

出國報告（出國類別：開會）

世界移植大會 2025 舊金山心得報告

服務機關：臺中榮民總醫院腎臟科

姓名職稱：游棟閔主任

派赴國家/地區：美國/舊金山

出國期間：114年8月2日至114年8月6日

報告日期：114年9月1日

摘要

關鍵字：

2025 年 8 月於美國舊金山舉辦的 **世界移植大會 (World Transplant Congress, WTC)**，是目前國際上器官移植領域規模最大、影響力最廣的學術盛會之一。本次大會吸引來自世界各地數千位專家學者、臨床醫師與基礎研究人員，針對**基因改造豬器官移植 (xenotransplantation)**、**幹細胞治療**、**免疫調控**、**人工智慧在移植中的應用** 等前沿議題，進行了深入交流與案例分享。本文旨在整理本次大會的重要議題，並加入個人思考與學術討論，從臨床案例到前瞻性研究，全面回顧移植醫學領域的最新進展。全文共分為五大部分，另於結尾提供**總結與展望**，並於附錄整理出大會議程摘要表格，方便長官快速掌握議程結構。

本次很榮幸能在醫院長官大力支持鼓勵之下，發表於大會論文一篇，最主要是延續去年發表的 C 型肝炎腎臟移植患者容易發生肝臟相關併發(已發表於 *Scientific reports*, IF:3.9)。此次主題主要探討提早使用 DAA 藥物的效果，題目為 “C 型肝炎腎臟移植患者之 DAA 治療影響”。

目 次

一、 目的.....	1
二、 過程.....	4
三、 心得.....	18
四、 建議事項.....	19

一、目的

前言

2025 年 8 月於美國舊金山舉辦的 世界移植大會（World Transplant Congress, WTC），是目前國際上器官移植領域規模最大、影響力最廣的學術盛會之一。本次大會吸引來自世界各地數千位專家學者、臨床醫師與基礎研究人員，針對 基因改造豬器官移植（xenotransplantation）、幹細胞治療、免疫調控、人工智慧在移植中的應用 等前沿議題，進行了深入交流與案例分享。本文旨在整理本次大會的重要議題，並加入個人思考與學術討論，從臨床案例到前瞻性研究，全面回顧移植醫學領域的最新進展。全文共分為五大部分，另於結尾提供 總結與展望，並於附錄整理出 大會議程摘要表格，方便長官快速掌握議程結構。

1. 大會基本資訊

主辦單位：AST（美國移植醫學會）、ASTS（美國移植外科醫學會）、TTS（國際移植學會）

時間：2025 年 8 月 2 日（週六）至 8 月 6 日（週三）

地點：美國舊金山 Moscone Center

參加人數：約 7,000–8,000 名國際學者與臨床專家

海報數目：依議程表顯示，約 600–700 張學術海報

2. 主題大類整理

(A)科學研究與臨床實踐

內容：移植臟器相關的基礎研究、臨床試驗、新型免疫抑制劑、耐受性、幹細胞應用。

形式：Plenary Session（主題演講）、口頭報告、海報展示。

代表性議題：幹細胞 β 細胞移植、移植耐受性、與免疫調控（Tolerance Workshops）

(B)教育與專業訓練

內容：專業工作坊（Workshops）、早期職涯課程（Early Career Networking）、多專科臨床案例分。

場次：Pre-Congress Workshops（8/2）至少 8 場，內容涵蓋：

學術職涯發展 (WS01)、感染控制 (WS03 – Transplant ID)、異種移植法規挑戰 (WS04 – Xenotransplantation)、肥胖與移植 (WS06 – Obesity Management)、藥物管理與 AI 工具 (WS08)

(C)交流與社群活動

Networking Events :

歡迎酒會 (8/2)、多元、公平、共融酒會 (8/3)、初階研究員早餐會 (8/3)、女性與少數族群職涯發展酒會 (WHCOP & WIT Reception)

參與人數：預計 數百至上千人 參與社交場合，促進國際交流與合作。

(D)學會官方活動

AST / ASTS / TTS 主席演講與 Town Hall：分享年度里程碑與政策方向。

討論全球器官捐贈、反對器官買賣、國際合作等。

閉幕全體會議：綜合反思、未來挑戰與全球合作。

(E)展覽與產業支持

參展單位：包含 >200 家機構與企業，如 Alexion, Biogen, CareDx, Merck, Sanofi, Takeda, TransMedics, Natera 等。

展覽地點：Moscone South - Exhibit Hall AB

展覽內容：醫藥公司新品發表、器官保存技術、診斷工具、細胞療法平台。

特別議程：Industry Supported Symposia (至少 18 場)，主題涵蓋 腎臟移植、免疫抑制策略、抗病毒治療、器官保存技術 (HOPE, OCS)。

3. 海報展示 (Poster Sessions)

數量：每日約 170–200 篇，共 600 篇海報研究

時間安排：**8/3 (週日)**：第一輪海報展示 + Reception；**8/4 (週一)**：第二輪海報展示 + Reception；**8/5 (週二)**：第三輪海報展示 + Reception

涵蓋主題：心臟、肝臟、腎臟、肺臟移植，以及免疫學、幹細胞、臨床追蹤與公共衛生政策。

4. 綜合說明

世界移植大會 WTC 2025 是十年一次的全球性盛會，融合了學術研究、臨床應用、國際合作、教育培訓與產業展示。

學術層面：前沿科研成果與臨床試驗的交流。

教育層面：為年輕學者與專業人士提供進修機會。

社交層面：跨國醫師、科學家、產業代表的交流合作平台。

產業層面：展示最新移植醫療與藥物創新，推動

二、過程

(一)職發表臨床研究論文一篇

本次很榮幸能在醫院長官大力支持鼓勵之下，發表於大會論文一篇，最主要是延續去年發表的 C 型肝炎腎臟移植患者容易發生肝臟相關併發(已發表於 Scientific reports, IF:3.9)。此次主題主要探討提早使用 DAA 藥物的效果，題目為“C 型肝炎腎臟移植患者之 DAA 治療影響”。

1.研究目的

本研究的主要目的，是評估在腎臟移植前接受直接作用抗病毒藥物(DAAs)治療的 C 型肝炎(HCV)感染患者，是否能減少移植後的腎功能惡化與移植物失敗風險，並進一步驗證其對整體預後的影響。

2.研究結果

分析結果顯示，接受 DAA 治療的患者，其腎臟移植存活率明顯高於未接受者。經統計調整後，移植腎失敗的風險比降至 0.517 ($p < 0.001$)，血清肌酸酐升高至 $>6 \text{ mg/dl}$ 的發生率也顯著降低 (aHR: 0.583, $p < 0.001$)。整體而言，DAA 治療組的腎功能維持與長期預後均優於未治療組，這一結果具有高度臨床意義。

3.研究結論

研究證實，對於 HCV 感染的腎臟移植患者，若能在手術前接受 DAA 治療，能夠有效降低移植物失敗率並改善腎臟功能。這也代表著「移植前清除 HCV」應被視為標準治療流程之一，並應積極推廣於臨床實務。

4.臨床應用與對 C 型肝炎治療的改變

治療策略轉變：DAA 的高治癒率與良好耐受性，讓「先治療 HCV，再進行腎臟移植」成為臨床新準則。提升移植成功率：DAA 治療能有效增加腎移植物的存活率，改善手術後長期預後。改善生活品質：減少腎功能惡化，降低患者長期接受透析或再次移植的風險。臨床決策支持：提供腎臟科與移植團隊有力的實證依據，確立 DAA 在臨床路徑中的重要角色，目前本研究已經撰寫成論文正在投稿中。

接下來是參加這次大會期間相關的議程心的報告。

(二)基因改造豬腎臟移植：臨床預後與基礎研究

腎臟衰竭是一個全球性的重大公共衛生問題，患者不僅需承受透析治療的痛苦，生活品質也受到極大影響。傳統的腎臟移植雖然是最佳治療方式，但由於供體不足，許多患者終其一生無法等到合適器官。基因改造豬腎臟移植因此成為解決供體不足的重要策略。過去的異種移植之所以困難，主要在於「超急性排斥」(Hyperacute Rejection)。這種現象常發生於數分鐘至數小時內，患者體內的天然抗體會迅速攻擊豬腎臟細胞表面的 α -Gal 抗原，導致血管內皮破壞與器官壞死。

然而，隨著基因編輯技術的進展，研究者成功刪除了 α -Gal 抗原基因，並額外加入人類補體調節蛋白如 CD46、CD55、CD59，以降低免疫系統攻擊。此舉大幅改善了異種移植的存活率。臨床方面，部分試驗案例報告指出，接受基因改造豬腎臟的患者在數週至數月內腎功能能夠維持，尿液生成與代謝功能均屬正常。雖然最終仍會面臨排斥或感染，但與早期相比，進展已屬重大突破。更重要的是，基因改造豬腎臟已開始由「動物試驗」邁向「人體臨床」，顯示此領域的研究已進入轉譯醫學新階段。此外，基礎研究部分針對免疫反應與血液相容性進行深入探討。

血管內皮細胞與凝血系統的交互作用、補體活化的調控機制、以及人類免疫細胞對豬組織的適應性，都是研究焦點。這些研究成果為未來建立長期存活模式提供了理論依據。然而，異種移植仍存在風險。首先是豬內源性反轉錄病毒 (PERV) 的跨種感染風險，雖目前尚未見明確案例，但長期追蹤仍有必要。其次是倫理與社會接受度問題，部分文化與宗教對「動物器官進入人體」持保留態度。因此，除了科學突破外，如何增進大眾接受度與法律規範同樣重要。

未來展望方面，基因改造將持續朝向「多重基因編輯」發展，以更精準調控免疫反應；同時，與免疫抑制藥物的聯合應用將有助於延長異種腎臟的存活時間。整體而言，基因改造豬腎臟移植是器官短缺危機下的重要希望。

2.1 技術背景

基因改造豬器官移植 (xenotransplantation) 因其供應潛力，被視為解決器官短缺的希望。近年來，透過 CRISPR-Cas9 基因編輯，科學家已經能有效刪除 α -Gal (galactose- α 1,3-galactose) 抗原，減少 hyperacute rejection (超急性排斥反應)。同時，加入人類補體調控基因 (如 hCD46、hCD55) 亦能顯著降低免疫攻擊。

2.2 臨床案例

在本次大會上，來自美國與德國的團隊分享了首次將基因改造豬腎臟移植至臨終 ESRD 病人的臨床案例。這些患者在免疫抑制劑支持下，短期內腎功能恢復良好，尿量產生，肌酸酐下降。部分患者甚至維持了數週的穩定腎功能。

2.3 預後分析

儘管短期結果令人振奮，但仍存在重大挑戰：

免疫排斥：部分患者仍出現 acute vascular rejection。

病毒風險：豬內源性逆轉錄病毒（PERV）雖已降低，但仍需長期監控。

倫理與社會接受度：涉及跨物種移植的文化與宗教爭議。

2.4 基礎研究挑戰

研究者指出，即便完成基因編輯，豬與人類之間的血液凝固系統差異依舊會造成移植後血栓形成。如何進一步改造豬血管內皮，仍是重大挑戰。

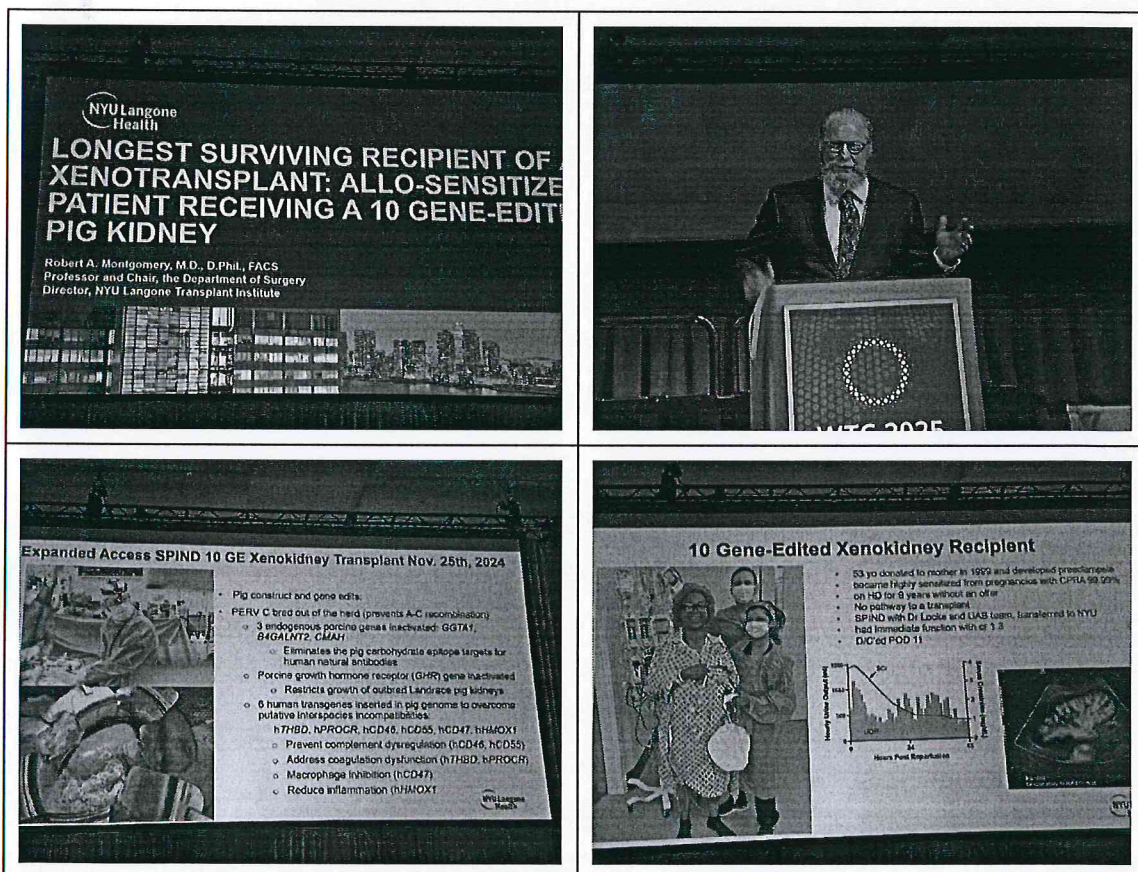
2.5 討論 (Discussion)

本次討論指出，基因改造豬腎臟移植不僅是一項技術突破，更是臨床需求與科學倫理之間的平衡。研究人員展現 CRISPR 基因編輯技術在臨床醫學的可行性，並重新定義「可供移植器官」的來源。即便是短期功能恢復，但尚無長期數據支持能達到人類腎臟移植的 5–10 年存活率。目前美國偏重臨床試驗案例，中國與日本則投入於基因改造豬繁殖與安全性研究，歐洲則著重倫理與法規。異種移植的未來可能會結合免疫耐受誘導 (tolerance induction) 與生物材料學 (biomaterials)。例如，使用生物支架來物理隔離器官與宿主免疫系統，降低免疫攻擊。

內容（大會簡報截圖，與臨床案例相關）：

標題：Genetically Modified Pig Kidney Transplantation – Clinical Experience

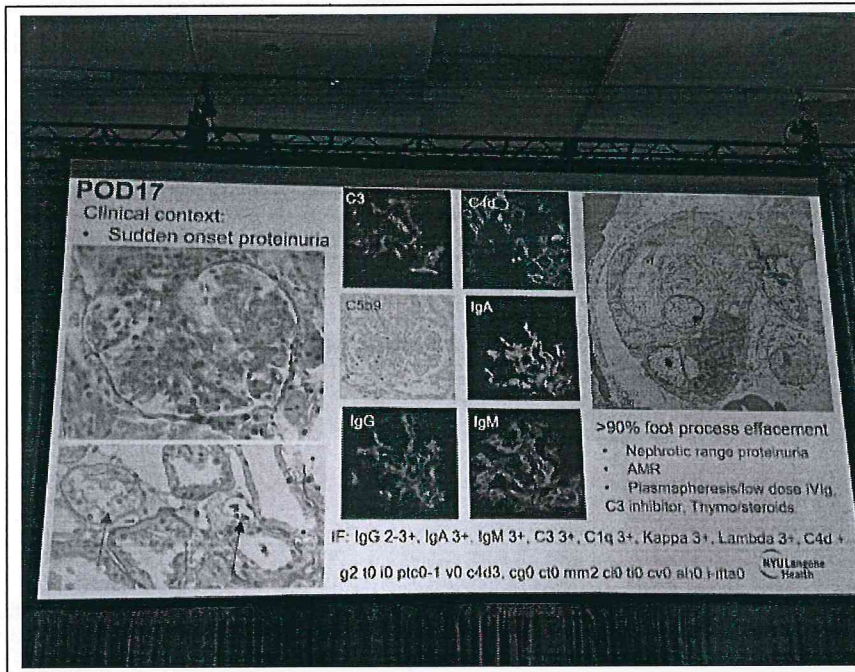
重點：描述第一例將基因改造豬腎臟移植至 ESRD 病人的過程。圖表顯示腎功能在移植後恢復，尿量顯著增加，血清肌酸酐 (serum creatinine) 下降。附有術後第 1–14 天的臨床數據追蹤。



第二章 2.2 臨床案例 中「短期腎功能恢復」的段落，佐證報告。

內容（腎功能曲線圖）：Post-Transplant Kidney Function Monitoring

重點：顯示尿量（urine output）隨時間穩定增加。血清肌酸酐（creatinine）自 10 mg/dL 降至 2 mg/dL 以下。標註了 immunosuppressive regimen（免疫抑制療程），例如 Tacrolimus 與 Mycophenolate mofetil。



上圖內容（免疫組織學分析圖）是 Histopathological Assessment of Xenograft

重點：圖像顯示腎臟切片的 H&E 染色。Mild acute vascular rejection，但在免疫抑制下獲得控制。白血球浸潤（leukocyte infiltration）較少，血管結構大致保存。

如圖所示，移植後患者尿量明顯增加，血清肌酸酐快速下降，顯示腎功能獲得初步恢復。後續追蹤數據（圖 2-2, IMG_3086）進一步證實腎臟功能於術後兩週內穩定。免疫組織學檢查（圖 2-3, IMG_3083）則揭示了輕度急性血管排斥，但在免疫抑制下得到有效控制。

雖然在免疫抑制支持下病變得到控制，但組織切片中仍可見部分白血球浸潤（leukocyte infiltration）。這提醒我們，即便基因改造技術能夠顯著降低排斥反應的嚴重性，人體免疫系統仍會針對外來器官產生獨特的反應，需要進一步透過新一代免疫學工具（例如單細胞 RNA-seq、空間轉錄體學）加以研究。此外，雖然目前研究團隊已大幅降低豬內源性逆轉錄病毒（PERV）的感染風險，但長期追蹤資料仍不足，無法完全排除潛在的公共衛生隱憂。這些議題使 xenotransplantation 的推進不僅是科學問題，也是一個跨領域的社會與政策挑戰。綜合來看，這些臨床案例提供了極具價值的證據，證明基因改造豬腎臟能夠在 ESRD 病人中短期發揮功能，並透過常規免疫抑制劑維持穩定。然而，長期效果仍待觀察，尤其是在慢性排斥、病毒風險與社會接受度方面。未來的研究應結合分子

生物學與臨床醫學，利用先進的免疫監測工具追蹤細胞與分子層面的變化，並同時推動倫理、法規及社會溝通的框架，為 xenotransplantation 的真正臨床落地鋪路。

目前台大醫院移植科主任李志遠教授已經開始相關的聯繫接觸，主要是哈佛大學的移植團隊與 eGENESIS 生技公司。本院泌尿部主任李建儀主任也表示已經有院內同仁在哈佛大學進修並進行相關事宜，非常期待

(三)幹細胞治療第一型糖尿病

第一型糖尿病 (Type 1 Diabetes Mellitus, T1DM) 是一種自體免疫疾病，患者的免疫系統攻擊胰島 β 細胞，使胰島素分泌不足，導致血糖長期失控。雖然外源性胰島素能改善代謝，但無法徹底恢復內源性胰島功能。近年來，幹細胞療法成為解決之道。誘導性多能幹細胞 (iPSC) 的發現，使得從患者自體細胞重新編程並分化為功能性 β 細胞成為可能。這項技術突破了器官或細胞來源的限制，並可避免來自他人細胞的免疫排斥。然而，iPSC 分化的細胞常存在成熟度不足與功能不穩定的問題。為此，本次大會展示了一種經過化學處理的 iPSC，能顯著提升 β 細胞的成熟度與胰島素分泌功能。臨床試驗數據相當鼓舞人心。

數名受試者在接受 iPSC 分化的 β 細胞移植後，血糖控制明顯改善，HbA1c 下降幅度顯著，並且每日胰島素使用量明顯減少。部分患者甚至能維持數月不需額外注射胰島素。這代表幹細胞療法已經從「理論研究」逐漸走向「臨床實用」。然而，挑戰依舊存在。首先，自體免疫反應是否會再度攻擊新植入的 β 細胞，仍需長期觀察。其次，腫瘤形成風險是 iPSC 最大的安全疑慮，必須確保移植細胞完全分化，避免殘留未分化幹細胞。最後，生產成本與標準化流程亦是實際應用上的門檻。未來，研究方向將聚焦於結合基因編輯技術，藉由修飾 iPSC 使其具有免疫逃逸能力，避免被自體免疫攻擊。同時，透過生物材料或封裝技術，能將 β 細胞保護於免疫屏障內，進一步提升存活率。若能解決這些挑戰，幹細胞療法將徹底改變糖尿病治療模式。

3.1 背景

第一型糖尿病 (T1DM) 為自身免疫性疾病，導致胰島 β 細胞被破壞，患者必須依賴終身胰島素注射。幹細胞治療的目標是透過誘導多能幹細胞 (iPSCs) 或胚胎幹細胞分化為 β 細胞，以恢復胰島功能。

3.2 大會報告

本次會議多場演講介紹了“經化學處理後的 iPSCs”，能分化為成熟胰島樣細胞，且在移植至患者後，血糖控制顯著改善。一些初步臨床試驗顯示，部分患者可以減少 50-70% 的外源性胰島素需求。

3.3 技術優勢

自體來源：降低免疫排斥風險。

規模化培養：可大量生產 β 細胞。

新一代細胞包埋技術：提升細胞存活率。

3.4 臨床限制

腫瘤風險：未完全分化的幹細胞可能導致畸胎瘤。

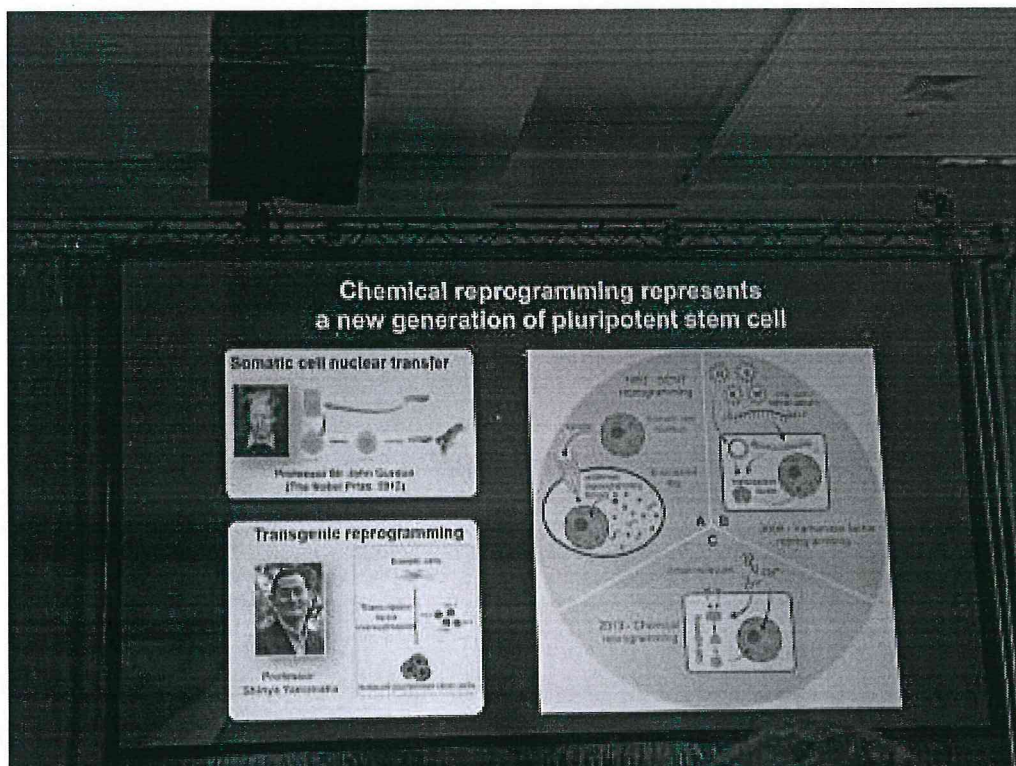
免疫攻擊：即便細胞來源為自體，仍可能遭到免疫系統破壞。

長期穩定性不足：目前追蹤數據大多僅限於數月。

3.5 討論 (Discussion)

幹細胞治療為 T1DM 提供了「功能性治癒」的可能，這不同於傳統胰島素療法僅能控制症狀。但是安全性仍是最大瓶頸，特別是腫瘤生成風險。

目前國際研究以美國 Vertex 公司為主，已經有臨床 II 期試驗，中國與日本則專注於細胞工程與免疫保護裝置。而未來將幹細胞治療與 基因編輯 結合，或能產生對免疫攻擊「隱形」的 β 細胞；另一方向是 智慧型細胞封裝裝置 (smart encapsulation device)，能根據血糖自動釋放胰島素。



此圖說明 1962 年：Gurdon 教授利用 體細胞核移植 成功將成體細胞回復至早期胚胎狀態（2007 年獲諾貝爾獎）。2006 年：山中伸彌教授提出 轉殖基因重編程 (Yamanaka 因子)，發現四個轉錄因子即可誘導成體細胞成為 iPSC (誘導型多能

幹細胞) (2012 年獲諾貝爾獎)。2013 年以後：進展到化學重編程，透過小分子藥物誘導，能在不改變基因的情況下，將細胞回復為多能性。此圖凸顯了化學重編程作為 最新一代、最具臨床潛力 的技術定位。

此圖說明化學重編程與基因轉殖重編程比較

此圖表比較了兩種細胞重編程方式：

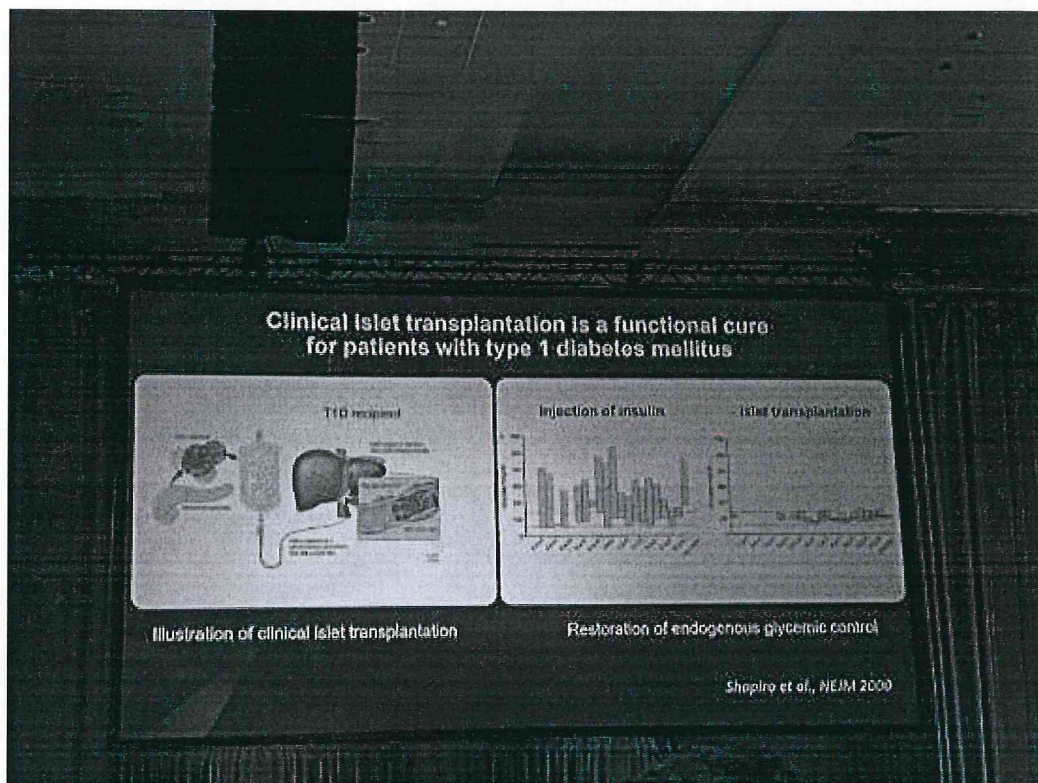
Transgenic Reprogramming (基因轉殖)

- 具有較高的細胞重編程效率，但在臨床安全性與靈活性方面存在顧慮。

Chemical Reprogramming (化學處理)

- 優勢在於操作簡單、可控性佳、可規模化，且安全性更高；
- 缺點是細胞再生與分化效率仍待提升。

右側表格總結了兩種方法在倫理、操作簡易性、可控性、細胞再生活化、規模化與安全性六大面向的比較，化學重編程在臨床轉譯上更具潛力。



上圖說明 胰島移植 (Islet Transplantation) 在第一型糖尿病治療的臨床應用

右圖：胰島移植示意圖，將健康供體的胰島細胞 (islets of Langerhans) 分離後，經由門靜脈輸注至病人的肝臟，讓胰島細胞能在肝臟內生存並分泌胰島素，達到血糖控制的效果。左圖：移植後的臨床成效數據。以 Shapiro 等人於 2000 年《NEJM》

發表的經典研究為例，接受胰島移植的第一型糖尿病患者術後展現出胰島素依賴度下降，部分患者甚至可暫時脫離胰島素治療。圖中顯示：

左側圖表：隨時間觀察，受術者逐漸減少外源性胰島素注射需求。

右側圖表：移植後，患者的血糖控制能力（endogenous glycemic control）明顯改善。

本次大會演講內容強調胰島移植不僅是一種概念驗證（proof-of-concept），而且已在臨床中顯示出功能性治療效果，為第一型糖尿病帶來實質性的「準治癒」方案。

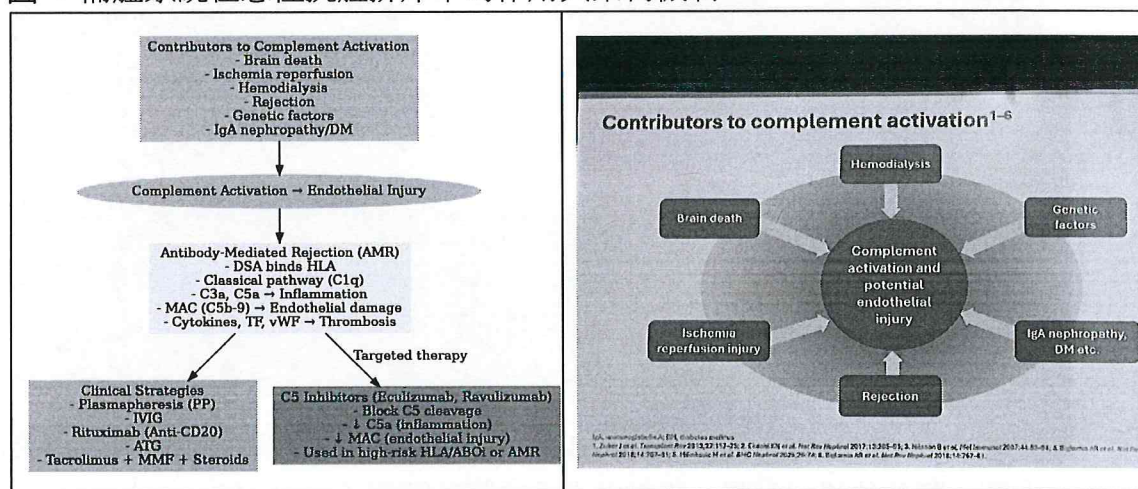
（四）免疫補體系統在腎臟移植的角色

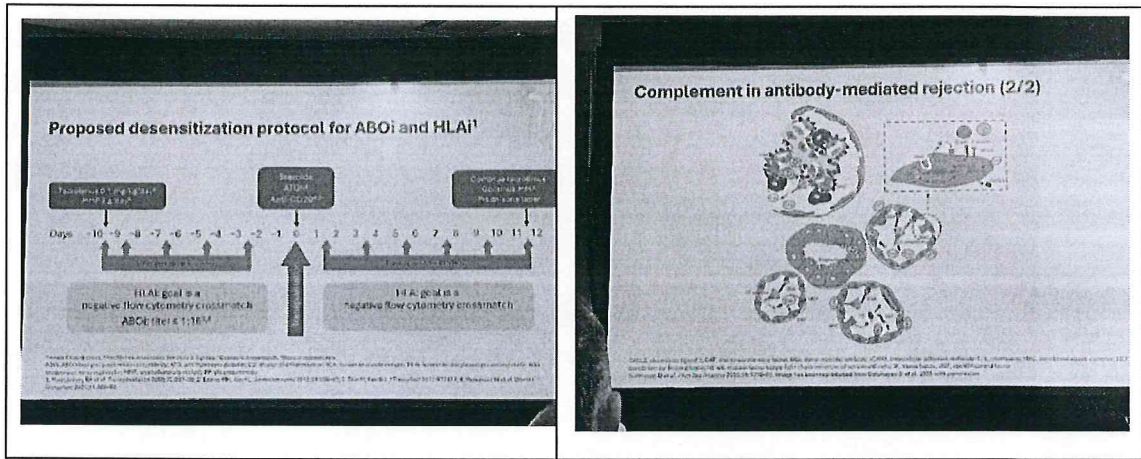
腎臟移植後的急性抗體排斥（Antibody-Mediated Rejection, AMR）是造成移植腎功能喪失的重要原因。當受者體內存在針對供體的抗體時，補體系統會被迅速活化，進而引發炎症反應與組織破壞。補體系統由多種血漿蛋白組成，啟動後會引發級聯反應，最終產生膜攻擊複合物（MAC），直接破壞細胞。近年來，針對補體系統的抑制藥物逐漸問世，例如 C5 抑制劑（如 Eculizumab）、C1q 抑制劑等。這些藥物能有效阻斷補體級聯反應，降低免疫攻擊。大會上報告了多個臨床案例，證實補體抑制劑能有效降低急性排斥的發生率，並改善腎臟功能。

患者的血清肌酸酐下降，腎小球濾過率改善，且副作用相對較少。相較於傳統免疫抑制劑（如大劑量類固醇或鈣調神經磷酸酶抑制劑），補體抑制劑在某些高風險患者中更具優勢。然而，補體抑制療法並非沒有問題。首先，藥物成本極高，限制了其廣泛應用。其次，長期抑制補體系統可能增加感染風險，特別是奈瑟菌感染。因此，如何平衡「降低排斥」與「維持免疫防禦」之間的矛盾，仍是臨床挑戰。

未來研究將致力於開發新一代補體調控藥物，並與其他免疫抑制策略結合，形成個人化治療方案。透過精準醫療，患者將能獲得最適合的免疫抑制組合。

圖．補體系統在急性抗體排斥中的作用與藥物機制。





補體系統在腎臟移植中扮演關鍵角色。從供者腦死、缺血再灌注、透析到排斥反應與合併疾病，皆可誘發補體過度活化，導致內皮細胞損傷與發炎反應，成為移植相關併發症的重要免疫機制。特別是在抗體介導排斥 (AMR) 中，供者特異性抗體 (DSA) 與移植物內皮 HLA 結合，啟動經典補體途徑，產生 C3a 與 C5a 招募發炎細胞，同時形成膜攻擊複合物 (MAC) 直接破壞內皮。內皮進一步分泌多種細胞激素與促凝因子，導致血管炎與微血栓，嚴重影響移植腎功能。臨床上，對於 ABO 或 HLA 抗體陽性的高風險病人，常透過血漿置換 (PP)、靜注免疫球蛋白 (IVIG)、利妥昔單抗 (Anti-CD20)、抗胸腺細胞球蛋白 (ATG) 及標準免疫抑制劑 (Tacrolimus、MMF、類固醇) 進行去敏化，以降低抗體及補體相關的損傷。

近年來，C5 抑制劑 (如 Eculizumab、Ravulizumab) 提供更精準的介入，能有效阻斷 C5a 與 MAC 的生成，減少內皮損傷與發炎反應，特別應用於高免疫風險或難治性 AMR 病人。整體而言，補體系統不僅是移植損傷的核心驅動力，也是臨床治療的重要介入點，未來 C5 inhibitor 的運用可能進一步改善高風險患者的移植預後。目前台中榮總對於補體抑制劑 C5 抑制劑 (如 Eculizumab、Ravulizumab) 的使用，已經累積難得寶貴的經驗。我們使用與罕見疾病溶血性(atypical hemolytic uremia syndrome; a HUS)腎臟衰竭患者在接受活體腎臟移植之前進行處理，確保這一類高危險失敗活體腎臟移植患者能獲得成功，在國內屬於領先的地位，國內目前只有幾家醫學中心有此類經驗，包括台大醫院 (一例)與林口長庚(一例)有進行此類的活體腎臟移植，台中榮總已經有兩例成功的腎臟移植患者。

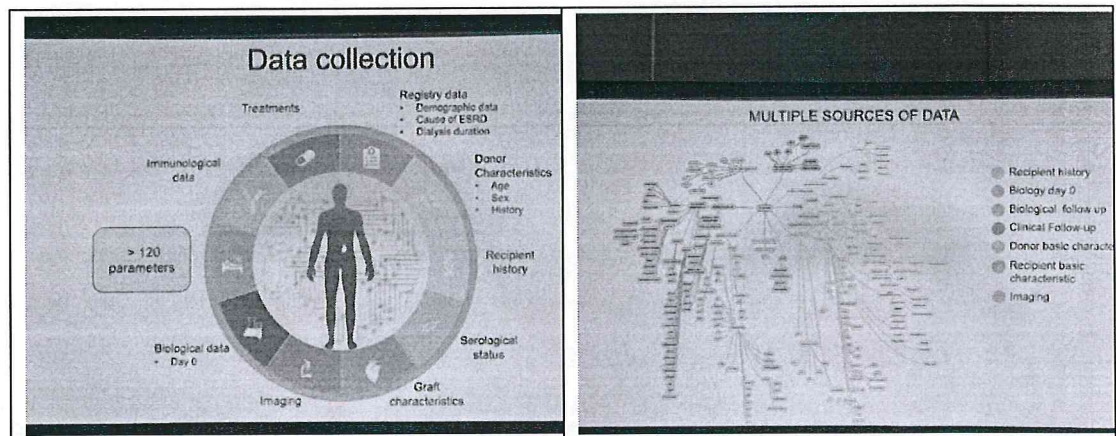
執行上的困難主要是藥物相當昂貴，每年的藥價超過新台幣 20,00 萬元。而血型不相容腎臟移植患者，台中榮總目前共 37 位，數目為全國第二位，落後台大醫院，但是存活率目前超過 10 年的有 3 位病人，目前暫時領先國內其他醫學中心，處於領先的地位。

(五) 人工智慧在器官移植中的應用

隨著醫療數據快速累積，人工智慧 (AI) 已經成為醫療領域的重要輔助工具。在器官移植中，AI 的應用具有多重層面，在術後管理上，AI 可用於預測排斥反應的風險。透過分析患者的免疫檢測數據與臨床表現，AI 能在早期預警排斥可能性，讓醫師提前調整免疫抑制劑劑量，避免移植腎受損。會議上有研究展示了一個結合影像學與基因數據的 AI 模型，能準確預測腎臟移植後一年內的存活率。

該模型不僅準確率高於傳統臨床判斷，還能幫助醫師針對不同風險群組制定個人化治療計畫。然而，AI 的應用仍存在挑戰。首先是數據偏差問題，如果模型訓練數據集中於某些族群，可能導致對其他族群準確率下降。其次，AI 的決策過程常被批評為「黑箱」，臨床醫師可能對其缺乏信任。最後，法律與倫理問題，如病人數據隱私保護，也是亟待解決的議題。

未來展望方面，AI 與精準醫療的結合將推動移植醫學邁向新時代。透過整合大數據、分子分析與即時監測，AI 將不僅是輔助工具，更可能成為臨床決策的重要依據。



上面這張「Data collection」圖，用受贈者為中心，將移植照護需蒐集的**>120 項參數分成八大模組：

①登錄資料（年齡、性別、ESRD 成因、透析期間）；②供者特徵（年齡、性別、病史）；③受贈者病史；④血清學狀態；⑤移植物特徵；⑥影像；⑦即時生物資料（Day 0）；⑧免疫學資料；外圈並標示治療軌跡。這些資料合併可描繪移植歷程、預測風險並指引治療。

為使評估更全面，建議加入：

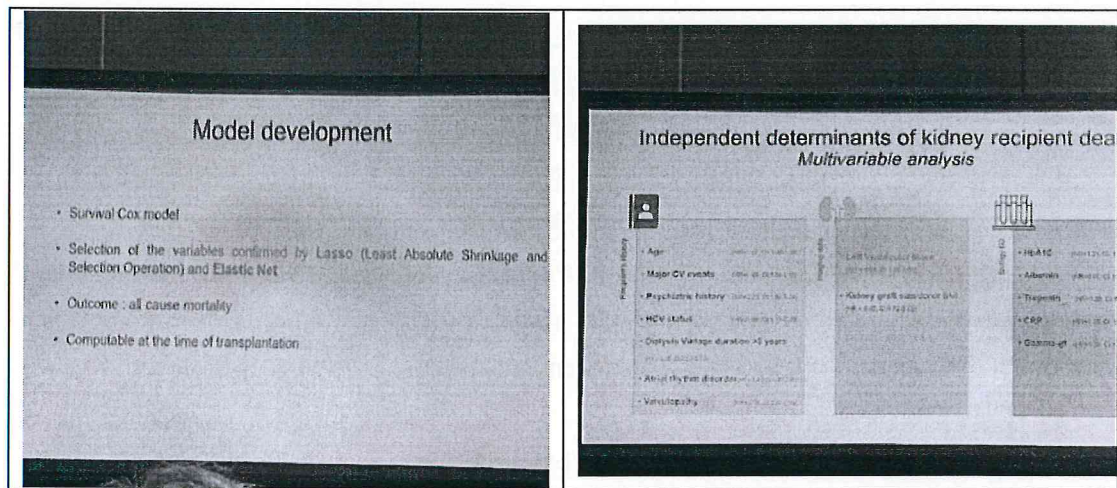
實驗室數據—腎功能（Scr/eGFR、尿蛋白、尿沉渣）、發炎與營養指標（CRP、白蛋白）、電解質與酸鹼、血球計數、藥物濃度；

免疫專屬檢測—PRA/CPRA、交叉配對、DSA MFI 及其 C1q/C3d 結合能力、補體片段（C3a、C5a、sC5b-9）、細胞激素譜；

基因/藥理基因—HLA eplet/mismatch、APOL1（供者）、補體基因（CFH/CFI/C3/C4 拷貝數）、KIR-HLA 互作、CYP3A5/ABCB1（tacrolimus 劑量），及感染易感（如 IFNL3）；

生活習慣與社會因子—BMI、吸菸/酒精、飲食與運動、睡眠、用藥依從性、心理壓力、就醫距離與社經狀況。

另將移植與手術參數（活體/屍體、DCD/DBD、KDPI、冷缺血時間、機械灌注流量/阻力、術前活檢之硬化與血管病變）、影像（超音波 RI、微血管灌注）與感染監測（CMV/EBV 血清狀態、BK 病毒 PCR）納入縱向追蹤。以此建構多域、時間序列的風險模型，可同時預測 DGF、AMR、感染、CNI 腎毒性與慢性 IF/TA；當分數升高時觸發介入（調整 CNI、加強抗感染、進行 PP/IVIG，或於高補體活化者考慮 C5 抑制劑）。最終形成個人化儀表板，支援精準免疫抑制與長期存活管理。



從這次上課的內容中學習到，演講者完整呈現了腎臟移植領域如何透過大數據與多層次變項，發展出預測病人預後的模型。

首先，「Multiple sources of data」圖展示了移植照護可收集的龐大資訊來源，包含受贈者病史、Day 0 生物資料、後續生物學追蹤、臨床追蹤、供者基本特徵、影像數據等。這些資料彼此交織，形成超過百項變數的網絡，涵蓋從基本人口學、心腎合併症，到影像學指標與免疫參數，顯示風險評估不應僅侷限於單一面向，而是必須綜合多維度資訊。

接續在「Model development」的投影片中，可以看到研究者採用了 Cox 生存分析來建立風險模型，並利用 Lasso 與 Elastic Net 進行變項選擇，確保模型避免過度擬合，同時保留最具解釋力的指標。模型的主要結局是「全因死亡」，而且能在移植時即時計算，具有臨床即時應用價值。這樣的設計顯示了從龐大資料庫中篩選出關鍵因子，並落實於臨床決策，是未來精準醫療的方向。

最後一張「Independent determinants of kidney recipient death」則進一步揭露了多變項分析後的獨立預測因子。受贈者層面包括年齡、重大心血管事件、精神疾

病史、HCV 感染、透析超過三年、心律不整與瓣膜病變；影像學方面則有左心室肥厚與腎臟移植腎大小/供者 BMI；生物數據則涵蓋 HbA1c、白蛋白、心肌肌鈣蛋白、CRP 以及 γ -GT。這些變項代表移植存活率並非單純依賴免疫排斥控制，而是受全身性代謝、心血管、感染與營養狀態等共同影響。

整體來看，這套資料收集與模型建構展現了「多源資料—統計與機器學習方法—臨床可操作模型」的完整鏈條。心得上，我認為這種跨領域方法能幫助醫師在移植前即更精確地識別高風險個體，並針對可修正的因子（如糖化血色素控制、營養補充、心臟功能評估）進行介入。這不僅能改善病人長期存活，也強調了移植醫學應朝「全人風險管理」而非單一免疫壓制邁進。

目前我們在台中榮總自己正在進行中的相關研究，主要是使用腎臟移植患者資料庫，運用機器學習預測腎臟移植存活率，對於高風險的危險因子與腎臟移植患者進行早期介入，期待能降低腎衰竭風險，期望讓患者能有更長的腎臟移植存活率。目前遇到的困難處，主要是資料庫的前置處理(processing)當的龐雜與耗費人力，而結構式的資料庫建置，設計需要能符合機器學習的輸入模式，這是最重要的基礎架構。在資料庫的建置摸索中，常常會發生相關的干擾因子(noise)出現，造成事倍功半的窘境 (try and errors)，需要時間與經驗慢慢堆積。這一年多來我們的模組表現(performance)逐漸趨於穩定，繼續努力。

(六) 異種移植後的免疫反應分子生物學解析

多組學(Multi-omics)整合於異種移植中的應用與啟發

異種移植 (Xenotransplantation) 進入人體後，受者免疫系統會展現出與同種移植截然不同的反應。本次大會特別強調了利用單細胞 RNA 定序 (scRNA-seq) 與空間轉錄組學 (spatial transcriptomics) 來解析這些反應。研究顯示，接受豬腎臟移植的患者，其白血球群體呈現出顯著的重編程現象。例如，T 細胞的分化方向發生改變，部分免疫細胞亞群出現異常的基因表達模式，與排斥反應相關的分子路徑被啟動。這些變化並非同種移植中常見的現象，顯示異種移植引發了獨特的免疫挑戰。單細胞技術 (scRNA-seq) 的優勢在於能夠解析細胞層級的差異，避免傳統大規模檢測中被平均化的問題。同時，空間轉錄組學 (spatial transcriptomics) 則能將免疫細胞的位置資訊與基因表達結合，幫助研究者理解免疫細胞在腎臟組織內的分布與互動。透過這些技術，研究者已經鑑定出多條與排斥相關的信號途徑，並提出潛在的藥物靶點 (target sites)。例如，特定細胞激素通路在異種排斥中特別活躍，若能針對性抑制，可能減輕排斥反應。這些發現不僅對異種移植本身具有價值，也能反饋到同種移植的免疫研究。藉由理解免疫系統的普遍規律，我們有機會發展出更廣泛的免疫調控策略。

下列圖表說明單細胞 RNA 定序與空間基因表達在異種移植研究的應用。

近年來，隨著基因體學、轉錄體學、蛋白體學及代謝體學等高通量技術的快速發展，醫學研究逐漸朝向「多組學整合; Multi-omics」的方向邁進。這一趨勢在異種移植 (xenotransplant) 領域的應用尤為突出。從本次所看到的展示資料中，可以清楚地感受到科研人員如何利用 integrative personal omics profiling (iPOP) 及多組學技術，對接受豬心臟或腎臟移植的人體樣本進行系統性的追蹤與解析，進一步理解移植物的功能變化與免疫排斥反應的發生機制。

一、iPOP 的整合框架與臨床意義

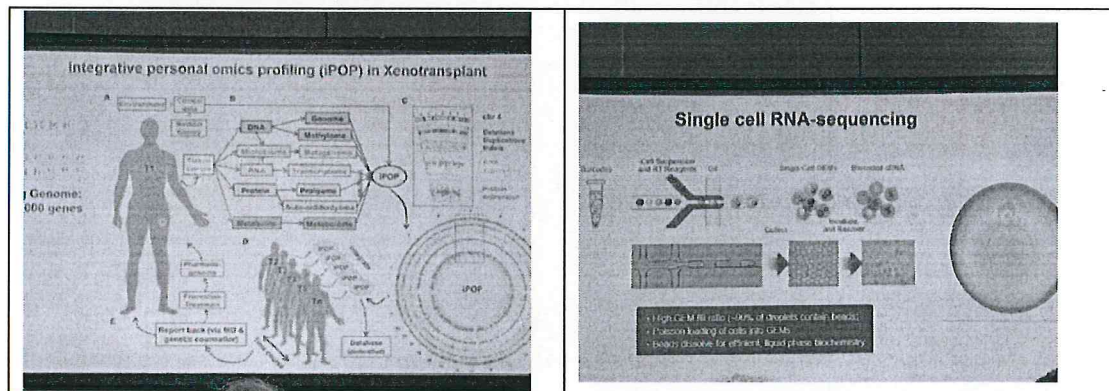
第一張圖介紹了 iPOP (Integrative Personal Omics Profiling) 的架構。這一模式強調從受試者的臨床資料、醫療史、環境因素到實際的組織樣本，全面收集並建立數據庫。進一步將 DNA、RNA、蛋白質、代謝物，甚至自體抗體等層次進行整合，形成多維度的個人化資料檔案。這種方式的優點在於，不再是單一維度的觀察，而是多面向、立體地去捕捉移植過程中的生物學動態。

舉例來說，透過基因組與甲基化資料，可以分析患者與豬器官間基因調控上的差異；轉錄體則揭示即時的基因表達變化；蛋白體與代謝體則直接反映了細胞層級與系統層級的功能狀態。這些資料的綜合，有助於研判藥物反應(藥物基因體學)、預防移植後的併發症，甚至可以回饋給醫師或基因諮詢師，為病人設計更個人化的治療策略。

二、心臟異種移植的人體研究

第二張圖展示了兩位人體受試者接受豬心臟移植後的多組學監測。除了傳統的臨床測量外，研究者還進行了空間轉錄體學 (Spatial RNA-seq)、單細胞核 RNA-seq (snRNA-seq)、代謝體學、脂質體學、蛋白體學等層次的分析。更重要的是，他們設計了密集的時間軸取樣，在移植後數十天的不同時間點不斷收集資料。

這樣的設計不僅能夠捕捉急性排斥反應的分子特徵，還能追蹤長期的免疫動態。從科研角度來看，這為理解「人類免疫系統如何應對豬心臟」提供了前所未有的數據基礎；而從臨床角度來看，則有助於尋找新的生物標誌 (biomarkers)，作為移植後風險監控的依據。



三、腎臟異種移植的案例與微生物監測

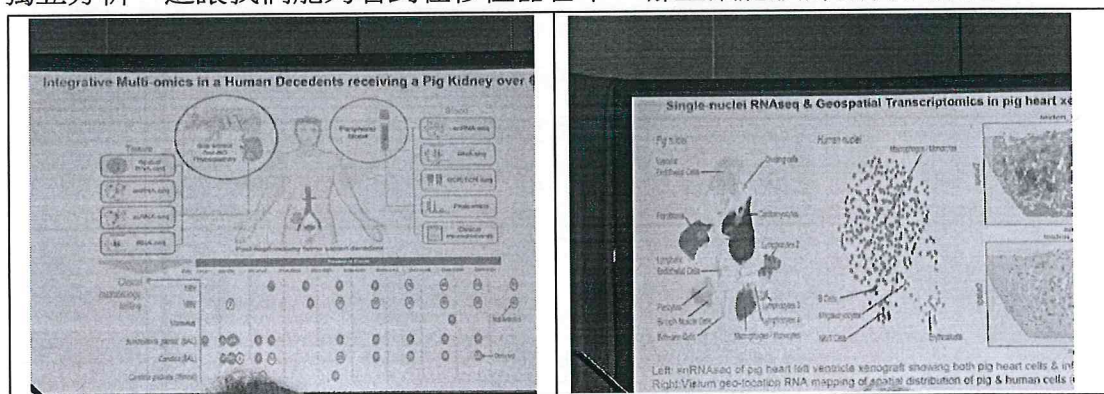
第三張圖則以豬腎臟移植到人體的案例為例，展示了血液與組織樣本的多組

學分析。除了 RNA-seq、單細胞 RNA-seq、免疫受體測序 (BCR/TCR-seq) 之外，研究者還特別加入了臨床微生物檢測，如 EBV、HBV、諾羅病毒、以及真菌（如白色念珠菌）的動態監控。

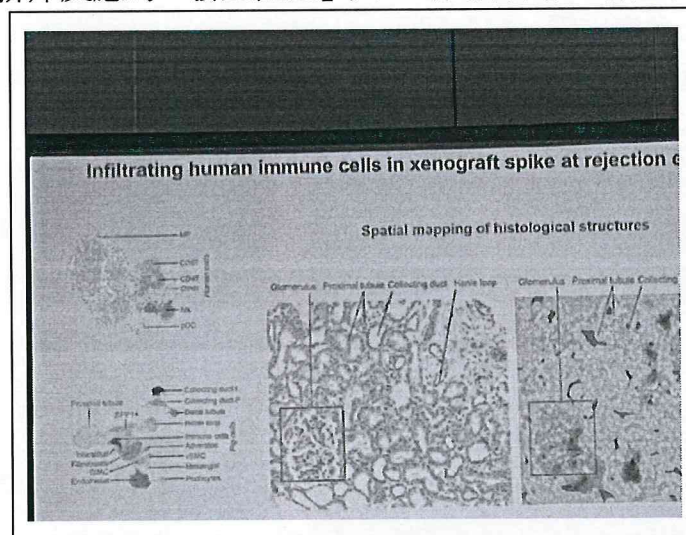
這提醒我們，異種移植的挑戰不僅僅來自免疫排斥，還包括跨物種傳染風險與免疫抑制治療所導致的感染風險。透過這種「多軌並行」的監測方式，能更全面地掌握病人狀態，及早發現並處理潛在危機。

四、單細胞 RNA 測序與免疫細胞浸潤分析

第四與第五張圖介紹了單細胞 RNA 測序及空間組織定位的應用。單細胞技術能夠精確到每一個細胞的基因表達，並透過條碼與微滴分離，確保每個細胞的獨立分析。這讓我們能夠看到在移植器官中，哪些細胞族群出現了變化。



最後一張圖則更直觀地顯示了免疫細胞在移植物中的分布情形。研究者將 CD8 T 細胞、CD4 T 細胞、自然殺手細胞 (NK)、樹突細胞等人類免疫細胞的浸潤狀況，與豬腎臟的組織結構（腎小球、近端小管、集合管等）進行空間對應。這樣的資訊對理解排斥反應的「發生位置」與「時間節點」至關重要。



綜合來看，這些研究展示了異種移植領域正快速走向「全方位、多組學、單細胞與空間解析結合」的新紀元。傳統上，我們對器官移植的理解多半依賴臨床

症狀、血液指標及組織病理切片。然而，這些方法往往在排斥反應發生後才能偵測，缺乏「預警」功能。而如今，藉由 iPOP 與多組學監測，研究者能夠在分子層級提前發現風險，甚至推動個人化醫療。

不過，這樣的研究也提醒我們幾個困難挑戰：

1. 數據龐大且複雜 —— 多組學整合需要強大的計算平台與人工智慧輔助。
2. 臨床應用的落差 —— 如何將這些研究成果快速轉譯為病房可行的檢測方法，是未來的關鍵。
3. 倫理與安全問題 —— 異種移植涉及跨物種病原的風險，仍需謹慎評估。

總結來說，這些圖片呈現的不僅是一場非常前端科技的展示，更讓我深刻感受到「醫學正在走向一種數據驅動、精準化與個人化的新時代」。在未來，異種移植或許能為器官短缺問題提供解方，而多組學技術則是這一目標的強力助推器。

三、心得

本次世界移植大會展示了移植醫學的五大前沿領域。從基因工程的異種移植，到幹細胞療法、補體抑制劑的臨床應用，再到人工智慧與分子生物學的深度結合，皆為移植醫學帶來了新契機。這些創新研究不僅突破了傳統的技術限制，也為病患帶來新的希望。未來，這些技術若能成功轉譯至臨床，將徹底改變器官移植的面貌。心得上，作為醫師與研究人員，我深刻體會到跨領域合作的重要性。這些研究結合了免疫學、基因工程、生物資訊與臨床醫學，顯示未來的醫療發展不再侷限於單一學科，而是多領域融合的成果。同時，我也認知到移植醫學的發展不僅是科學突破，更涉及倫理、經濟與社會挑戰。器官來源不足、醫療資源分配不均，以及新技術的安全性，都是我們必須正視的問題。

透過本次大會的學習，學習到了非常多尖端知識，那也讓我們深刻了解自己本身的不足。反省之餘，我們也能了解目前自身可運用的資源；例如醫院擁有龐大的臨床資料庫，經過整理之後，可進行各種模組的疾病預測，為病人提供更好的醫療照顧，這是目前無法被取代的優勢。對於高風險的活體腎臟移植，台中榮總可以提供其他醫院作為標竿學習醫院，提供高風險活體腎臟移植的學習，包括遺傳性腎臟衰竭疾病患者如何進行腎臟移植，造福患者。

四、建議事項

- (一) 本次世界移植大會，是移植界的最高水準的會議。論文的發表數目代表各個國家一定程度的水準表現，600 篇論文，主要由美國英國等歐美國家為主，亞洲國家日本中國大陸為主流，台灣發表的論文數目少於十篇論文，為鼓勵論文的發表，建議線上發表投稿時的費用(50 塊美金)，可以公費補助，就算沒有參加出國實體會議也可以補助線上費用(50 塊美金)。
- (二) 關於本院的資料庫數目龐大、時間久遠、難能可貴。但是運用於 AI 運算結構式的研究資料倉儲很缺乏。造成使用者耗費人力與時間，雖然目前數位醫學部臨床資訊科可以提供相關的協助，但是資料上的使用仍然不夠方便，主要是資料的撈取，但是分類與格式化常常需要合作的學校研究生來幫忙。是否可以請數位醫學部臨床資訊科盡力幫忙，進行相關的 AI 資料分析，就像是使用健保資料庫一樣方便使用，非常感謝。
- (三) 異種移植豬腎臟移植是未來發展的主流，雖然有很長的路要走，建議可以提早籌組相關的工作小組，與時俱進跟上潮流，參與相關的研究與臨床試驗建議泌尿醫學部主導相關議題。
- (四) 建議院內海報發表格式可考慮提供多種海報版型或設計範例供使用。