

出國報告（出國類別：進修）

質子治療的臨床應用與技術優化

服務機關：國立臺灣大學醫學院附設癌醫中心醫院

姓名職稱：呂紹綸、賴詩璠、楊文綺 主治醫師

派赴國家/地區：美國紐約市

出國期間：114年 7月 6日至 114年 7月 19日

報告日期：114年 7月 31日

摘要

為強化本院質子治療之臨床整合與技術應用能力，本次派員赴美國紐約質子中心（New York Proton Center, NYPC）進行為期兩週之實地觀摩與深度交流，涵蓋臨床診療流程、再照射策略設計、劑量計畫擬定、定位與影像導引技術、小兒病患照護、品質保證（QA）作業及行政排程管理等層面。NYPC 針對固定式治療室的高效運用、再照射病人之 EQD2 劑量整合系統，以及跨職類協作的治療決策流程，提供豐富且具啟發性的實務經驗。

本報告綜整觀察結果，並提出多項具體建議，包括建立統一教育訓練平臺、強化無記號定位技術應用、導入即時膀胱容量監測機制、規劃跨職類治療回顧機制等。未來亦建議與 NYPC 持續推動臨床研究合作，針對 Lattice proton、FLASH 放療及再照射策略等議題，發展多中心前瞻性試驗與資料共享平臺，以提升本院於國際質子治療領域之能見度與臨床影響力。

目次

一、訓練目的與背景-----	Page 1
二、訓練內容過程詳述-----	Page 2
三、參訪心得-----	Page 5
四、質子治療臨床整合與流程精進之建議與推進方向-----	Page 6
附錄 參訪影像紀錄-----	Page 10

一、訓練目的與背景

因應本院質子治療服務的開展與臨床應用之發展需求，本次赴美前往**美國紐約質子中心（New York Proton Center, NYPC）進行為期兩週的臨床與技術實地觀摩學習，目的在於深入了解：

- 質子治療中心建置與營運管理
- 不同癌別的質子治療臨床應用經驗
- 臨床定位與照護流程的優化方式
- 放射腫瘤專業間（醫師、物理師、劑量師、放射師、護理師）協作實務
- 教學與知識傳承系統建構模式
- 前瞻性臨床研究與國際合作之發展潛力

相較於2023年本院團隊首次造訪 NYPC 時，多以 training room 內的課程講解與問答為主，本次2025年再度出訪的兩週行程，更聚焦於實務導向與臨床需求出發的深度交流。隨著臺大癌醫質子治療中心自2024年正式啟用，我們已有實際運轉經驗，因此在出訪前即主動整合醫學物理、臨床治療、護理衛教以及資源聯絡等多個團隊的臨床與技術疑問，提出具體的探討方向，做為本次訪問的交流重點。與會期間，我們是以實地 shadow 各職類人員的臨床操作流程為核心，包括依照不同癌別的治療需求深入觀察各階段的準備與執行細節。例如：針對頭頸部與骨盆腔之固定輔具製作，我們實地觀察放射師與病人互動流程以及製作流程並在 NYPC 團隊同意下錄影紀錄；針對入侵性操作如 spacer 注射或 fiducial 放置，亦有現場醫師講解；小兒麻醉與輔具製作注意事項，針對實際狀況與機臺人員和麻醉科醫師討論，使我們得以回臺後進一步加強內部教育與流程優化。

特別值得一提的是，NYPC 團隊針對我們臺大癌醫目前臨床上所遇挑戰，提供了高度針對性的實務回饋與做法分享，無論是在重複照射的治療策略設計、影像導引的決策依據，甚至是行政排程與資料整合流程，皆讓我們獲益良多。本次參訪不僅是觀摩，更是一次具備雙向互動、實境學習與策略導引意義的國際交流，將對臺大癌醫未來質子治療的臨床推展與跨部門合作模式帶來實質助益。透過實地參與各專業團隊之工作流程與跨領域合作，希望作為未來我院質子治療臨床整合、流程優化與教育訓練制度建立之參考。

二、訓練內容過程詳述

1. 醫師臨床觀摩與隨診學習

每日實際隨行不同次專科醫師進行完整臨床流程參與，包括初診諮詢 (consultation)、治療計畫討論、在治療中之門診評估 (on-treatment clinic)、及治療後追蹤 (follow-up clinic)。所參與之主治醫師及專長如下：

- Dr. Charles Simone：肺癌及縱膈腫瘤，觀摩其於肺癌治療設計及再照射策略
- Dr. Arpit Chhabra：腸胃道與頭頸癌、腦部腫瘤
- Dr. Irini Yacoub：泌尿腫瘤與攝護腺癌，實地觀察 Fiducial marker 與 Barrigel spacer 置放
- Dr. J. Isabelle Choi：乳癌，學習 skin sparing 設計原則與心臟保護策略，了解目前 NYPC 與紐約周遭 Center clinical trial 進行的內容與模式
- Dr. Nancy Lee：複雜頭頸癌照射評估、再照射設計與正常組織保護策略

除一般門診觀摩外，也實際參與 **chart round**，學習該中心如何跨專業針對當週治療個案進行整合式討論，進行整體病患管理與問題排除。

2. 醫學物理訓練

NYPC 有多位資深有經驗的物理師，期間我們與包含首席物理師 Haibo Lin，資深物理師 Francis Yu，Peing Fang Tsai 等 進行深度交流，瞭解質子治療機之物理特性、儀器維護與研究應用，包括：

- 質子物理核心特性 (Bragg peak、RBE 變異、range uncertainty)
- LET optimization 與 FLASH therapy 實驗性計畫
- Lattice RT (spatial-fractionated RT, SFRT)、mini-beam 治療研發進展與後續研究計畫
- 機器校準與品質保證 (QA/QC) 流程
- 臨床 protocol 研擬 (如 SBRT、CSI 技術發展)

Haibo Lin 提供詳細說明如何平衡臨床穩定性與研究創新性，並分享他們如何管理多機臺輪替使用與定期維修日程，以確保臨床不中斷。

3. 劑量計畫設計與再照射 (reirradiation) 技術

與首席劑量師 Andy Shim 及團隊共同觀摩質子治療之計畫設計與複雜評估，重點包括：

- 學習不同癌別（腦瘤、頭頸癌、乳癌、肝癌、攝護腺癌、CSI、小兒腫瘤）計畫設計原則及計畫方式
- Proton SBRT 的治療
- 質子與光子在正常組織保護與靶區涵蓋之關鍵差異
- 多角度擺位（gantry angle）與 robust optimization 實務應用
- 再照射案例的計畫重疊與 normal tissue constraint 評估流程
- 治療紀錄系統與 care path 工具整合

NYPC 自2019年營運，也經過 COVID-19 疫情的挑戰，目前43%的病人為再照射情境，這些病患多數(>90%)採用 SBRT 或單次大劑量寡次數(hypofractionated schedule)的治療技術。NYPC 針對不同癌別的解剖部位，前瞻性的進行收案計畫。除了制訂出不同器官可承受加總劑量與體積的上限，更包含了流暢整合之前在不同醫療機構的放射治療計畫，整合至當下現行治療計畫系統的執行流程。讓所有的醫師與物理師及劑量師團隊成員，可以把等效加總劑量(Equivalent dose in 2Gy fractions (EQD2)，都在大家所熟悉的計畫平臺上，針對高風險的腫瘤與器官組織，進行直接有效率的視覺化溝通。

4. 臨床定位與影像導引技術

與資深定位技術師參與定位模擬與治療準備流程，學習內容如下：

- 病患固定輔具之客製設計（頭頸部、胸部、骨盆腔、脊椎等部位以及兒童患者）
- 呼吸控制系統（SDX）之應用與病患訓練機制
- MRI simulation protocol 的臨床適應與不同癌別的執行條件
- CBCT 與 KV imaging 在影像導引中的應用與定位比對流程
- 消化道與泌尿道病患定位前之飲食與腸胃準備原則

5. 質子治療機操作與實務觀察

觀摩每位病患實際進入治療室的流程，包括：

- 身分核對、擺位與輔具確認
- 影像導引流程、影像比對與 isocenter 確認
- 質子束輸出與物理師/放射師協作監控流程

- 小兒病患的麻醉程序與安全流程設計

6. 臨床流程整合與行政制度觀摩

與行政團隊成員討論中心營運與病患流程管理，重點包括：

- 病患轉診流程與事前授權保險機制（pre-auth）
- 治療中斷返回接續的治療流程。
- 系統化病歷與表單文件整合
- 每日機臺使用時程排程與空檔管控
- 定期 SOP 會議與流程回饋改善制度

7. 護理照護與衛教內容學習

實地參與衛教流程與衛材發放，觀察：

- 初診與模擬前病患衛教內容
- 放療中常見副作用與護理應對建議
- 治療後追蹤衛教與症狀管理手冊
- 各癌種專屬衛教單張內容（已留樣本作為未來參考）

8. 教學與新人訓練制度

觀摩 NYPC 之教育與人力訓練制度，重點包括：

- 流程與實務訓練期程
- 放射師/物理師之技能考核與定期再教育制度
- Case review 與技術更新簡報
- 教材儲存於內部平臺，方便跨職類存取與教學

三、參訪心得

本次有幸前往美國紐約質子中心（New York Proton Center, NYPC）進行為期兩週之臨床與技術交流，對於我們作為一個正處於質子治療服務快速成長階段的醫療團隊而言，無疑是一場深具啟發性的學習旅程。此次參訪不僅涵蓋臨床、物理、技術、護理與行政等多職類面向，更重要的是，讓我們深刻體會到「跨部門整合」、「標準化作業」與「持續改善機制」對於質子治療中心穩定營運與卓越品質的關鍵價值。

NYPC 作為一所高量能的臨床質子治療機構，其各職類分工精確、訓練制度完備，流程環節間銜接順暢，無論是初診諮詢、治療計畫設計、定位模擬、實際治療、療程中追蹤或事後回顧，皆展現高度一致性與效率。其中，以再照射病患的處理模式最具代表性。他們在臨床上積極接納複雜與高風險個案，透過嚴謹的 EQD2 加總劑量視覺化工具與跨職類討論平臺，實現治療風險與效益的精確平衡，對我院未來推動再照射策略與資料整合流程具有高度參考價值。

另一方面，NYPC 團隊對小兒病患的處理展現極高的安全敏感度與人性化思維。從模擬前溝通、麻醉程序整合、專屬輔具製作到治療排程優先安排，每一細節皆建立於跨部門密切協作與標準化程序之上，顯示其在高風險病人照護上的成熟度與細緻度。這也提醒我們，在拓展服務對象至更年幼或更脆弱族群時，必須超越技術能力的擴充，更需建立完善的制度性支持與持續品質監測系統。

此外，NYPC 對於資源配置與空間管理的策略極具彈性與前瞻性。將固定式治療室（fixed beam room）應用於病人專屬品質保證（QA）與特定適應症治療，如 craniospinal irradiation（CSI）與部分骨盆腫瘤定位，成功達到紓緩旋轉機治療室壓力並提升排程效率之目的。在本院固定床尚未正式投入臨床使用前，NYPC 的成功經驗為我們未來推動多機型協同運作提供了明確方向。

在教育訓練層面，NYPC 具備完整的跨職類教學與知識管理平臺，新進人員皆須接受結構化訓練與技能評核，並定期參與流程更新與技術回顧簡報。這樣的制度設計，讓各職類人員不僅能夠在本職工作中持續精進，更能掌握與其他團隊間協作所需之基本理解與共同語言，進一步提升整體服務品質與處置一致性。

綜觀整體，此次參訪不僅是一次臨床與技術上的見習經驗，更是對質子治療中心「如何成為一個穩健且具延展性的醫療體系」的一次深度觀察與反思。NYPC 以其「臨床導向」、「制度支撐」、「數據驅動」、「創新應變」四大特質，為我們提供一套可落地、可實踐、亦可借鏡的藍圖。未來我們應持續強化部門整合、建構知識平臺、優化流程標準，並主動與國際先進中心建立長期合作夥伴關係，朝向國際水準的質子治療中心邁進，進一步擴大我院在亞洲區域與全球的臨床影響力與學術貢獻。

四、質子治療臨床整合與流程精進之建議與推進方向

1. 建立統一教育訓練平臺

建議建構本院專屬知識資料庫與訓練平臺，依照職類歸納各項臨床 SOP、定位規範、技術參數與研究文獻，提供新進或兼任人員一站式學習資源。

2. 權責明確化與職能分工

根據人力規模進行職能分流，如將物理師區分為劑量、QA 與流程管理三職別；放射師則可劃分為定位與治療室兩系統，確保訓練深度與專業連續性。

3. 購置 Bladder Scan 輔助系統

導入膀胱超音波檢測儀器，於定位與治療前即時監控膀胱脹尿狀況，減少不必要的上下臺流程延遲。

4. 規劃預先衛教制度

建立定位前衛教制度，並製作癌種別專屬衛教單張，強化病患準備與流程配合。

5. 發展無記號定位技術

考量臨床影像導引已具精確性，應開發無記號擺位流程，提升病患舒適度並簡化後續維護負擔。

6. 精緻化流程整合與 SOP 優化

依據此次觀摩學習內容，回頭逐一盤點現行臨床流程並整合精簡，提升質子機之每日使用效率與病人通過率。

7. 光子放射治療計畫的匯入與再照射流程優化

質子治療在生物效應上具有相對更高的效益（常以 RBE=1.1 估算），在某些腫瘤與治療部位可望帶來更好的局部控制率。臺大癌醫中心具備龐大的本院與臺大總院轉介體系，其中相當多的病人已於初次診斷階段接受過光子治療。這些病人若日後出現疾病復發或第二原發腫瘤，往往面臨再照射的挑戰。質子治療在此類病人中，不論是朝向再次根治性治療(curative intent)，或是以積極姑息(radical palliative)為目標，能提供更為安全與可行的選項。特別是在頭頸部、肺臟、脊髓旁、骨盆腔等鄰近重要器官之區域，質子的劑量削減能力，能顯著降低治療相關副作用的風險。

目前臺大癌醫已具備先進的質子治療設施與專業團隊，在臨床治療策略與行政流程逐步優化的背景下，應可逐步從初次治療情境的“classical scenario”，擴展至涵

蓋更高風險、潛在長期存活族群的再照射病人族群。我們應積極定位質子治療在再照射領域的關鍵角色，建立清晰的轉介流程與病例挑選準則。對於本院體系，建立明確的 DICOM-RT 匯入的行政流程。近一步促成臺灣再照射臨床策略與國際接軌，造福更多需要安全與有效治療選項的患者。

8. 固定式治療室的臨床應用策略與資源整合

NYPC 目前每日治療人次約介於110至130位病人之間，為了最大化質子治療中心整體資源的利用率，醫師與物理師團隊積極拓展固定式治療室（fixed beam room）的臨床適應症，進而減輕旋轉機械治療室的負荷，並提升整體治療排程的彈性。

舉例而言，針對患有 leptomeningeal carcinomatosis 之病人進行 craniospinal irradiation (CSI) 時，採取左側臥位（left decubitus position）來進行照射，使脊柱區段得以與固定方向之質子射束對準。同時也針對攝影導引侷限於 KV orthogonal pair 的影像（無 cone beam CT）進行了計劃設計上的優化，例如提升標靶與骨性結構對應準確性、減少因體位變異造成的劑量誤差。

在攝影導引技術尚無法媲美旋轉機治療室（gantry room）的情況下，NYPC 也展現出跨部門資源整合的彈性應變能力。例如針對骨盆部位如 prostate SBRT，團隊可在病人排程空檔時段，安排於同樓層的 diagnostic CT 進行 CT 影像重建搭配 bladder scan，作為治療前的確認流程。此流程初期作為 verification CT 以確認劑量分布，隨著團隊熟悉度提升，也可發展為一種 CT-based image-guided radiotherapy (IGRT) 模式，提升定位與劑量精準度。除了實際應用於臨床照射治療，NYPC 也充分發揮固定式治療室於 patient-specific QA 的角色。由於 Gantry 治療室多數時段已滿載於臨床使用，因此將每日所需進行的病人專屬 QA 操作安排於 fixed beam room 進行，不僅可分攤 Gantry 房的機時壓力，也能提升整體治療計畫的準時上線率。此流程不僅技術成熟，更能與每日治療流程順利銜接，對於高強度（例如 SBRT）與複雜適形計畫（IMPT）來說，是不可或缺的安全把關機制。相較於臺灣國內質子中心，其固定式治療是利用多以眼部腫瘤治療為主，利用率低。

NYPC 對此展現了資源安排優化的創新。此類創新的使用情境與流程規劃，不僅拓展了固定式治療室的應用範疇，也展現出高度的臨床彈性與跨專業協作能力，對於未來本院固定床質子治療室的應用發展，提供了寶貴的參考經驗。

9. 增設跨職類治療成效與副作用回饋平臺建議（Mortality/Morbidity Conference）

建議未來可考慮建立定期性的跨職類「治療成效與副作用回饋平臺」，類似於 mortality/morbidity conference（M&M Conference）或 treatment outcome review meeting。此平臺可納入：

- 臨床醫師：回顧治療策略與病人生存/控制結果。

- **醫學物理師**：分析計畫參數與實際劑量交付的偏差可能性。
- **放射師**：回顧定位與影像導引過程中遇到的技術挑戰與改善建議。
- **護理師**：針對病人在治療期間或後續出現的急/慢性副作用進行系統性整理。
- **資料管理/行政團隊**：匯整追蹤數據、加強病人報到與回診之流程。

此類平臺能有效串聯臨床端與技術端的經驗與反饋，不僅有助於持續性教育與質量改進，也能提升整體團隊對於治療成效與副作用關聯性的敏感度。建議可先從每季或每月一例開始，逐步建構制度化流程，與國際大型中心接軌。

10. 小兒質子治療流程補充

小兒病患在質子治療中需特別關注麻醉、安全性與治療順從度，NYPC 在此領域展現出成熟的跨科室合作流程，值得借鏡。觀察重點如下：

- **定位與輔具設計**：客製化輔具（如小體型定位枕與真空墊）搭配快速固定流程，提升效率。
- **麻醉流程整合**：麻醉科醫師於模擬與治療日全程參與，並與放射師協作降低麻醉時間。
- **安全監控機制**：治療期間病患生理參數即時監控，另有專人陪同。
- **治療室優先排程**：需麻醉小兒病患獲安排於每日早班第一位，降低禁食時間與不適。

建議臺大癌醫可與小兒腫瘤科、麻醉科、護理單位建立「小兒質子治療照護流程小組」，強化訓練與標準化指引，提升治療體驗與安全性。

11. 固定式治療室品質保證（QA）用途觀察與建議

NYPC 另有一項值得仿效的實務策略，即將每日的 **Patient-Specific QA**（病人個別品質保證作業）移至 **Fixed Beam Room** 進行。此安排帶來多重效益：

- **提升主力機臺可用時間**：將 Gantry Room 保留給臨床照射，提升病人吞吐率。
- **分攤物理師工作負荷**：允許 QA 作業與臨床照射並行，提升效率。
- **提升 Fixed Beam Room 使用率**：有助於資源調度與機臺維護平衡。
- **促進後續多功能應用**：若導入影像導引模組與定位輔具後，固定床亦可進行特定癌別之照射，如眼部、脊柱或 CSI 等病人。

建議本院未來如果 fix beam room 啟用，可盤點 Fixed Beam Room 之潛在使用空檔，先行從 QA 用途切入，並搭配優化人力排班與維修日配置，提升整體作業彈性。

12. 臨床研究主題發展與國際合作

可依癌種次專業（如腦瘤、乳癌、肝癌等）發展特定研究方向，如 Lattice Proton、FLASH RT、再照射策略優化、長期副作用追蹤（late effects registry）等，藉此強化本院在特定領域之國際定位與能見度。建議結合我院現有臨床資源與轉介量，與 NYPC 進行跨機構臨床研究或前瞻性觀察性研究合作，並可考慮以下策略推動聯合臨床試驗之可能性：

- **共同設計多中心前瞻性試驗：**針對適合以質子治療進行再照射的腫瘤類型（如頭頸癌、脊椎腫瘤），設計包含本院與 NYPC 的多中心臨床試驗，並透過統一的 protocol 與追蹤流程，以取得具國際代表性的資料。
- **參與 NYPC 現行臨床試驗或建議引進試驗設計模式：**例如 NYPC 目前在進行之 Proton SBRT 試驗、Lattice 技術探索性試驗、FLASH RT 早期臨床安全性驗證試驗等，可評估本院病人適用性或作為新試驗的 local arm。
- **共享臨床與物理計劃參數資料庫：**透過技術與倫理合規機制，進行雙邊的 de-identified dose plan 資料分析與療效/副作用關聯研究。
- **培養雙向研究人才交流機制：**提供研究員/醫師赴 NYPC 短期研習與合作研究機會，也歡迎 NYPC 團隊至臺灣進行病人或技術端觀摩。

此類跨機構合作不僅有助於臨床資料的標準化與對照，也能在質子治療領域中強化我院在國際臨床研究社群中的角色，促進技術與知識的雙向流動，並擴大對特定亞族群病人的治療貢獻。

附錄 參訪影像紀錄

圖1. NYPC 大廳與寬敞等候區

NYPC 入口大廳空間設計明亮開放，等候區配置舒適，營造病人與家屬安心等候的環境。整體動線導引清晰，符合大型質子治療中心高效與人性化佈局需求。

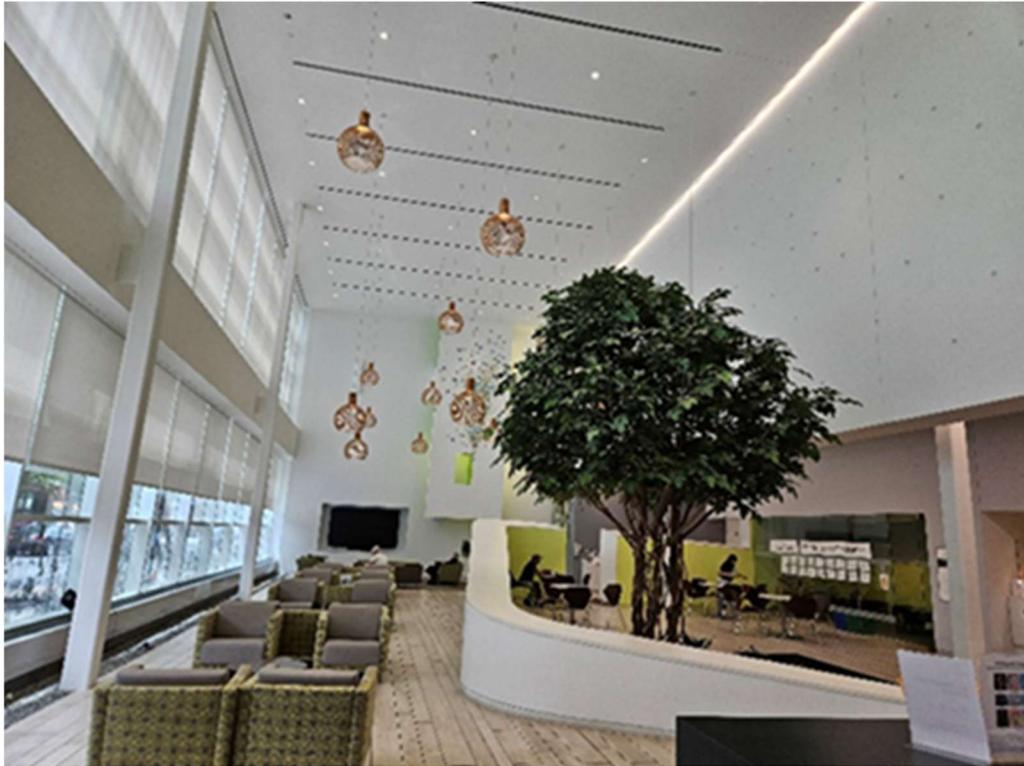


圖2. 與 NYPC 團隊醫師合影

與 NYPC 放射腫瘤部門多位主治醫師合影，包含 Dr. Charles Simone、Dr. J. Isabelle Choi、Dr. Irini Yacoub、Dr. Arpit ahabra 等。透過門診觀摩與討論，深入了解各癌種質子治療策略與臨床經驗分享。

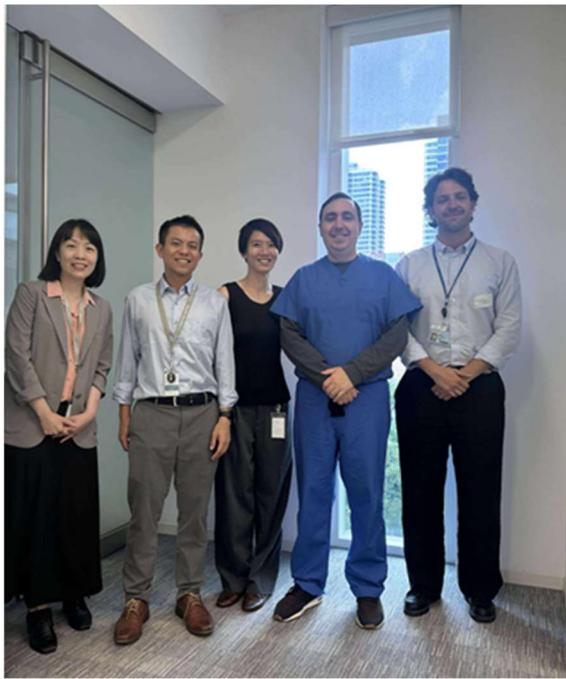


圖3. 與醫學物理團隊合影

參訪期間與首席醫學物理師 Haibo Lin 及團隊成員交流。主要討論內容包括 FLASH RT、Lattice 計畫開發、質子劑量分布精確控制、以及多機臺排程與 QA 實務管理等。



圖4. 與放射師團隊合影

實地觀摩放射師操作定位模擬與治療過程，並針對固定輔具製作、影像導引流程、SDX 呼吸控制設備使用等技術進行討論，觀察其高效率與高標準的技術操作模式。

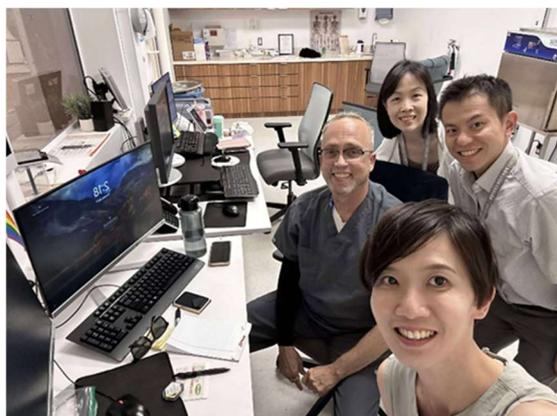
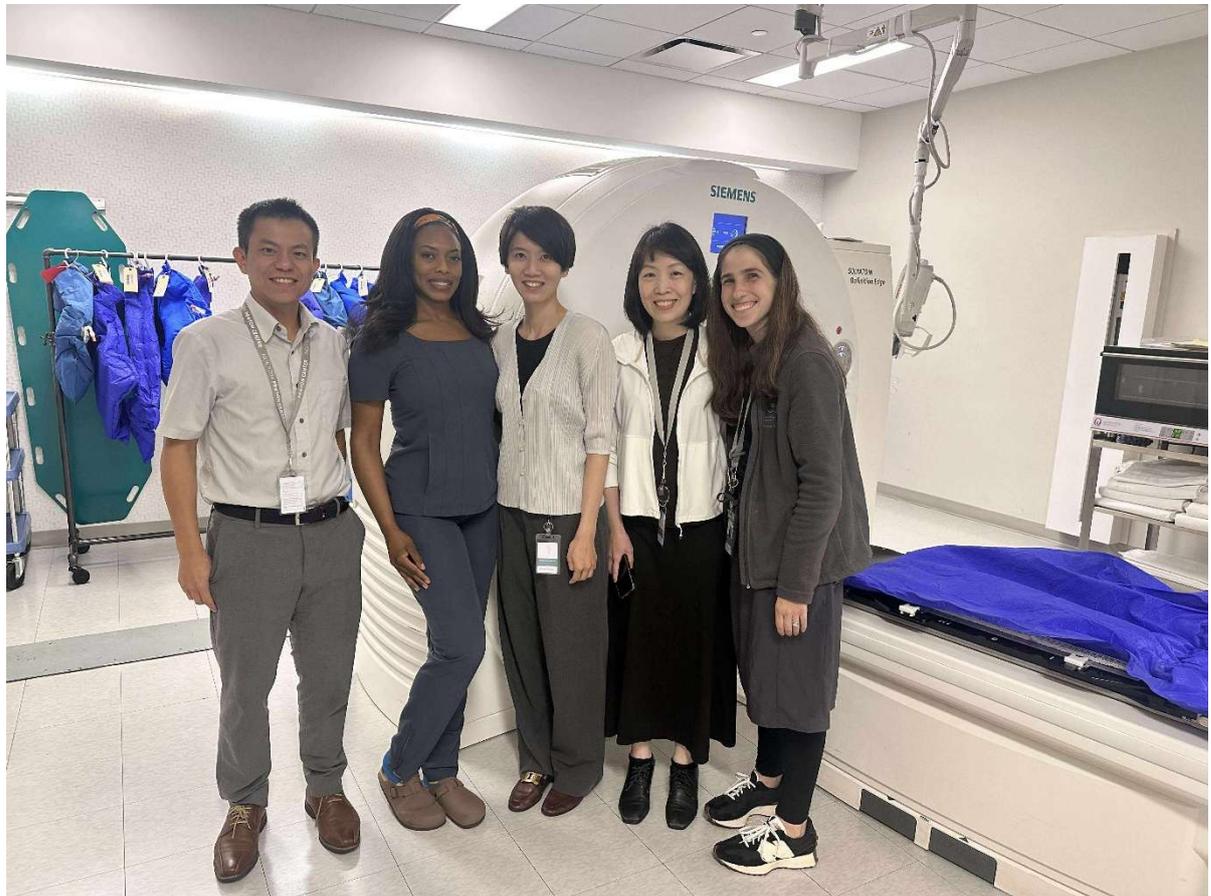


圖5. 小兒等候區與小兒專用輔具展示

NYPC 設有獨立小兒病人等候區，並搭配專屬色彩與設計以減輕兒童治療焦慮。現場展示多款小兒專用定位輔具（如小體型真空墊、面罩等），展現其細膩照護與流程設計。

