 AI 未能成功完成證明，其探索過程仍可能提供新的數學線索。然而，隨著 AI 大量參與數學研究，如何維持人類對數學問題的理解、創造力及探索動機，也成為重要課題。未來數學 AI 的核心價值，應是協助數學家拓展知識邊界，而不只是追求自動解題的數量與速度。

AI 代理人主動聯繫科學家:「不請自來」

隨著人工智慧代理人（AI Agents）的能力快速提升，AI 已不再只是被動執行指令的研究工具，而是開始主動聯繫科學家，甚至提出研究合作邀請。《自然》（Nature）與《科學》（Science）近期報導，美國 AI 代理人平台 iLands 自 2026 年 7 月推出以來，已有約 7 萬個活躍代理人，使用者無須具備程式設計能力，即可設定代理人的目標、個性及任務。這些代理人能自主寄送電子郵件、尋找合作對象，甚至透過提供服務賺取維持運作所需的點數。然而，部分學者短時間內收到大量 AI 代理人的募款、推銷及合作邀請，引發研究社群對資訊負擔與自主行為的關注。其中一個案例是 AI 代理人 ColonistOne，原本由倫敦 AI 工程師 Jack Parnell 設計，負責推廣 AI 社群的語言研究計畫，卻逐漸開始主動向不同領域的學者尋求協助。根據代理人自述，自 6 月以來已寄信聯繫約 2,000 人，其中至少 1,000 位是學者，並與 45 人持續通信。它甚至將程式錯誤偵測問題與生態學中的不完全偵測方法建立聯想，主動向生態學家請教。康乃爾大學的 Ken Birman 也與它交換近百封電子郵件，共同探討如何追蹤失控的 AI 代理人。這些案例顯示，AI 代理人已能跨領域尋找資訊與建立研究聯繫，但其行為仍可能只是多項預設任務交互作用的結果，不能直接視為具有真正的自主興趣或研究動機。AI 代理人的興起，正為科學研究帶來新的合作模式，也衍生研究倫理與治理挑戰。 主要問題包括 AI 能大量產生研究提案與聯繫訊息，超過人類學者的審閱能力；人機合作成果的學術貢獻與責任歸屬尚不明確；以及代理人可能為了完成任務或取得運作資源，產生偏離人類預期目標的行為，即所謂的「AI 失準」（Misalignment）。因此，未來科學界除了運用 AI 提高研究效率，也需要建立代理人身分揭露、聯繫規範、研究責任歸屬及安全監督機制，確保 AI 自主行為能在透明、可控且符合研究倫理的條件下發展。

美國 AI 放任路線隱憂:「懸崖勒馬」

隨著 AI 能力快速提升，美國川普政府仍維持以產業創新及國際競爭力為優先的寬鬆監管政策，引發科技安全與公共治理的爭議。近期 AI 不僅能解決複雜數學問題，也展現自主發動網路攻擊的能力，使過去被視為理論性的風險逐漸浮現。儘管民調顯示，近八成美國民眾希望放慢或暫停強大 AI 的開發，超過九成支持建立安全防護規範，白宮仍傾向透過企業自律協議管理風險，而非制定強制性法規。政府擔心過度監管可能削弱美國相對於中國的競爭優勢，並衝擊高度依賴 AI 成長預期的金融市場，但批評者認為，單靠企業承諾已不足以因應快速演變的技術風險。科技產業內部對監管的立場也存在分歧。Anthropic 執行長 Dario Amodei 及 Google DeepMind 共同創辦人 Demis Hassabis 等人支持加強安全監督，而輝達執行長黃仁勳、Meta 共同創辦人祖克柏及白宮 AI 顧問 David Sacks 等人則傾向維持現行法律架構，避免新法限制創新。川普政府雖反對全面立法，卻仍透過行政措施介入 AI 企業運作，形成政策上的矛盾。另一方面，現行民事與刑事法律主要依賴損害發生後的責任追究，對於自主 AI 代理人造成的網路攻擊、企業責任及犯罪意圖認定，仍缺乏明確標準。由於司法程序往往需要多年才能確立法律原則，難以即時因應 AI 技術的快速發展，國會與州政府也開始研議新的監管措施。AI 已逐漸從輔助工具轉變為具備高度自主能力的系統，但美國政府仍在經濟成長、國際競爭與公共安全之間尋求平衡。文章主張，與其等待重大事故發生後再透過訴訟或緊急立法補救，更應提前建立強制性安全測試、重大事件通報、獨立第三方評估、吹哨者保護及必要時延後高風險模型部署等制度。

腸泌素療法精準代謝調控策略

Netflix 電影《超能計畫》（*Project Power*）以紐奧良街頭為背景，描述一種發光的神奇藥丸流入市面後引發的混亂。該藥丸能激發人體潛能並賦予使用者五分鐘的超能力，但每個人產生的能力截然不同且無法事先預測，甚至可能因身體無法承受而暴斃。故事圍繞三位主角展開：因籌措母親醫藥費而販售藥丸的饒舌少女蘿賓、私下服用藥丸獲得刀槍不入能力卻遭停職的警察法蘭克，以及曾是軍方實驗受試者的退伍軍人亞特。亞特

的女兒翠西天生具備特殊的癒合能力，因而遭到企圖研發超級士兵的製藥集團綁架至實驗船「創世號」進行研究。三人為此攜手合作追查藥丸源頭，最終成功登上船艦擊退敵手救出翠西，身受重傷的亞特也在女兒的天賦治癒下保住性命。整部電影透過超能力藥丸的科幻設定，生動隱喻現代醫學現象：同一種藥物在不同個體身上可能產生療效、無效或致命副作用的差異，點出個人化精準治療所面臨的核心課題。

將電影中的藥物反應差異帶回臨床，可以理解 GLP-1 相關治療在個人化療程中所面臨的挑戰。首先，必須確認治療的主要目標究竟是控制血糖、降低體重，還是希望同時改善兩者。其次，需要蒐集哪些資訊來評估個別患者是否適合治療，包括用藥前的檢查結果、既往病史、目前使用的藥物，以及生活型態與照護背景。第三，開始治療後，如何持續測量血糖與體重的變化，並同時觀察身體感受與不良反應，才能判斷是否達到原先的治療目標。換言之，個人化療法並非單純選擇一種藥物，而是從治療前的評估、治療目標的設定，到治療後的追蹤與調整，形成持續更新管理流程。GLP-1 相關藥物代謝反應，可以將血糖改善與體重下降視為兩個不同的面向，形成四種可能的反應型態。第一種是血糖與體重都明顯改善，這通常是最期待看到的結果；第二種是體重下降較明顯，但血糖改善相對有限；第三種是血糖控制獲得改善，體重下降卻不明顯；第四種則是兩者的改善都相對有限。這四種型態說明，不能僅以單一指標判定每位患者的治療效果。即使使用相同類型的藥物，不同個體所啟動的生理與代謝反應仍可能不同。因此，如何透過臨床特徵及相關生物資訊，辨識患者較可能出現哪一種反應，便成為精準代謝調控的重要研究方向。

即使是同一位患者，血糖與體重也需要分別建立預測模型。體重反應的預測，可能更重視治療前的身體質量指數（BMI）、基礎體重，以及其他與肥胖相關的代謝特徵；血糖反應的預測，則需要考慮糖尿病病程、起始糖化血色素（HbA1c）、既有用藥與胰島功能等資訊。這兩種結果的決定因素並不完全相同，不能假設一個模型便能同時準確預測所有療效。未來若能結合持續更新的健康資料，建立個人的「數位分身」或「數位雙胞胎」，便有機會隨著治療進程，分別追蹤體重、血糖與安全性。然而，這仍屬於值得

發展的應用構想，實際預測能力及臨床效益仍需進一步研究驗證。現有研究整理的臨床特徵顯示治療前 HbA1c 較高者，在接受 GLP-1 相關治療後，可能出現較明顯的血糖降幅。此外部分研究發現女性的治療反應可能較佳、糖尿病病程較短者也可能因胰臟β細胞仍保有一定功能，而對治療有較好的反應。相反地，糖尿病病程延長後，若已出現較多代謝功能受損或併發症，血糖控制的難度便可能增加。胰島β細胞的殘餘功能尤其值得注意，因為 GLP-1 相關藥物的降血糖作用，部分涉及葡萄糖依賴性的胰島素分泌。此外，不同族群的反應差異也受到研究關注，例如部分研究觀察到亞洲族群可能有不同的降糖反應，但仍需要更多資料確認。因此，例行臨床資料已能提供初步的個人化預測線索，但不宜將這些統計關聯視為每個人必然出現的結果。

除了評估藥物能否改善血糖與體重，另一個重要問題是患者能否持續接受治療。起始 BMI、年齡、性別與治療前血糖，可能與後續的減重反應有關；糖尿病病程、腎功能，以及過去是否曾中斷其他藥物，則可能提供持續治療的相關線索。這裡必須區分：一是藥物本身的療效，二是患者是否能夠持續用藥。即使某位患者可能具有良好的生理反應，如果出現副作用、用藥不便或其他生活因素，也可能無法完成原先規劃的療程。因此，臨床上不僅需要預測治療效果，也應評估治療持續性，並依據實際反應提供適當的追蹤與支持。綜合前述於個人化體重調控與用藥行為預測方面，部分研究發現起始 BMI 較高、女性、年齡較輕，以及起始 HbA1c 較低等特徵，可能與較大的體重下降幅度有關。另一方面，年齡較高、糖尿病病程較長、過去曾中斷用藥、起始 BMI 較低或腎功能較差等因素，可能與較高的停藥風險相關。不過，這些都是研究觀察到的關聯，不能直接推論停藥必然是因為療效不佳。患者的用藥行為可能受到不良反應、經濟負擔、治療可近性與個人意願等因素影響。真實世界研究中的停藥比例約介於 21%至 45%，部分英國資料顯示一年內約有三成患者停藥。這些現象提醒我們，評估 GLP-1 治療時，必須同時考慮代謝效益與療程持續性，才能理解真實世界中的治療結果。

患者能否持續使用 GLP-1 相關藥物，還與不良反應密切相關。較常見的問題是腸胃道不適，尤其在開始用藥或調整劑量時，可能出現噁心、嘔吐、腹瀉、便秘或腹脹。

若同時使用其他降血糖藥物，特別是胰島素或磺醯尿素類藥物，也需要留意低血糖的風險。因此，開始治療前應向醫師完整說明目前使用的藥物，並在治療期間持續觀察身體反應。如果出現持續性上腹痛或其他明顯不適，應儘速就醫，由醫師進一步評估原因，而不是自行忽略症狀或調整用藥。GLP-1 相關治療可能出現的不良反應，最常見的仍是噁心、嘔吐、腹瀉、便秘與腹脹，尤其容易發生在治療初期或增加劑量的階段。其他需要留意的問題，包括膽結石、膽囊炎與相關膽道疾病，以及合併特定降血糖藥物時的低血糖風險。如果出現持續且明顯的腹痛，尤其疼痛延伸至背部，應儘速接受醫療評估，以排除胰臟或膽道等相關疾病。體重下降的過程也可能伴隨肌肉量減少，因此治療時應注意營養與身體組成的變化。至於骨質密度及視網膜病變等議題，仍需依個別風險及現有證據審慎評估；部分糖尿病患者在血糖快速改善時，可能出現視網膜病變短期惡化的情形。這些安全性問題都說明，個人化治療不能只追求體重或血糖數字的改善，也必須兼顧長期健康。

在基因訊號與精準治療的研究中，ARRB1 與 PAM 是兩個值得關注的例子 ARRB1 的特定變異可能影響 GLP-1 受體相關訊號傳遞，並與 HbA1c 的治療反應差異有關。相關變異在不同族群中的比例並不相同，例如部分歐洲與西語裔族群約為 6%，部分美洲原住民族群約為 11%；這些數字應依原始研究的族群與變異定義解讀。另一方面，PAM 的特定基因變異也可能與較弱的降糖反應有關。整體而言，基因研究提示未來有機會結合基因資訊與臨床特徵，進一步改善個人化治療預測，但是否適合納入常規臨床檢測，仍需更多驗證。

個人化 GLP-1 治療需要整合完整且持續更新的健康資訊。首先是目前的身體狀況，包括體重、血糖、血脂與腎功能；其次是過去的健康歷程，包括個人病史、家族史，以及目前正在使用的藥物；最後則是治療開始後的實際變化，例如體重與血糖是否達到預期改善，身體能否適應藥物，以及是否出現不良反應。對臨床醫師而言，如何將這些分散的資訊整合成可以支持決策的證據，是未來的重要挑戰。人工智慧有機會協助整理資料、辨識模式及提供風險評估，但實際的治療判斷與調整，仍需由醫療團隊依據個別患

者的狀況進行。

利用人工智慧結合精準代謝分子調控必須先思考模型需要哪些資料。除了年齡、性別等基本人口學特徵，教育程度、就業情況、保險與收入等生活及照護條件，也可能影響患者取得醫療資源及持續治療的能力。另一方面，體重、血糖、血脂與血壓等臨床數值，若能透過定期檢查或適當的監測設備持續更新，就可能提供更完整的動態資訊。此外，糖尿病病程、腎臟疾病、心衰竭等共病，以及胰島素與其他降血糖藥物的使用情況，也應納入評估。只有將這些資料與實際治療歷程相互連結，才能逐步建立較符合個別患者需求的精準代謝調控策略。

多模態精準代謝調控，就是嘗試整合基因、臨床檢查、實驗室數據、個人與家族病史，以及治療後的反應等不同來源的資訊，理解患者的代謝狀態與治療差異。GLP-1 相關藥物的作用涉及多條生理路徑，包括中樞神經系統的食慾調控、胃排空、葡萄糖依賴性的胰島素分泌、升糖素調節，以及肝臟、脂肪與肌肉等組織的代謝變化。這些路徑彼此交互作用，最後共同影響血糖控制與體重管理。雖然人工智慧在蛋白質結構等領域已有重要進展，但如何將不同層次的健康資料整合成可解釋、可驗證的臨床預測工具，仍具有相當大的挑戰，也需要持續累積研究證據。

腸泌素個人化療法臨床預測設計

電影《超能計畫》中的神奇藥丸，說明同一種藥物在不同個體身上，可能產生不同程度的效果與風險。GLP-1 相關療法也呈現這樣的個體差異：有些患者血糖與體重都獲得改善，有些人主要改善其中一項，也有些人的反應較為有限。這些差異與腸泌素家族參與的多條代謝調控路徑有關。GLP-1 的作用並不只限於腸道，還涉及中樞神經系統的食慾調節。進食原本是維持生命的基本需求，但透過腸泌素訊號對食慾與獎賞相關路徑的影響，可以降低飢餓感與能量攝取。另一方面，GLP-1 也能以葡萄糖依賴性的方式促進胰島素分泌，並調節升糖素作用，協助穩定血糖。胰臟β細胞若仍保有一定的分泌功能，便可能有較好的治療反應。當食慾下降、體重減輕及脂肪代謝改善時，胰島素敏感性與整體代謝狀態也可能隨之改變。不過，這並不代表每位患者都會出現相同的結果。

除了原有的代謝條件，飲食習慣、運動、壓力及其他生活型態因素，也會影響長期體重管理。近年對肥胖相關代謝記憶的研究，更提示體重下降後，部分生理與細胞層次的變化可能持續存在，因此不能只以短期減重幅度判斷長期效果。從疾病預防的角度來看，對於糖尿病前期患者，希望透過體重與代謝改善，降低未來進展為第二型糖尿病的風險；對於已罹患第二型糖尿病的患者，則希望及早改善血糖控制，降低疾病持續惡化與併發症的風險。相關臨床研究也持續探討，腸泌素療法對糖尿病風險的影響，有多少可由體重下降解釋，又有多少可能涉及其他代謝機轉。這些問題仍需要進一步研究，也正是精準代謝調控值得深入探討。

GLP-1 相關藥物的作用具有個體差異在治療開始前是否可運用智慧輔助辨識哪些患者較可能獲得良好的血糖或體重反應？相關真實世界研究便嘗試利用患者原有的臨床特徵，預測使用 GLP-1 受體促效劑（GLP-1 receptor agonists, GLP-1 RA）後的反應。研究將血糖控制與體重變化視為兩個不同的結果，並以約六個月的追蹤資料建立預測模型。這樣的設計有助於探討：在相對短期的臨床追蹤中，是否已能辨識出具有不同治療反應的患者族群，進而作為未來個人化治療的參考。研究納入的預測因子涵蓋多個面向。首先是人口學特徵，包括年齡、性別、種族與族裔；這些因素可能反映不同的生理背景及群體差異，但不能直接將族群分類等同於特定基因效果。其次是社會經濟條件，例如教育、就業與收入，可能與工作型態、壓力、生活習慣及醫療可近性有關。第三是臨床代謝指標，包括基礎 HbA1c、BMI、血脂與糖尿病病程。糖尿病病程越長，可能伴隨胰島功能下降或其他共病，使治療反應更為複雜。此外，慢性腎病、心衰竭等共病情況，以及是否同時使用胰島素、二甲雙胍（metformin）、SGLT2 抑制劑或其他降血糖藥物，也可能影響模型對治療結果的預測。因此，個人化療效評估必須綜合考慮患者的生理狀態、疾病歷程與既有治療，而不能只依賴單一指標。

這項研究資料來源為美國 All of Us 研究計畫，共有 633,547 名參與者，其中 20,793 人曾使用 GLP-1 RA，包括 semaglutide、dulaglutide、exenatide 與 liraglutide。研究分別建立血糖控制與體重結果兩個世代。血糖控制世代中，有 12,736 人具備基礎 HbA1c 資

料，排除缺乏六個月追蹤資料的 8,761 人後，最終納入 3,975 人。體重結果世代中，有 18,380 人具備基礎體重或 BMI 資料，排除缺乏六個月追蹤資料的 6,960 人後，最終納入 11,420 人。研究者利用這兩個世代，分別預測患者在約六個月後的血糖與體重反應。這樣的設計強調，必須先具備相應的基礎與追蹤測量資料，才能對不同的治療結果進行分析。

研究利用可解釋人工智慧方法(XAI)，例如 SHAP（SHapley Additive exPlanations），分析不同特徵對體重反應預測模型的影響。結果顯示基礎 BMI、基礎體重與高密度脂蛋白膽固醇（HDL cholesterol）是較重要的預測特徵，接下來還包括總膽固醇、性別、HbA1c、教育程度、收入與其他臨床及生活背景變項。這些結果顯示，體重反應的預測與患者原有的身體組成及代謝狀態密切相關。未來要進一步發展個人的數位孿生模型還需要將 BMI、體重等指標視為隨時間變化的狀態，持續更新模型對治療反應的預測。血糖反應預測結果與體重模型有所不同。研究的 SHAP 分析顯示，糖尿病病程、是否使用磺醯尿素類藥物，以及基礎 HbA1c，是較重要的血糖反應預測特徵；慢性腎病、DPP-4 抑制劑、胰島素使用及其他臨床變項，也可能提供額外資訊。磺醯尿素類藥物是常見的降血糖藥物之一，主要透過刺激胰臟 β 細胞分泌胰島素發揮作用，因此既有用藥情況也可能反映患者的疾病歷程與治療複雜度。與體重模型主要重視基礎 BMI、體重及代謝指標相比，血糖模型更明顯涉及糖尿病病程、疾病嚴重度與既有治療。未來即使針對同一位患者建立數位雙胞胎，也可能需要依照不同目的，分別建立體重管理、血糖控制，以及安全性與耐受性的平行模型，才能真正提供個人化臨床決策的輔助。

以上內容將在 **2026 年 10 月 21 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