



星球永續健康線上直播

可解釋 AI (XAI) 醫療應用

乳癌篩檢 XAI 風險決策治理

2026 年 1 月 7 日

即使在當前國際局勢充滿地緣政治不確定性，人工智慧仍是無法忽視的核心議題。近年逐漸受到重視的可解釋人工智慧(XAI)成為醫療領域導 AI 與妥善運用關鍵。台灣近期通過人工智慧相關法制也彰顯治理層面於 AI 運用新思考。本週我們將探討影像輔助 XAI 的臨床應用治理，並以乳房攝影的 XAI 影像輔助臨床實例說明。

星球健康新知

俄烏談判膠著點：領土、安全、核電廠：「進退維谷」

在美國斡旋下俄烏和平談判被形容已進入關鍵階段，但多項核心爭議仍高度敏感。美國總統川普表示，整體協議完成度已高，卻仍卡在少數問題，其中最關鍵者包括烏克蘭領土歸屬、長期安全保障，以及目前由俄羅斯控制的札波羅熱核電廠未來管理權。烏克蘭總統澤倫斯基對談判前景態度審慎，表示不信任俄羅斯總統普丁對和平的承諾，並認為俄方仍將談判視為戰略工具而非終點。領土問題集中於烏克蘭東部頓巴斯地區。俄羅斯目前實質控制盧甘斯克州近乎全境，並掌握頓內茨克州約四分之三土地，普丁持續要求整個頓巴斯納入俄羅斯版圖。澤倫斯基則強調，烏克蘭無法在法律與政治層面放棄仍由基輔控制的城市與居民，並曾提出在雙方同步撤軍前提下，於爭議區域設立非軍事或自由經濟區，再由國際力量監督接觸線。然而，俄方軍事高層向克里姆林宮回報前線仍在推進，使莫斯科缺乏讓步動機，令此構想難以落實。若頓內茨克議題無法出現實質調整，和平協議的可行性將大幅降低。另一項高度爭議焦點為札波羅熱核電廠。該廠自 2022 年起遭俄軍佔領，六座反應爐雖長期處於冷停機狀態，仍仰賴烏克蘭供電維持安全。美方曾提出由美國、俄羅斯與烏克蘭共同管理電廠的方案，但基輔方面認為此構想缺乏現實基礎，主張僅能接受美烏共同管理。俄羅斯國營核能機構則堅稱，唯有俄方能確保設施安全。此一分歧不僅牽涉能源與重建資金，也反映雙方幾乎不存在的互信基礎。



在安全保障方面澤倫斯基於與川普會晤後透露，美國已提出為期 15 年的安全承諾，但烏克蘭方面認為期限過短，難以對俄羅斯形成長期威懾，因此希望延長至 30 年、40 年，甚至 50 年，並在內容上比照北約第五條集體防禦精神。白宮尚未對延長年限作出明確回應。俄羅斯則一貫反對任何類似北約的安全架構進入烏克蘭境內，並拒絕歐洲部隊部署，令此議題成為另一個難以化解的關卡。談判進行之際，戰事並未停歇。俄羅斯持續對烏克蘭黑海港口發動無人機與飛彈攻擊，包括專門裝載小麥的民用船隻在內，烏克蘭方面形容此舉直接威脅全球糧食供應安全。與此同時，莫斯科指控烏克蘭曾以無人機攻擊普丁官邸，但相關說法遭基輔與西方夥伴否認，並被視為可能用來合理化後續軍事行動的政治操作。法國與其他歐洲國家指出，俄方在談判期間升高攻勢，顯示其對外交進程態度曖昧。此外，澤倫斯基主張，任何涉及領土或長期安全安排的最終協議，均須交由烏克蘭人民以公投方式決定，並需先實施為期 60 天的停火以利準備。俄羅斯明確反對暫時停火，認為只會延長衝突。川普則表示理解俄方立場，但此一歧見進一步增加協議完成的不確定性。歐盟領導人雖對近期會談釋出審慎樂觀訊號，仍反覆強調，缺乏穩固安全保障的和平安排難以持久，真正的考驗仍在於俄方是否願意以具體行動回應談判承諾。

美國逮捕委內瑞拉總統引國際議論「劍指天下」

美國近日對委內瑞拉發動突襲行動，拘捕現任總統尼古拉斯·馬杜洛及第一夫人西莉亞·弗洛雷斯，引發國際高度震盪。美方表示，行動於凌晨展開，美軍特種部隊突入加拉加斯總統官邸，並切斷部分電力以利行動完成。馬杜洛試圖進入安全設施避難未果，隨後遭拘捕並被送往美國，最終收押於紐約布魯克林的聯邦拘留中心。行動於當地時間凌晨展開，美軍特種部隊突入馬杜洛位於加拉加斯的住所，過程中首都一度出現大規模停電。美國總統川普表示美軍已掌握關鍵設施並成功切斷電力供應，使行動得以迅速完成。馬杜洛試圖進入強化防護的安全室避難，但未能成功，隨後遭到拘捕並被帶離現場。此次行動由美軍三角洲部隊執行，並獲得情報單位高度配合。美方官員指出，超過一百



五十架飛機參與人員投送、空中掩護與撤離作業，對加拉加斯周邊多處軍事設施的精準空襲亦被用以確保行動順利進行。馬杜洛夫婦先被帶往 **USS Iwo Jima**，再轉送至美國紐約州，最終收押於布魯克林的大都會拘留中心。美方強調行動本身屬於高度精準的執法性質軍事作為，未有美軍人員死亡，僅少數受傷；但委內瑞拉國防部長則指出，馬杜洛的安全人員、部分士兵及平民出現傷亡，實際規模仍未對外公布。隨著馬杜洛遭拘捕，委內瑞拉的權力結構立即出現變動。副總統已由最高法院宣誓就任臨時總統，並公開要求釋放馬杜洛，重申其合法總統地位。川普則表示，美國將在過渡期間協助委內瑞拉的政治與行政運作，直至完成其所稱安全且審慎的權力移轉。美方同時強調，相關安排具備臨時性質，並未公布具體治理架構或參與名單。美國國務卿指出，美國將依新當局的實際政策選擇評估合作空間，並保留必要的外交與政策工具以確保美國利益。美國政府亦明確將此次行動與能源政策連結。川普表示，美國石油企業將進駐委內瑞拉，協助修復老舊基礎設施並重啟原油生產，相關收益將同時用於委內瑞拉國內經濟與補償美國在軍事與執法行動上的支出。委內瑞拉政府則批評，美方意圖奪取其戰略資源，特別是石油與礦產，並認為此舉已對國家政治自主構成威脅。委內瑞拉雖擁有全球最大已探明石油儲量，但其高硫重質油特性使得開採與提煉本身即涉及高度技術與成本問題。在司法層面，美國司法部指出，馬杜洛與其妻已於紐約南區遭到起訴，罪名包括合謀進行毒品恐怖活動、進口可卡因，以及持有與合謀使用機關槍與破壞性武器。美國司法部長表示，兩人將在美國法院接受完整審理程序。馬杜洛方面長期否認相關指控，並認為美國以反毒與執法為名介入委內瑞拉內政，其實涉及政權更替與能源利益考量。國際社會對此行動出現明顯分歧。俄國、中國與伊朗均嚴厲譴責美國侵犯委內瑞拉主權，並要求立即釋放馬杜洛。墨西哥、哥倫比亞與巴西等拉丁美洲國家亦指出，單邊軍事行動可能加劇區域不穩定。相對之下，阿根廷總統與以色列外交部長公開肯定美方行動，認為其有助於終結長期存在的威權統治。歐盟與英國則在否定馬杜洛政治正當性的同時，持續呼籲各方遵守國際法原則並避免進一步升高衝突。



台海軍事演習牽動東亞穩定：「劍拔弩張」

近來東亞安全情勢明顯升溫，中國、日本與北韓相繼透過軍事演習、軍備擴張與武器生產，釋放強烈威懾訊號。中國日前在台灣周邊海空域展開大規模聯合軍演，陸、海、空及火箭軍全數參與，演練內容涵蓋實彈射擊、要域封鎖與奪控行動，部分飛彈落點接近台灣周邊管轄水域，引發國際關注。台灣國防部表示已偵測到中國軍機、軍艦及海警船周邊活動，國防部同步啟動飛彈系統與相關兵力進行嚴密監控，強調將維護國土安全與民眾安全。美國方面稱其中國領導人維持良好溝通管道目前東亞情勢穩定無憂。此次演習涉及自中國沿海發射飛彈至台灣周邊海域，部分落點接近台灣本島周邊管轄水域，演練強度與規模均高於過往。台灣國防部認為，相關行動已偏離國際慣例，並指出其目的可能在於消耗台灣防衛能量及影響社會穩定。報導同時提及，北京長期以軍事與非軍事手段對台施壓，而美國仍是台灣最重要的外部支持者，但華府對台政策的訊號持續受到外界關注。在區域安全情勢升溫的背景下，日本政府近日通過史上最高規模的防衛預算案，總額超過九兆日圓，核心目標在於強化因應中國軍事威脅的能力。日本計畫加速部署長程打擊能力、極音速武器、無人作戰系統，以及多層飛彈防禦網絡，以提升在周邊海空域的嚇阻效果。日本領導階層多次指出，台灣海峽一旦發生衝突，將直接影響日本國家安全，因此相關軍事投資被視為必要調整。中國方面則警告，日本此舉恐引發區域軍備競賽，並加劇東亞緊張情勢，影響既有的安全平衡。北韓方面，領導人金正恩近期多次視察軍工設施，並下令擴大飛彈與砲彈生產，同時興建更多軍需工廠，以因應軍方需求。北韓官方媒體引述金正恩說法指出，飛彈與砲彈生產在強化戰爭嚇阻能力方面具有關鍵地位。相關指示發布之際，金正恩亦公開現身造船廠，監督一艘據稱具備飛彈發射能力的核動力潛艦建造進度。分析認為，北韓近期密集進行武器測試與產能擴張，除了用以對美國與南韓施壓，也與其對外軍事合作密切相關，特別是在俄羅斯入侵烏克蘭後，平壤與莫斯科之間的軍事與技術往來顯著增加。

2026 年經濟韌性復甦展望：「震盪前行」



2025 年春季，美國宣布對主要貿易夥伴全面加徵關稅，掀起數十年來規模最大的關稅調升，全球股市隨即劇烈震盪，美國與多數成熟市場一度逼近或短暫進入熊市。隨後，隨著部分激進關稅措施撤回，加上企業獲利表現優於預期與人工智慧投資熱潮延續，市場快速反彈，各主要指數於年中後陸續創下新高。回顧全年，美國股市維持穩健上漲，但非美市場表現更為突出，歐洲、部分亞洲國家與新興市場強勢回歸，顯示全球資金配置趨於分散。產業結構方面，科技股仍是推動市場的重要動能，但估值壓力與泡沫疑慮逐漸浮現，企業獲利成長開始向非科技產業擴散，中型與傳統產業的重要性上升，帶動市場輪動。資產配置上，避險需求明顯升溫，黃金價格全年大幅上揚，表現居各類資產之首；相對地，部分高波動性資產則回檔修正。展望 2026 年，分析師普遍預期股市將再創新高，但不確定性仍然存在。羅素投資指出，2025 年的政策衝擊雖然考驗了市場的承受力，但也加速了科技、成長動能與全球資本流動的深層結構性轉變，市場正從「韌性」階段過渡至「重新加速」的轉折點。德意志銀行警告，亞洲的展望將取決於政策靈活度、貨幣走勢與 AI 相關需求的持續性，部分市場的獲利預期可能隨全球貿易動能減弱而面臨下修風險。高盛與道富環球投資則看好日本在企業改革、薪資成長與資本投資增加下的相對優勢，中國則預計維持溫和成長。黃金方面，多數機構維持看多立場。摩根大通預測 2026 年底金價可望達到每盎司 5,000 美元，道富環球投資則認為金價將在 4,000 至 4,500 美元區間盤整，並有 30% 機率衝擊 5,000 美元。支撐因素包括聯準會持續寬鬆、美元走弱、央行與零售需求穩健、以及地緣政治風險持續。2025 年全球金融市場在動盪中展現驚人韌性，非美市場打破美股獨霸的格局，黃金創下近五十年最佳表現。儘管分析師預期 2026 年將是股市再創新高的一年，但聯準會領導層更替、關稅談判與 AI 估值泡沫等風險，使得前方道路可能依然顛簸。在不確定性依然高企的環境下，分散配置與情境規劃的重要性將更加凸顯。

人工智慧 AI 產業發展關鍵時刻：「盛極而變」

人工智慧產業正進入高速擴張與競爭同步升溫的轉折階段。先進語言模型持續推升算力需求，半導體製程技術成為支撐產業發展的重要基礎。大量資金流入帶動科技公司



市值攀升，亦推升部分主要股市創下新高，但在資本消耗快速、模型競逐白熱化的背景下，產業龍頭同時承受日益加劇的財務壓力與長期經營平衡考驗。人工智慧語模產業龍頭 OpenAI 成為市場關注焦點，2026 年被視為其關鍵轉型節點。公司近年持續擴張業務版圖，涵蓋客製化晶片、電商服務、企業應用與消費型裝置，試圖建構完整 AI 生態系。然而，快速成長伴隨高額資金消耗，財務預估顯示，2026 年現金消耗將達 170 億美元，顯著高於前一年水準。自 ChatGPT 爆紅以來，OpenAI 已累計募得超過 600 億美元資金，市場普遍預期其將再度啟動大規模融資。雖然營收成長速度驚人，運算成本亦同步大幅攀升，公司算力需求在短時間內倍增，未來產能擴建投資規模龐大，成為獲利模式的重要變數。同時，AI 模型競爭明顯升溫。多項基準測試顯示，頂尖模型間的效能差距持續縮小，開源與閉源模型的技術距離亦逐步收斂。用戶成長動能開始趨緩，部分市場的訂閱數出現停滯現象，模型運行成本高於營收的壓力浮現。為回應此一局勢，OpenAI 已調整策略，優先強化核心產品，並規劃導入廣告與商業合作機制，以拓展收入來源。AI 產業擴張亦帶動美國科技富豪財富顯著成長。2025 年，美國主要科技企業創辦人與高階主管的資產規模大幅增加，增幅明顯高於整體股市表現。然而，部分公司因 AI 基礎建設投資金額龐大，引發市場對資本支出與融資結構的疑慮，股價出現回檔。學界指出，相關財富變化高度依賴市場對 AI 成功商業化的預期，產業能否順利轉型仍有不確定性。在基礎設施層面，半導體製程競賽持續推進。台積電已如期量產 2 奈米製程，並預告後續延伸技術時程，持續強化在高效能運算與行動裝置市場的布局。主要競爭對手亦加快先進製程導入腳步。受 AI 投資與半導體需求帶動，台積電市值與股價再創新高。全球資本市場方面，AI 熱潮亦反映於股市表現。日經 225 指數於 2025 年底創下歷史新高，全年漲幅主要由半導體與科技類股帶動。儘管期間曾因貿易政策與地緣政治因素出現劇烈震盪，隨著貿易環境改善與政策支撐，市場逐步回穩。貨幣政策正常化下，利率與匯率走勢亦成為投資人持續關注的變數。

全球再生能源躍進 減碳行動機遇：「轉折在即」

全球再生能源裝置容量持續擴張，太陽能與風力成長尤為顯著。大規模生產帶動成



本下降，加速各國能源結構調整。自工業革命以來，人類社會的能源體系長期依賴化石燃料中。2025 年成為一個明確的轉折點，能源系統的重心開始大幅轉向當下持續自太陽輻射而來的能量來源。以太陽能與風能為核心的再生能源，在多個層面上已超越傳統化石能源，不僅在技術與市場上取得突破，也在全球能源供應結構中占據關鍵地位。根據能源智庫 Ember 的分析，再生能源已於本年度正式超越煤炭，成為全球主要發電來源之一，而太陽能與風能的新增發電量，足以完全支應上半年全球電力需求的成長。此一轉變亦反映於各國政策與市場行為之中。中國國家主席習近平於聯合國宣示，未來十年間中國將在不減少能源使用的前提下，透過大幅擴充風能與太陽能設施，使碳排放量下降約一成。與此同時，非洲與南亞地區的太陽能板進口量快速攀升，顯示低成本屋頂型太陽能系統已成為當地居民取得照明、通訊與基本生活用電的可行方案。對許多觀察者而言，再生能源的持續成長已呈現難以逆轉的態勢，也因此促使《Science》將「再生能源的躍進」評選為 2025 年的年度重大突破。然而，這股樂觀氛圍仍籠罩於嚴峻的氣候現實之下。2025 年 11 月於巴西貝倫舉行的聯合國氣候會議指出，全球碳排放量仍持續上升，多數國家未能達成 2015 年巴黎協定所承諾的減量目標，將全球升溫控制在 1.5°C 以內的願景幾乎已無實現可能。即便如此，仍有學者對能源轉型抱持審慎希望。牛津大學資料科學家 Hannah Ritchie 指出，再生能源的快速普及，已使化石燃料使用量出現結構性轉折的可能性，特別是在中國，煤炭於能源系統中的角色正逼近轉折臨界點，其餘地區亦可能陸續跟進。中國在此一轉型中扮演關鍵推動者角色。多年來，政府透過補貼與產業政策扶植再生能源技術，使其工業體系在全球市場取得壓倒性優勢。目前中國生產全球約八成的太陽能電池、七成的風力發電機與鋰電池，其規模化製造能力與激烈的內部競爭，使價格持續下探，其他國家難以匹敵。隨著產量提升與成本下降，市場需求迅速擴張，進一步促成生產擴大與價格再降的正向循環，使再生能源產業成為中國經濟中占比超過一成的重要部門，並使風能與太陽能在全球多數地區成為發電選項。當材料與設計創新仍可能進一步提升效率，例如將鈣鈦礦材料與矽晶結構結合，以擴大光譜吸收範圍；風機葉片延長與浮動式設計，也有助於擴展離岸風電的可行區域；能源儲



存方面，鋰電池之外的替代化學體系亦正在研發中。在既有技術的推動下，氣候效益已開始顯現。2025 年，再生能源的成長協助中國溫室氣體排放增幅趨近停滯，並使全球碳排放觸頂成為可預期目標。不過，若要實質降低排放，各國仍須將今年的里程碑視為起點而非終點。中國持續興建燃煤電廠、美國對再生能源的政策阻力、電網與儲能基礎設施的不足，以及航空與重工業短期內難以電氣化，皆構成未來挑戰。

高效能多層鈣鈦礦太陽能電池關鍵介面：「臨界已過」

最新研究顯示，多層鈣鈦礦太陽能電池在關鍵界面設計上取得重大進展。全鈣鈦礦串聯太陽能電池有望超越單結太陽能電池的效率極限，但窄能帶隙子電池中電洞傳輸層與鈣鈦礦界面的非輻射複合損失，持續限制著裝置效率。傳統的長鏈胺類鈍化策略雖可減少缺陷影響，但往往導致載子傳輸損失，同時限制填充因子和短路電流密度。研究團隊開發了一種雙極性鈍化策略，在窄能帶隙鈣鈦礦和電洞提取層之間引入有機表面活性劑分子。這些分子一端帶正電、一端帶負電，正電端朝向鈣鈦礦層，負電端朝向電洞提取層。這種定向排列同時鈍化了鈣鈦礦晶格缺陷並實現精確能階對準，增強歐姆接觸，促進電洞高效注入並將電子從界面排斥，有效抑制非輻射複合。此方法將載子擴散長度延長至 6.2 微米。單結太陽能電池達到 24.9% 效率，開路電壓 0.911 V，填充因子 82.6%。雙結串聯太陽能電池達到 30.6% 效率（認證穩定效率 30.1%），超越矽太陽能電池約 29% 的理論極限，比 2009 年首個鈣鈦礦太陽能電池效率高約八倍。此策略預計在三結、四結等更複雜架構中同樣有效，但裝置穩定性和規模化生產仍是待克服的挑戰。

鐵電創新材料提升記憶晶片效能：「轉軸初現」

快閃記憶體目前雖已成為主流儲存技術，廣泛應用於智慧手機、筆電和資料中心，市場價值 700 億美元，但逐漸遭遇微縮與能效物理限制：當記憶材料單元層縮小至 20 奈米以下時會出現電子洩漏問題影響資料儲存穩定度。目前技術已將記憶單元堆疊超過 300 層，雖可提高儲存量但造成能源效率降低。為突破瓶頸，產業界投入創新材料鐵電材料於快閃記憶體設計。鐵電材料具有穩定的極性電方向（類似磁鐵的南北極），可用



來表示 0 和 1 優勢包括：可在更低電壓下運作能堆疊超過 1000 層讀寫速度更快耗電量僅傳統技術的 4%（降低 96%）。早期鐵電快閃記憶體受限於「記憶窗」過窄，難以支援多位元儲存。南韓 SK Hynix 於 2023 年提出結合電荷陷阱與鐵電層的混合設計，有效擴大記憶窗至 10.5 伏特，改善實用性。近期三星進一步以氧化銦鎵鋅取代矽通道，大幅降低垂直通道所需電流，使整體功耗較傳統技術降低約 96%，同時維持穩定的記憶窗，被視為重要突破。研究顯示，鐵電快閃記憶體在耐久度與資料保存年限方面已具實用水準，並在短時間內出現多種不同架構設計。若能成功量產，該技術不僅可延續消費性電子裝置容量快速成長的趨勢，也有助於提升人工智慧資料中心的效率，並為機器人與邊緣運算提供更快速、低耗能的在地記憶體支援

優異表現源於長期累積：「大器晚成」

發表於《Science》(2025) 的文獻回顧中，Güllich 等人分析超過 34,000 位成年國際頂尖表現者（涵蓋諾貝爾獎得主、奧運冠軍、作曲家與頂尖棋手），發現早期傑出表現者與成年世界級表現者大多並非同一群人，其重疊率僅約 9 – 13%。研究者比較世界級表現者與「僅次於頂尖」的同儕時，發現最終達到頂峰的人在早年階段的表現反而較差。無論是運動員的賽事成績或諾貝爾獎得主的論文引用排名，成年巔峰表現與早期表現之間呈現負相關。這顯示傳統上將早期高表現視為長期潛力指標的假設，在最高成就層級並不成立。研究進一步發現，預測早期高表現與預測成年世界級表現的因子不僅不同，甚至完全相反。早期表現較佳的年輕人，通常起步較早、專注於單一領域、累積大量專項練習、較少接觸其他領域，且進步速度較快。然而，最終達到世界級的成年表現者卻呈現相反的發展軌跡：他們起步較晚、專項練習量較少、早年進步較為漸進，但在成長過程中平均參與了約兩個其他領域的練習。這種跨領域投入的模式，在頂尖運動員、諾貝爾獎得主與知名作曲家身上都一致可見。作者提出三個假說來解釋這些發現。第一是「搜尋與匹配假說」，認為多元領域的經驗能增加個人找到最適合自身天賦與偏好之領域的機會。第二是「增強學習資本假說」，主張跨領域學習能培養彈性思考、模式辨識能力，以及整合不同觀點與方法的能力，從而提升長期的學習潛力。第三是「有限風



險假說」，指出早期的多元參與可降低過度訓練、職業倦怠、運動傷害及機會成本等阻礙生涯發展的風險。這些發現對現行的菁英培訓制度具有重要啟示。傳統做法通常是選拔早期表現最優異的年輕人，再透過密集的專項訓練加速其發展。然而，此研究顯示這種模式雖能培養出短期的高成就者，卻可能犧牲了長期世界級成就的發展潛力。研究建議，選拔標準不應僅著眼於早期頂尖表現，而應鼓勵青年階段進行多年的多元領域練習，並將評估制度的重點從短期表現轉向長期發展軌跡的追蹤。這些原則若能落實，或許能為科學、體育、音樂等各領域培育出更多真正的世界級人才。

AI 進入校園重構學習評量模式：「因勢利導」

《Nature》(2025) 指出，自 2022 年底 ChatGPT 啟世後，生成式 AI 在高等教育中的使用快速擴大，英國大學生使用率於 2025 年已達九成以上，對學習與評量公平性帶來明顯衝擊。傳統以論文為核心的評量方式因難以辨識學生實際理解與思考歷程而受到挑戰，短期因應措施如 AI 偵測、口試或反思性作業成效有限。作者主張需重新設計評量模式，並提出三項方向：一是以 AI 支援的對話式評量，透過動態互動蒐集學習證據；二是導入持續性、低風險評量，累積學生意期學習軌跡，降低考試壓力與不誠實行為；三是將評量重心轉向創造力、協作與同理心等高階與人際能力，並允許 AI 作為學習夥伴。為使上述轉型可行，大學需同步強化師生 AI 素養、建立清楚的使用規範，並培養支持負責任 AI 整合的學術文化，以確保 AI 能促進而非削弱學習與評量。然文中方法仍屬消極策略，如何建立專業知能結合 AI 輔助提高創造與生產能力並且運用 AI 治理提高社會與產業導入為 AI 及社會經濟共榮發展當前重要課題。

影像輔助 XAI 臨床應用治理

在《黑色止血鉗》的劇情中，高階醫師引進名為 SNIPE 的微創手術工具。此一技術如同高度精準的手術系統，能在嚴格受控的條件下，協助醫師完成過去僅能由少數頂尖外科專家執行的高難度二尖瓣置換手術。過往，這類手術高度依賴個人天賦與長期累積的臨床經驗，被視為典型的「職人型」醫療技術；然而，在 SNIPE 系統的輔助下，經過標準化訓練的一般醫師，也得以在安全範圍內完成相同療程。隨著兩例高度挑戰性



的手術成功完成，SNIPE 的臨床可行性獲得實證支持。東城大學隨即決定全面導入此一系統，並同步展開院內訓練，讓更多臨床人員熟悉其操作流程。此一轉變，不僅提升了高難度醫療的可近性，也使原本高度集中於少數菁英的醫療模式，開始出現結構性的改變。然而，這樣的進展同時也動搖了既有的專業階序與傳統技術價值，成為院內討論與衝突的起點。高階醫師引進 SNIPE 技術動機源自具體而迫切的臨床需求。高階醫師過去在帝華大學醫院服務期間，曾照護一名罹患先天性二尖瓣閉鎖不全的七歲女童。該名病童同時合併凝血功能障礙與血小板過低，且體內已產生輸血抗體，使傳統開胸手術面臨極高的出血與死亡風險。在當時的醫療條件下，幾乎不存在安全可行的治療選項。隨著 SNIPE 技術逐漸成熟並被證實具臨床可行性，該名病童被轉介至東城大學，嘗試以微創方式完成二尖瓣置換，為其爭取長期存活與生活品質的可能。即便如此，院內評估仍認定此為高度風險的醫療決策，一旦失敗，不僅攸關病童生命，也可能對醫院造成重大衝擊。然而，臨床團隊最終選擇以病童的長期利益為核心考量，而非僅止於風險規避。在全院會議中佐伯教授指派渡海為主刀醫師，但渡海質疑棄傳統技術改投 SNIPE 懷抱治療如同否定既有技術與其所代表的醫療價值，因此拒絕擔任主刀醫師。經過反覆討論後，臨床團隊逐漸形成共識，關鍵在於如何整合兩者的優勢達到成功治病患目的。實際執行過程中，SNIPE 系統原為成人設計，其器械尺寸對兒童心臟而言過大，可能導致顯著失血風險，多次模擬手術亦難以在不輸血的條件下完成標準流程。渡海運用對病童個別解剖特徵深入理解後利用小春先天性心房中膈缺損已 SNIPE 瓣膜置換模組結合心導管工具經由靜脈進入右心房，再穿越中膈缺損進入左心，順利完成小春二尖瓣置換。此一成功案例顯示，醫療科技的價值並非取代專業，而在於擴展專業的可能性。先進工具若缺乏臨床判斷與責任承擔，無法獨立發揮效益；反之，若僅依賴既有技術而排斥新工具，也可能錯失治療契機。這正是當前醫療人工智慧與可解釋人工智慧所面臨的核心課題：真正的挑戰，不在於技術是否足夠強大，而在於如何在制度、專業與倫理的框架下，使科技成為可被理解、可被信任，且可歸責輔助力量。《黑色止血鉗》所呈現的，並非單一醫療技術的突破，而是當代健康照護模式的結構性轉變。現代醫療已逐步從以



預防為核心，發展至以預測、個人化，乃至病人參與決策為導向的照護體系。過去對人工智能的討論，多集中於技術與硬體層面，例如算力、晶片與新型設備的發展。然而，技術是否先進，並不等同於能否被長期且負責任地使用。真正關鍵的問題，在於人工智能是否能被納入制度，成為人類社會可理解、可監督、可究責的工具。從 4P 健康照護治理的觀點來看，預防醫學強調替代方案的存在與比較，關係到病人自主權；預測醫學必須區分族群風險與個案風險，其治理邏輯截然不同；個人化醫學關注資訊深度，哪些解釋真正對個案具有臨床意義；而參與式醫療則進一步要求，醫療決策能清楚呈現不同選擇及其後果。這些問題，已超越單純的演算法效能比較，而必須結合法律、倫理與制度設計來回應。因此，從技術 AI 走向 Legal XAI，並非附加選項，而是醫療人工智能發展的必要路徑。

以 BRCA 基因突變個案為例，可以清楚看見醫療決策如何隨著風險評估工具的演進而改變。安潔莉娜・裘莉因帶有 BRCA1 基因突變，具有極高的乳癌風險。根據當時的臨床證據，預防性雙側乳房切除手術可將未來乳癌發生風險，從原本估計的約 87% 降至 5% 以下。這項決策並非情緒性的選擇，而是建立在當時可得的風險評估模型與臨床實證之上。然而，這個案例同時也突顯了一個關鍵問題：在高風險情境下，是否僅存在單一路徑的醫療選擇。從預防醫學的角度來看，決策不應只回答「能否降低風險」，而必須進一步思考是否存在替代方案。隨著醫學發展，乳癌的風險管理已逐步納入更多選項，包括密集臨床追蹤、預防性荷爾蒙治療，以及新興的分子標靶與基因調控技術。這些替代方案，並不否定預防性手術的價值，而是擴展了風險治理的可能性。另一方面，乳癌風險評估本身也持續演進。自 1980 年代起，美國即發展出 Gail model，嘗試透過年齡、生殖史、家族史等因子，估計個人乳癌風險。隨後，各國陸續發展在地化模型，台灣亦建立結合本土女性生殖特徵與流行病學資料的風險預測工具，進一步評估 BRCA1 與 BRCA2 高致病性基因的可能性。隨著資料規模擴大與計算能力提升，風險預測模型逐漸從簡單分數計算，演進為多因子、動態更新的風險估計系統。這類模型不再僅提供單一數值，而是協助個人理解自身風險位階，並在不同醫療選項之間進行比較。



隨著研究進展，乳癌風險的標記已逐步從早期以生育史與荷爾蒙暴露為主的流行病學因子，轉向更直接反映腫瘤本質的生物特徵。現代醫療關注的核心問題，已不只是「是否會發生癌症」，而是能否在極早期階段，辨識腫瘤的生物學特性。在腫瘤分子層次，乳癌的分類高度依賴荷爾蒙與生長因子受體的表現型態。例如，ER 與 PR 陽性的管腔型乳癌，通常對荷爾蒙治療反應良好，臨床預後相對較佳；相對地，ER、PR 與 HER2 皆為陰性的三陰性乳癌，缺乏明確治療標靶，往往代表較高侵襲性與較差預後。這類分子標記，已成為治療策略與預後評估的重要依據。近年來，研究進一步擴展至細胞間訊息傳遞的層次。外泌體被視為腫瘤微環境中關鍵的訊息載體，腫瘤細胞可透過外泌體釋放 microRNA 與其他分子訊號，影響周邊正常細胞，使其逐步轉變為有利於腫瘤生長與轉移的狀態。若能有效解析這些訊息流動的規律，將有助於早期偵測與風險評估。然而，外泌體所承載的資訊高度複雜，已非傳統分析方法所能負荷，這正是人工智能介入的關鍵場域。

在影像層次，乳房攝影的影像生物標記同樣展現重要價值。研究顯示，約 75% 的乳癌起源於終末小葉導管單位，這類病灶若能透過篩檢及早發現，整體預後相對良好。然而，仍有約 20% 的乳癌源自乳腺管內結構，另有約 5% 與間質幹細胞相關，這些類型往往進展快速、侵襲性高，卻較不易在傳統篩檢中被早期辨識，對臨床造成重大挑戰。因此，乳癌的精準醫療已不再只是單一分子或單一影像特徵的問題，而是如何整合分子標記、影像特徵與臨床資料，建立可解釋、可驗證的風險判讀架構。人工智能的角色，正是在於協助解析這些高度多維且複雜的資訊，為早期偵測與個人化治療帶來新的可能。

以個案為例一位婦女在最後一次乳房 X 光攝影中由放射科醫師判讀確診為乳癌，同時，AI 系統亦在同一張影像中成功偵測到疑似病灶。AI 判定的高風險位置以及 XAI 所呈現的 Grad-CAM 視覺化結果，顯示模型進行判斷時所依據的影像特徵。然而病患在過去四年間，其實曾接受過多次乳房攝影檢查。當這些既往影像重新交由 AI 分析後，發現 AI 早在三至四年前，便已在相同區域偵測到逐步累積的異常訊號。透過 XAI 的輔助，這些早期變化不僅能被標示出位置，也能清楚呈現其判斷依據，使臨床醫師得以



理解 AI 為何在當時即提出風險警示。影像解釋能力正是 XAI 在臨床上的關鍵價值所在。它不僅為醫師提供額外的決策資訊，也讓病患與社會大眾更容易理解 AI 判斷背後的理由。

醫學影像中 XAI 的應用正快速發展。然而，從目前實際產品的設計來看，多數醫學影像 AI 仍以最基礎的預測輸出為主，其核心功能集中在病灶的「分流」與「偵測」，多半僅提供二元判定結果，也就是「是」或「否」。能進一步提供分數型風險評估的產品比例不高，而真正能進行多類別風險分類者則更為少見。這樣的設計趨勢，也反映在目前 XAI 的實作現況上。雖然 XAI 的解釋形式正逐步多元化，但在多數產品中，所謂的「解釋」仍停留在病灶定位層級，也就是指出影像中哪一個區域受到模型關注。然而，單純的病灶定位，並不等同於臨床上可被理解的惡性判斷依據。隨著研究進展，部分系統已開始嘗試更進階的 XAI 表現方式，包括結合語意描述、量化風險資訊，說明病灶的大小、形狀、邊緣特徵與預測機率，甚至納入參考案例影像，進行跨病例的比較。然而，能進一步提供反事實解釋的系統仍屬少數，例如回答「若不採取某項決策，結果是否會不同」這類關鍵問題，目前仍鮮少有產品真正進入臨床應用。

現行醫學影像 AI 的輸出資訊密度偏低，但對臨床流程的影響力卻相當高。多數系統被設計為嵌入式輔助工具，主要目的在於提升分流效率與偵測敏感度，而非直接支援診斷或採檢決策。即便有提供 XAI，其形式也多集中於視覺標示，距離真正可支持臨床推論、法律責任與病人溝通，仍存在明顯落差。也正因如此，XAI 在醫學影像中的角色，並非附加功能，而是未來精準醫療與數位雙胞胎（digital twin）決策架構中不可或缺的核心環節。唯有當 AI 的預測結果能被清楚解釋、比較與回溯，醫療決策才可能進一步走向共享決策與制度化治理。

當代醫學影像 XAI 技術已涵蓋影像收集、前處理、特徵萃取、模型訓練與預測等完整階段，相關方法在技術層面已相當成熟。近年來，SHAP、LIME、Anchor 等 XAI 工具的引入，使模型能夠提供個人化的貢獻解釋，協助臨床理解 AI 的預測結果。然而這類方法多半仍停留在「結果層級」的解釋，尚無法完整呈現 AI 在整體決策流程中的



推論邏輯。因此 XAI 的發展逐漸從單純的技術輔助，邁向結合評估、審查與治理的智慧導航系統。這不僅涉及模型效能，更關乎是否符合法律與倫理規範，例如病人自主權、個人資料保護與醫療法等要求。技術基礎必須與法律解釋工具、應用場域與知識體系相互整合，才能在評估與審查階段確保解釋的正當性與可追責性。

在此脈絡下，XAI 的治理重點在於確保系統具備透明性、可重現性與責任歸屬，建立醫師、病人與 AI 之間的信任關係。就臺灣的 XAI 治理而言，可歸納為五個面向：第一，法規與倫理符合性，不得以黑箱模型作為免除說明責任的理由；第二，解釋責任分層，病人端需提供個案化、對比式與可行動的解釋，制度端則須說明系統層級的審核與公平性；第三，防範行為與資料偏誤，避免定錨效應與過度簡化；第四，進行行為實證評估，檢視不同 XAI 解釋形式對理解度、接受度與醫療遵從性的影響；第五，結合公共衛生政策，透過滾動式調整與回饋機制，使 XAI 真正成為提升醫療效能。

乳房攝影 XAI 影像輔助臨床實例

AI 技術已逐步融入醫學影像判讀流程，根據 McNamara 等人最新提出的架構，AI 工具現可全程支援從影像分流、判讀到臨床決策，大幅提升診斷效率與準確性。傳統影像判讀流程仰賴放射科醫師依照檢查清單進行個別影像閱片，判讀結果再交由臨床決策參考。而在 AI 輔助流程下，AI 可於影像擷取後即刻啟動，透過「CADt（分流）」機制進行優先排序，加速重點影像的閱片進程。AI 輔助系統進一步可分為三類功能：CADe（偵測）：標註可疑區域，提升可疑病灶辨識率；CADx（診斷）：協助給出風險評分或疾病機率；CADe/x（整合式輔助）：同時提供偵測與診斷建議。最終甚至可透過 CADa（決策支援）直接提出後續處置建議，降低臨床判讀負擔。架構特點在於：「AI 由輔助工具升級為流程整合夥伴」，讓醫師可在判讀工作站即時取得 AI 輔助意見，再做出最終臨床決策。近年來美國 FDA 核准的醫學影像 AI 輔助工具數量顯著成長，主要集中在「輔助分流（CADt）」類產品，因其在風險界定上相對明確，較易取得臨床認可。相較之下，「輔助診斷（CADx）」與「自動決策（CADa）」等工具，雖展現潛力，但因自主判讀涉及的臨床責任歸屬較為複雜，目前成長幅度有限。整體趨勢顯示，未來 AI 工具



的定位需審慎評估其預期用途與臨床風險責任之間的關係。

2020 年 Kim 等人發表以多中心研究探討深度學習輔助系統在乳房攝影診斷中的應用成效。該研究採用回溯式多階段設計，先收集來自多機構的乳房影像資料，建立參考標準後，邀請放射科醫師進行兩階段判讀測試。研究重點包括：評估 AI 模型對臨床影像判讀準確度與召回率的影響；比較有/無 AI 輔助情境下醫師判讀的差異；結合主觀問卷與審查者回顧評估整體 AI 效益。實驗發現，在加入 AI 輔助後，部分醫師在判讀指標上有顯著改善，顯示 AI 系統可作為提升臨床判讀效能的潛在工具。為建立高品質乳房攝影資料庫以支持人工智慧訓練與臨床研究，研究團隊整合自南韓、美國與英國三地醫療機構的影像資料，涵蓋 2000 至 2018 年間共 50 家醫院，受檢者平均年齡約 50 歲。資料來源包含癌症確診與良性個案，並以手術或追蹤影像作為標準確認依據。該研究納入的影像來自多家主流設備廠牌（如 GE、Hologic、Siemens），藉此提升模型泛化能力，並降低設備間的偏差風險。資料建置規範亦明確指出：同一時間點每位女性僅納入一筆檢查資料，可納入同位女性於不同時間點的多次檢查，惟每次視為獨立影像。透過嚴謹的資料來源確認與設備多元性，團隊期盼能為乳房 AI 模型訓練奠定穩固基礎，提升真實世界應用表現。輸入為同一受檢者的多視角乳房攝影（包含左右乳房的正位 CC 與側斜 MLO，共四張）。AI 先對每張影像做逐張分析，利用深度學習網路（ResNet-34）進行主幹特徵萃取，接著透過反卷積/上採樣模組把「模型關注的區域」映射回原圖，形成熱圖。熱圖的高亮點代表影像中較可疑的區塊，最後在輸出端以標記方式提示疑似病灶位置，協助醫師快速聚焦。第二張圖則展示正位與側斜投影的實際影像外觀，用來確認同一可疑區是否在不同角度一致出現，並同時觀察乳腺密度、結構扭曲、腫塊輪廓或鈣化分布，讓 AI 的提示能與臨床閱讀流程整合、降低誤判風險。

該評估文獻列舉兩個真實個案：在沒有 AI 時，多位放射科醫師對個案是否需要召回（進一步檢查）意見分歧，加入 AI 後，系統會在影像上以熱圖標出高度可疑的位置，並給出異常分數，提醒醫師注意。結果顯示，在 AI 輔助下，更多醫師能正確辨識出這些病灶並建議召回。無論是整體判讀表現、不同資歷的醫師、不同乳房密度，或不同病



灶與病理結果，醫師在搭配 AI 時的敏感度都明顯高於單獨判讀。整體而言，AI 可提升判讀敏感度約 8 – 15%，幫助發現原本容易被忽略的異常，同時並未增加不必要的召回率。整體評估顯示 AI 的偵測率高於單獨由醫師判讀，而兩者結合時效果最佳；但仍約有 8% 的乳癌病灶是 AI 與醫師皆未能偵測，顯示乳房攝影本身仍有影像上的限制。從病灶特徵來看，AI 在腫塊與緻密行乳房等具有明顯影像訊號的病灶上表現較佳，有助於提高醫偵測率。結構扭曲或不對稱這類變化較細微、需整體結構判斷的病灶 AI 亦可輔助醫師提高偵測率。。以乳癌分子亞型分析，Luminal A 與 Luminal B 的偵測率相對較高，而 HER2 陽性與三陰性乳癌則屬不易判讀族群。綜合評估結果顯示 AI 能有效補強醫師在部分影像特徵上的不足，但仍需與臨床專業判讀相互搭配。

以上內容將在 **2026 年 1 月 7 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