

出國報告（出國類別：進修）

美國賓州大學醫院
羅伯茲質子治療中心
Roberts Proton Therapy Center

服務機關：臺大癌醫中心分院 放射腫瘤部

姓名職稱：陳苓諭 主治醫師

派赴國家/地區：美國費城 (Philadelphia USA)

出國期間：2025/01/27~2025/02/09

報告日期：2025/02/15

摘要

本次有幸參與美國賓州大學醫院羅伯茲質子治療中心的兩週臨床進修，深入學習質子治療的應用與研究，包括肺癌、婦科腫瘤等多種疾病的評估、治療計畫設計與副作用管理。

進修期間，觀察並學習了羅伯茲中心的先進技術，如鉛筆束掃描、全脊髓照射，以及 FLASH 超高速放射治療技術，也參加了腫瘤討論會與治療計畫審查，與專家們交流放射生物學的研究。

本次進修對質子治療的臨床應用與研究有更深刻的認識，特別是在治療計畫設計、影像導引、劑量控制及副作用管理等方面受益匪淺。同時也深刻體會到跨專業合作的重要性，未來希望能將此次所學運用於臺大癌症中心的質子治療發展，並建議強化治療計畫的穩定性與技術更新，以提升臺灣質子治療的品質與國際競爭力。

目次

一、目的.....	P1
-----------	----

二、過程

(一) 羅伯茲質子治療中心簡介.....	P1
----------------------	----

(二) 課程與臨床訓練內容.....	P5
--------------------	----

三、心得及建議.....	P9
--------------	----

一、目的：

本次有幸參與美國賓州大學醫院（University of Pennsylvania, UPenn）羅伯茲質子治療中心（Roberts Proton Therapy Center）的臨床訓練計畫，為期兩週，深入學習質子治療的臨床應用與研究發展。訓練涵蓋肺癌、婦科腫瘤、直腸癌、腦轉移、肺轉移、骨轉移、肝轉移及全脊髓照射等疾病之治療，內容包括患者評估、適應症與禁忌症、劑量與分佈方式、模擬攝影、治療計畫設計、以及急性、亞急性與晚期副作用管理。此外，亦有機會觀察放射生物學相關研究的操作與應用。透過本次訪問，將深化質子治療的臨床實務與研究知識，也將對已營運 15 年之質子治療中心的運作模式與多專科團隊合作有更全面的認識。

二、過程：

（一）羅伯茲質子治療中心簡介

賓州大學醫院羅伯茲質子治療中心為全球規模最大且最先進的質子治療機構之一，隸屬於佩雷爾曼高級醫學中心（Perelman Center for Advanced Medicine）。該中心擁有五個質子治療室，其中包括四個旋轉射束治療室（gantry rooms）及一間固定射束治療室（fixed beam room），搭載能量高達 230 MeV 的迴旋加速器（cyclotron）。該中心為全球第一個發展出質子多葉形準質儀（multileaf collimators for proton, MLC）技術，以更精確地塑形 double scattering 質子束。雖然在 PBS 系統應用後，proton MLC 已不再被使用。



賓州大學醫院放射腫瘤部歡迎陳苓諭醫師及臺大癌醫中心之海報

羅伯茲質子治療中心為病人提供所有使用質子會需要的多樣化治療技術，包括鉛筆束掃描（pencil beam scanning, PBS）、錐狀束電腦斷層（cone beam CT, CBCT）影像導引、影像導引放射治療（IGRT）、立體定位放射治療（SBRT）、及全腦脊髓放射治療 craniospinal irradiation（CSI）等，確保高精準度的腫瘤治療。賓州大學醫院放射腫瘤部的臨床服務量能非常高，2024 年治療人次為：

質子治療（Proton）：23,840

光子治療（Photon）：128,235

伽馬刀治療（GammaKnife）：447

電腦刀治療（CyberKnife）：559 次

高劑量率立體定位放射治療（SBRT）：1,001 次



陳苓諭醫師於賓州大學醫院放射腫瘤部之醫院識別證

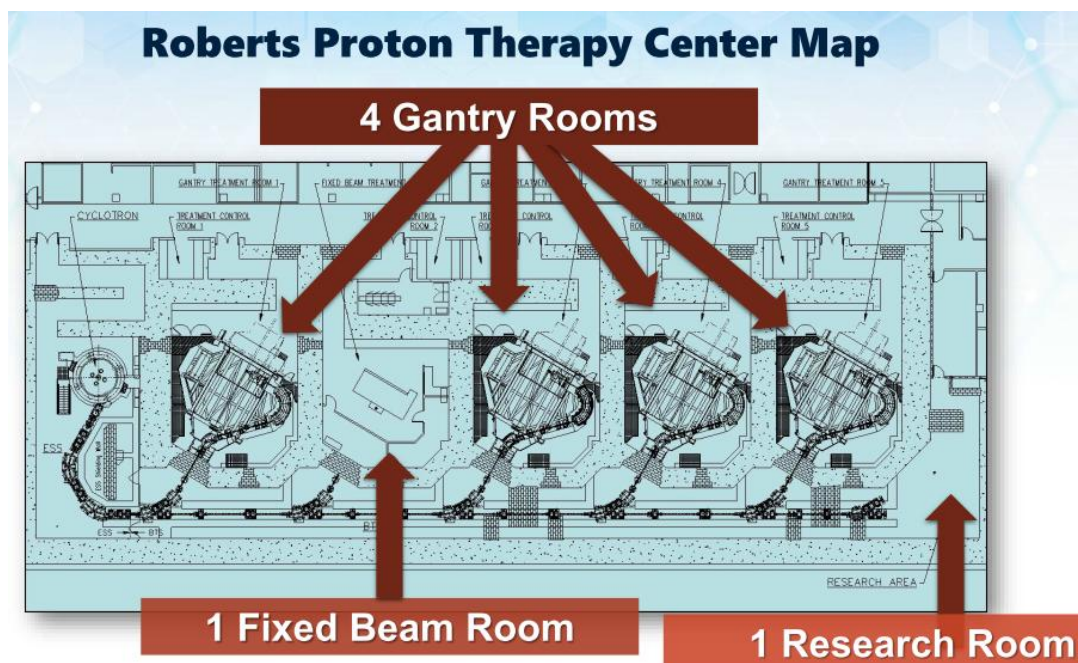
賓州大學醫院放射腫瘤部積極參與臨床研究與放射生物學研究，2024 年共開啟了 55 件臨床試驗，截至 2024 年 6 月 30 日已有 5,033 名患者已參與臨床試驗。設有查德威克研究室（Albert Chadwick Research Room），並與 NASA 及航空產業進行合作，研究 FLASH 超高速放射治療的應用。

賓州大學醫院放射腫瘤部致力於臨床照護、科學突破、卓越教育培訓計畫，在美國及全球持續推展教育訓練。自 2014 年以來已為全球 25 個質子治療中心提供培訓，並透過 OncoLink 平臺提供超過一千位醫療專業人員遠距與實際 on-site 學習機會。我在這裡受訓時，充分感受到賓州大學醫院放射腫瘤部對於推展質子教育的使命與熱忱，核心理念為 To bring proton safely to patients in the world。他們協助英國、中東、加拿大的醫院設置質子治療中心，並認為全世界的質子治療是共通的，在世界任何地方的質子治療，若發生錯誤，都會影響到全球人們對於質子治療的優先選擇與觀感。賓州大學醫院放射腫瘤部戲稱這裡是 hospital in a hospital，光是放射腫瘤部自己的行政相關部門就有 global education section (2 人)、business development section (3 人)、patient engagement section (4 人)、billing section (16 人)、patient scheduling section (6 人)，專注於放射腫瘤部的行政量能，這都尚未包括臨床醫療相關人員。

羅伯茲質子治療中心的 cyclotron 已 15 年，賓州大學醫院放射腫瘤部預計後年 (2027) 將開始進行 refurbish 翻新工程，此處將 shutdown 三年，移地 10 英里外先建置一間有兩 gantry room 的質子治療中心，將臨床病人移轉；此地之 cyclotron 進行汰舊換新，三年後將變成有兩 gantry room、一間 research room 之質子治療中心。



陳苓諭醫師與賓州大學醫院放射腫瘤部主任 Prof. James Metz (左)、ASTRO President-Elect Prof. Neha Vapiwala (右)之合照



Roberts Proton Therapy Center 羅伯茲質子治療中心之質子治療室平面圖

(二) 課程與臨床訓練內容

1. **患者治療觀察：**參與臨床治療流程，包括病患初診評估、影像導引與治療執行。

(1) Proton 因為 penumbra 較大、distal end range of uncertainty，較不適合立體定位放射治療。因此 lung SBRT、spine SBRT、heart SBRT 仍優先考慮光子治療。

(2) Photon 提供 a much better dose gradient fall-off，因此需要更好 coverage 區域、旁邊有 critical OAR 需要 sharp dose fall-off 區域，會考慮 proton + photon mix plan，通常 proton 80% + photon 20%，此處舉例為 sinonasal cancer : 54 GyE/30 fx proton (P) + 16.2 GyE/ 9 fx photon (X)。

(3) 大約一半的病人，因為體型改變、腫瘤變小、肺部積水等，會需要重新規劃質子治療計畫。Proton 射束多從後方來，因此肺部積水會讓 proton 劑量達不到腫瘤區域，會 under dose 腫瘤。腫瘤變小，有可能會讓劑量往後帶，overshoot 至 spinal cord。這些都要醫師謹慎注意。

2. **質子治療計畫設計：**學習不同腫瘤部位的治療計畫擬定，使用 Varian Eclipse 治療計畫系統進行操作與討論。

(1) Proton beam is broaden by the range shifter。range shifter 可讓質子射束治療較淺區域的腫瘤，但也會讓 spot size 變大、penumbra 增加。penumbra 增加對於會移動的病灶是好的，可以更好 cover target。

(2) Interplay effect: effect on dose due to dynamic beam delivery combined with anatomical location，results in the misplacement of individual beamlets relative to the planned positions, resulting in under dosage to the target。由於動態射束傳遞與呼吸位移，對質子劑量產生影響，導

致個別射束沒有對應到計畫位置的位置，造成目標區劑量不足。這在肺部及肝臟需要特別注意。

- (3) 肺部多用 SFO，劑量計算較可靠。Motion management 很重要，當達到 >8mm，就需要考慮以下方式: range shifter、re-painting、low energy。Re-painting 在 varian system 是採用“volumetric re-painting”，分兩次或三次 re-paint。

3. 部門會議與病歷討論：參加腫瘤討論會（Tumor Boards）與治療計畫審查（Chart Rounds）。

RadOnc Department Site Specific Chart Rounds & Multidisciplinary Tumor Board Meetings			
Mondays			
7:00am - 8:00am	Colon and Rectal Cancer Tumor Board	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
8:00am - 9:00am	Breast Department Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
12:00pm - 1:00pm	Proton Department Community Practice Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
1:00pm - 2:00pm	Thoracic Department Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
Tuesdays			
12:00pm - 1:00pm	Pediatric Department Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
Wednesdays			
7:00am - 8:00am	General GI Tumor Board	Click here to join the meeting	**1st & 3rd Wednesday of the month/Tumor Board Meeting
9:00am - 10:00am	CNS Department Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
12:00pm - 1:00pm	Spine Tumor Board	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
1:30pm - 2:30pm	GI Oncology Tumor Boards	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
3:00pm - 4:00pm	GI Department Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
Thursdays			
8:00am - 9:00am	Breast Cancer Tumor Board	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
1:00pm - 2:00pm	Head & Neck Tumor Boards	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
3:00pm - 4:00pm	Pediatric (CHOP) Solid Tumor Conference	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting (CHOP)
Fridays			
7:00am - 8:00am	GU Multidisciplinary Tumor Boards	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
8:00am - 9:00am	Thoracic Tumor Boards	Click here to join the meeting	Tumor Board Meeting
11:00am - 12:00pm	Head & Neck Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department
12:00pm - 1:00pm	Main Chart Rounds	Click here to join the meeting	RadOnc Department

- (1) 對於 Thorax malignancy，質子治療可以讓 heart 被保護得更好，mean heart dose 可以下降至 15 Gy、甚至 10 Gy。
- (2) 在光子治療計畫，Radiation pneumonitis 的指標通常是 V20，但在質子治療或許不同，較有可能是 V35。
- (3) 對於 re-irradiation treated by proton therapy，Gr 5 toxicity 大約 5%；若

re-irradiation iCTV 體積>250 cc，Gr 5 toxicity 會更高。

(4) 病人若有 ICD 也可以接受質子治療，相關臨床注意事項如下：

ICD device status	Energy	Interrogation	Magnet
Independent	<10 MV	Within 1 week of last treatment	No
	≥ 10 MV	Weekly and within 1 week after last treatment	No
Dependent	<10 MV	Within 1 week of last treatment	No
	≥ 10 MV	Weekly and within 1 week after last treatment	Daily magnet placement with clinical confirmation by nurse, NP, or physician. Pulse monitoring on first day of treatment.



羅伯茲質子治療中心的訓練課程很充實，晨會是早上 7:00 開始，課程至晚上結束。

陳苓諭醫師常於清晨抵達醫院，夜晚才離開醫院。左圖為早上的醫院，右圖為晚上的醫院，仍然燈火通明。

4. **影像模擬與對位技術**：觀摩 CT 模擬與患者固定裝置的製作，了解質子治療在影像定位上應注意事項。

(1) Devices do not extend into the treatment area。定位輔具盡量不延伸至治療區域。

(2) Siemens Dual energy CT 西門子雙能量電腦斷層用於質子治療病人的定位，可以更精準的計算質子計畫需要的 stopping power ratio (SPR)。對於 thorax、abdomen、pelvis，robust optimization 為 5mm isocenter shift、3.5% range uncertainty；但於 Head neck、CNS regions，DECT 可以較精準計算 SPR，robust optimization 可以調整為 3mm isocenter shift、2% range uncertainty。Siemens 現在已開發出商用軟體 "directSPR"，可以計算 DECT 影像之 SPR。

5. **放射生物學與研究討論**：觀察 SARRP 小動物實驗操作，學習質子治療在放射生物學研究上的應用。

(1) U Penn 針對 Proton FLASH 有做一系列的動物實驗。FLASH 是 ultra high dose rate，>40 Gy/sec，射束給予的方式必須要非常快，因此無法 switch across energy。通常分為三組: non-irradiated、standard (0.5-1 Gy/sec)、FLASH (80-130 Gy/sec)。

(2) SAARP 是 Xstrahl 公司生產，專門做動物實驗的放射治療硬體。搭配有 photon 射束，有軌道可以滑動固定至 proton double scattering fix beam 出口，讓已被麻醉的小鼠可以接受 FLASH proton therapy。

6. **特殊病例與先進技術**：參與全腦脊髓照射治療計畫設計與討論。

(1) Proton CSI (30 Gy/10 fx)，小心 leukopenia、thrombopenia、severe fatigue、nausea 等副作用。

(2) 若遇 leptomeningeal carcinomatosis with rapid neurologic progression，

可以直接先以光子做全腦治療，再做 spine proton plan，交接處在 C2 位置。

(3) Proton CSI 腦部之角度為 265 度、95 度，可以保護好 cochlea。Spine plan 選用 180 度。創造 field specific targets，交界處 overlap 2 cm；以 MFO 製作治療計畫。交界處之劑量，以 robust optimization “Y axis” isocenter shift 3 mm 來做，讓交界處劑量均勻分布。

三、心得及建議

本次在 UPenn 的訓練讓我對質子治療的臨床應用有更深入的了解，特別是在治療計畫設計、影像導引、劑量控制及副作用評估等方面獲益良多。此外，透過與 UPenn 專家的交流，進一步了解質子治療在放射生物學研究中的應用，並學習如何建立小動物放射實驗的操作流程。UPenn 的跨專業團隊合作模式也提供了寶貴的參考，未來可應用於臺大癌症中心質子治療的發展。賓州大學醫院放射腫瘤部對於本部的行政建議，包括：UPenn 稱 NYPC 是 "northern U Penn"，醫學物理師大多是在他們這邊 training 過去的，因此，U Penn 和 NYPC 的質子治療是同一套系統、workflow。UPenn 的 cyclotron 已經 15 年，即將進行翻新工程，建議本部 12 年左右可進行評估。一間質子中心一天通常會治療 20 位病人，他們是 6：30 治療第一位。可能之後會需要考慮 Raystation；Raystation 對於設計質子計畫更有 robustness，有 4D robust optimization 功能、可以 automatic 製作一個 photon backup plan 以應 proton shut down 時直接替換用、Proton FLASH 等先進技術在 Raystation 上設計計畫較穩妥。此次出國不僅提升了我的專業知識，也拓展了國際視野，未來將致力於將所學應用於臨床實務，進一步提升臺灣質子治療的品質與發展。