

出國報告（出國類別：短期進修）

Mayo Clinic PET/MRI 暨核醫科短期進修 心得分享

服務機關：台北榮民總醫院核醫部

姓名職稱：主治醫師 林可瀚

派赴國家：美國明尼蘇達羅切斯特市

出國期間：106.02.11 至 106.02.19

報告日期：106.03.07

摘要

目前能同步進行 PET 與 MRI 的 PET/MRI 機器僅有德國西門子與美國奇異公司，西門子的 PET/MRI 較早推出，台大與林口長庚均於兩年多前完成建置。奇異的 PET/MRI 則較晚推出，在部分功能上據悉有大幅改良，2015 年中才在 Mayo Clinic 完成全美國第一台臨床部門的裝機。

本院預計於今年度購完成 PET/MRI 的建置，關於兩家 PET/MRI 機器的優缺點以及特性，多半來自兩間廠商的片面自我介紹。於是在本部黃文盛部主任以及 Mayo 的洪家瑤(Joseph C. Hung)教授安排，在下有機會能夠前往 Mayo 的核子醫學科以及 PET/MRI 中心進行參訪，並且在洪教授與 Mayo 核醫科主任 Geoffrey Johnson 的安排之下，接受了五天密集的相關課程訓練與實際案例觀摩。

此次 PET/MRI 的觀摩課程，除了讓我學習到 PET/MRI 的相關知識，更重要的是了解 Mayo 的制度與文化。以病人為中心，但是也不急著把排程塞滿，而是按部就班的把最適合的臨床步驟規畫好，才推廣到病患服務上。所有的步驟都有 SOP，看起來繁複又沒有效率，但是最後能把每一個步驟銜接得很好，所以整體效率極高。我想這才是未來核醫部，甚至是全院應該仿效的方向。

關鍵字：PET/MRI、PET/CT

目次

一、 目的.....	2
二、 過程.....	3
三、 心得.....	4
四、 建議事項.....	10
五、 附錄.....	11

本文

一、目的：

目前能同步進行 PET 與 MRI 的 PET/MRI 機器僅有德國西門子(Siemens)公司與美國奇異公司(GE)，Siemens 的 PET/MRI 較早推出(2011)年，兩間友院(台大與林口長庚)均於兩年多前完成建置。GE 的 PET/MRI 則較晚推出，在部分功能上據悉有大幅改良，2015 年中才在 Mayo Clinic(以下簡稱 Mayo)完成全美國第一台臨床部門的裝機(先前僅限於研究與試驗機)。

本院預計於今年度購買 PET/MRI 以及完成 PET/MRI 中心的建置，關於兩家 PET/MRI 機器的優缺點以及特性，多半來自兩間廠商的片面自我介紹。關於 Siemens PET/MRI，由於兩間友院均使用此型機器，故相關的使用者經驗較多，國際會議上相關的討論與論文發表也不少；然而，較新型的 GE PET/MRI 則缺乏更進一步的使用者經驗。於是在本部黃文盛部主任的牽線之下，透過 Mayo 放射線部(註：Mayo 的核子醫學科隸屬放射線部之下)的洪家瑤(Joseph C. Hung)教授安排，在下有機會能夠前往 Mayo 的核子醫學科以及 PET/MRI 中心進行參訪，並且在洪教授與 Mayo 核醫科主任 Geoffrey Johnson 的安排之下，接受了五天密集的相關課程訓練與實際案例觀摩。同行的人員尚有台大醫院核醫部黃潔宜醫師，馬偕醫院核醫科林谷鴻醫師，林口長庚醫院核醫科何恭之醫師與吳志毅放射師等人。



與同行者合影於 Mayo Building 前。

右起：本人、台大黃醫師、長庚何醫師、馬偕林醫師、長庚吳技師。

二、過程：

第一日	
上午	Introduction ; PET/MRI Overview and Safety
中午	PET/MRI Clinical Practice Subcommittee
下午	PET/CT、PET/MRI 案例討論
第二日	
上午	PET/MRI 品管 ; Neurology PET/MRI Lecture ; 核醫與正子技術長座談
下午	Observe PET choline 與 PIB 檢查 ; Observe PET/MRI study
第三日	
上午	PET case review ; MRI 技術長座談
下午	Observe PET/MRI study
第四日	
上午	核醫科主任 G. Johnson lecture ; PET/MRI 物理師座談
下午	Case study review
第五日	
上午	Mayo Clinic 歷史導覽與院區建築巡禮 ; Case review with Dr. Andrew Homb
下午	PET/MRI case reading ; 參觀迴旋加速器(cyclotron)與放射化學製藥室



前排右一：洪家瑤教授；前排右二：Dr. Witte；中排右：核醫科主任 Dr. Johnson；中排左：PET/MRI 技師 Cindy Lang；後排右：核醫技師 Andy Hoffman；後排中：物理師 Brad Kemp；後排左：PET 技師 Dan McConnell

三、心得：

PET/CT 臨床服務方面：

Mayo 被評選為全美最佳的醫院之一，病人絡繹不絕的從全美，甚至是世界各地來到 Mayo 尋求進一步診斷與治療，所憑藉的就是一股信念『The needs of the patient come first』，所以 Mayo 的放射科與核醫科檢查相當強調『當日開單、當天或隔日完成檢查、以及檢查報告的即時性』。當然，要支持這樣的服務，就必須配備有足夠的人力以及機器。Mayo 放射科在 Rochester 院區就有 32 台 MRI (CT 數目太多數不清!)，以及超過 200 位的放射科醫師負責。而核醫科專職醫師為 14 位，除了一台 PET/MRI 之外，另有五台 PET/CT 正在運作；至於傳統核醫的部分有 4 台單光子加馬造影機運行中。五台 PET/CT 一天服務的病患總量是 80-100 位左右(一台 PET/CT 一天大約 16-20 人次)。此外在訪問期間，正在進行第六台新型半導體 PET/CT 的裝機工作，所以等到裝置完成，一天的總服務量可以達到 120 位左右。

Mayo 的 PET/CT 目前僅剩一台為舊型不具備有 Time-of-Flight(TOF)功能的機器，其診斷的精準度，掃描速度，以及降低病患接受輻射劑量各方面，據該院的醫師表示，均明顯不如其他具有 TOF 功能的 PET/CT;特別是新型的 PET/CT 除了 TOF 功能之外，也加入了新式的影像重組計算法(GE 公司的商品名稱為 Q Clear)，此重組法更能增加病灶與背景的對比，使得醫師更容易發現微小的病變處，大幅提高診斷率。而個人的觀察也是如此。本院目前唯一的一台 PET/CT 購於 2007 年，已經是 10 年前的舊產品，並未具有 TOF 功能，很顯然已經落伍，在診斷細微病灶、加快檢查速度部分已經力有未逮，故目前當務之急是購置新型的 PET/CT，尋求更好的病患服務品質。

PET/MRI 環境：

Mayo 的 PET/MRI 放置於 MRI 區域，但原因並不是因為要與 MRI 同步操作，而是因為該區域非常靠近 cyclotron 與正子製藥室，在運送短半衰期正子藥物方面相當有利(本院 PET/MRI 規劃理念相近於此)。



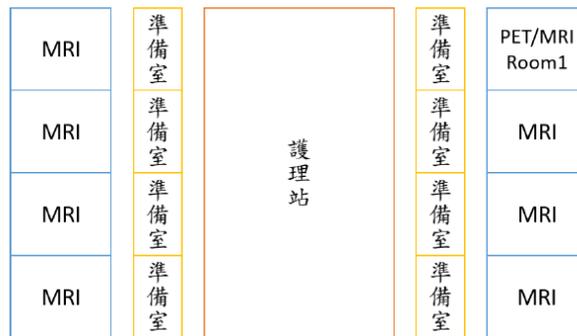


左上：Mayo 的 GE PET/MRI

右上：MRI 病患準備室內部

左下：MRI 中心護理站，方便監控受檢者的狀況

右下：MRI 造影室與病患準備室之間的走廊



MRI 造影室與準備室的規畫示意圖(長庚何恭之醫師繪圖)

此外，病患準備室配置有先進的燈號系統，讓工作人員看燈號顏色就能知道受檢者的目前狀態，以及下一步動態。Mayo 如此密集的排程與如此多間的 MRI 的確需要如此的系統才能方便管理與排檢。



PET/MRI 規劃、排程、以及造影流程：

Mayo 的 PET/MRI 是 2015 年 2 月裝機，但是裝機後並未立即進行臨床服務，而是經過將近一年的受試者造影與研究造影之後，才進入臨床使用。目前 PET/MRI 在 Mayo 也並非全部安排臨床案例，目前的安排如下：

- 上午~中午：4 位 clinical PET/MRI cases (若 PET/MRI 數量不足 4 位，則安排 1-2 位腦部 MRI 檢查。
- 下午：2 位 research & development PET/MRI，主要是針對各種病患與適應症進行影像參數調整，以及尋找適當的 MRI sequences for PET/MRI。
- 接下來的時間則當作一般 MRI 機器使用，主要是安排腹部 MRI 檢查。

值得一提的是，國外很多醫院，醫師往往為追求更多的 MRI sequences，導致 PET/MRI 檢查的時間過於冗長。Mayo 經由病患滿意度調查，發現最會造成病人不滿意 PET/MRI 檢查的原因就是檢查時間過長；放射師有實際接受過 PET/MRI 造影經驗的也表示，時間過長的話 PET/MRI 根本就是個 torture room。所以 Mayo 相當注重於『合理造影流程』的研發。一個合理的造影流程，要實際應用於臨床，必須盡量符合於一個小時內完成檢查，不然則會被認為造影時間過長，會造成病人配合度與滿意度大減。

所以 Mayo 並不急著把 PET/MRI 的排程佔滿，而是在臨床使用同時，尋找 PET/MRI 的使用適應症與造影流程最佳化。以下為 Mayo 的 PET/MRI 造影流程：

- 先進行 whole body survey PET/MRI，包含 PET 衰減校正(attenuation correction, AC) 的 MRI 訊號、PET 影像的收集、以及定位用的 3D T1 LAVA 訊號。Mayo 覺得 whole body survey 如果採用過多的 MRI sequences，則會造成檢查時間過長。但個人覺得，由於 PET 影像的時間為 2-3 min/bed，而同時間進行的 MRI AC 與 T1 LAVA 合計的時間並未超過 1 分鐘，所以未來本院可以在設計自己的 PET/MRI 流程的時候，加入一些適合的 sequences，在不增加造影時間的前提下獲得更多的 MRI 影像資訊，將更有助於醫師作影像判讀。
- 接下來根據不同的適應症，進行 focused PET/MRI。在這個階段才會針對特定部位進行多樣的 MRI sequences，以及較長時間的 PET 訊號收集。
- Whole body survey + focused PET/MRI 盡量不超過一小時。

Mayo 的 PET/MRI 適應症與目前正式上線的 protocols：

- Torso survey PET/MR + focused **brain** PET/MRI：
 - Lung cancer staging, CNS lymphoma, cancer with brain metastases.
- Torso survey PET/MRI + focused **abdomen** PET/MRI：
 - Pancreatic cancer, hepatic cancer, cancer with hepatic metastases.
- Torso survey PET/MRI + focused **pelvis** PET/MRI：
 - Endometrial, ovarian, cervical, and vulvar cancer.
- Torso survey PET/MRI + focused **marrow** PET/MRI：
 - Multiple myeloma.

- Torso survey PET/MRI + focused prostate PET/MRI :
 - Prostate cancer (使用 C-11-choline).
- Focused brain PET/MRI :
 - Epilepsy.
- Focused brachial plexus PET/MRI :
 - Pancoast tumor.

儘管目前 PET/MRI 在臨床使用方面尚未找到所謂的『killer application』，但是在某些方面各位醫師明顯覺得 PET/MRI 優於 PET/CT，如：epilepsy、brain metastases、pancreatic cancer、hepatic metastases 等，未來更多臨床研究結果與使用者經驗出來之後，應該是有機會取代 PET/CT 的角色。而未來本院的 PET/MRI 建置完成之後，應該與本院現有強項相結合，以求更進一步的發展，如：

- **癲癇患者的一部化檢查(one-step exam)：**
目前患者需要分別接受腦部 MRI 與 PET/CT 檢查，在細微病灶影像對為方面相當困難。如能在同步化的 PET/MRI 進行檢查，不僅可以提升診斷的準確性，也可以大幅減少受檢者來回奔波的不方便性。
- **鈹 90 微球體治療肝腫瘤患者的術前評估與術後追蹤：**
PET/MRI 在肝臟腫瘤的影像解析度遠高於 PET/CT，配合上本部亟欲推廣針對肝癌的 C-11-acetate 正子藥物，若能應用於鈹 90 微球體治療的評估上，絕對具有強大的發展潛力。此外，利用 GE PET/MRI 的高敏感度，可以大幅提升偵測鈹 90 微弱 internal pair-production 信號的幅度，此類影像不僅能應用於術後評估治療效果，更能獲得鈹 90 微球體的體內劑量分布圖，對鈹 90 相關的放射腫瘤研究將具有突飛猛進的效果。
- **硼中子捕獲治療(BNCT)的評估與定位：**
目前 BNCT 多著重於復發性腦部惡性腫瘤與復發性頭頸部癌症。PET/MRI 在腦部與頭頸部的軟組織對比度方面明顯優於 PET/CT 甚多，故在治療計畫的擬定與定位方面，必定是具有極大的發展潛力。
- **骨腫瘤的術前化療前後腫瘤的反應與術後追蹤。**
- 其他方面需要更多的臨床科、放射科、以及核醫科相互配合研究，找出適合於 PET/MRI 的適應症與合理的檢查流程。

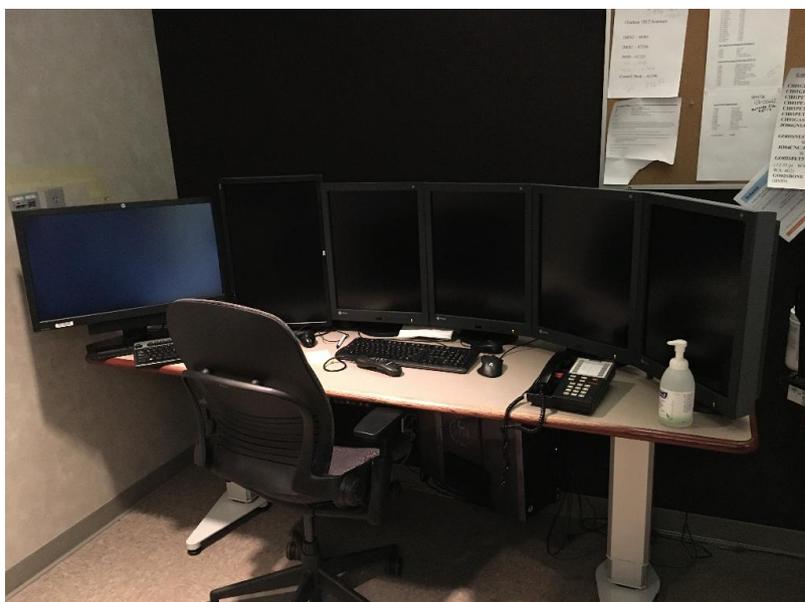
核醫科工作環境：

Mayo 核醫科的病患報到等候區、受檢區域、工作人員操作區域、工作人員休息區、醫師報告間、以及辦公區域完全分開，不會互相干擾。傳統核醫的造影室也與 PET/CT 造影室位於同一個區域，在人員調度方面也不會有分隔兩地的問題。目前本院核醫部由於思源樓建築規格屬於舊式設計，導致病患檢查動線與核醫部工作同仁的工作區域會互相重疊，造成患者的隱私會受影響，工作人員的工作空間也受限制。醫師報告間位於病人等候區與受檢區域之中，也往往會受到病患有意無意間進入而受到

干擾。再者，由於早期的規劃導致傳統核醫與正子中心距離較遠，造成人員分隔兩地調度不易。短時間的解決方案可能需要重新安排動線以及空間，才能兼顧病患的隱私，以及工作同仁的工作效率。未來長期的目標應該放在於新大樓建設的同時重新規畫空間，才能建置理想的核醫科環境。

造影檢查區域完全沒看到有人滑手機，也沒有看見任何食物與飲料出現，檢查區域所有人員都專心於工作。要休息的話另有一間大且舒適的工作人員休息室，休息的同時工作會有其他人員幫忙接手。

報告用工作站又快又好，不僅配備多螢幕，影像傳輸的速度以及同時間能夠開啟的影像量遠遠超出目前本院的程度。所以 Mayo 的醫師不需要花費很多時間在等候影像下載，也不會常常遭遇到電腦或程式當機的情況，不會因為資訊軟硬體而影響到工作效率。本院的影像相關科如放射科與核醫科，往往工作效率都嚴重受制於影像傳輸與報告系統的不穩定，希望能逐步加以改善，才能提升報告製作的即時性，加快病患的服務品質。



圖：Mayo 核醫科醫師報告間的基本配備。

最左邊的螢幕為醫院資訊系統，可以查詢病人資料與數據。左二的螢幕為報告輸入、中間兩個螢幕為核醫影像系統、右邊兩個螢幕為醫院影像系統。

專業人員配置：

在 Mayo 的核醫科，除了多位醫師之外，尚有數位資深的 Ph.D.負責核醫/正子藥物(即洪家瑤教授)、醫學物理師、以及專業放射化學師。這些人的位階均與核醫科醫師平起平坐，協助醫師進行各項檢查步驟的優化與調整，並且完成許多的臨床與基礎研究。

核醫部由於工作性質的關係，相當需要這些人員協助醫師與放射師進行臨床作業，尤其是新舊儀器的調整優化、新造影條件的研發與優化、以及核醫治療的劑量計算與評估等等。核醫牽涉到非常多的放射物理與放射化學部分，這些絕非一般的核醫

醫師可以完全瞭解，需要有專業的醫學物理/化學人員協助。過去本院核醫部在過世的葉鑫華教授編組之下，具有完整的核醫電腦師、以及醫學物理師、放化師/核醫藥師等專業人才，但隨著時代變遷，這些人員有些將近退休，不然就是另有高就，目前僅剩下放射化學與製藥方面尚稱完整。

當然以現行的狀態與編制下，要招考公職的醫用物理師相當困難，但目前各校研究所均能培養許多優秀的碩博士放射師，在學習過程中往往能接受類似醫用物理師的教育與訓練。若能改變職缺，招考具有放射師執照，且具備醫用物理相關專業的放射師進入核醫部協助擔任醫用物理師的工作，將能使核醫部的臨床工作更為精進，研究方面也更具有動能。

加速器與正子製藥：

Mayo 共有兩台 cyclotron 與 20 台合成器來因應如此龐大的 PET 檢查量。最大量以及最常使用的 FDG 採用自動注射器系統，可以大幅加速注藥的速度以及控制 FDG 的使用量。短半衰期的正子藥物，如半衰期 20 分鐘的 C-11-choline，則採用氣送系統直接由正子製藥室輸送至 PET/CT 區域。

一日 FDG 檢查約為 80 位，一天製作 2 批；而 Choline for prostate cancer 可達 20 位，一天製作 3 批。其他研究用的藥物，如 F-DOPA、FLT、N-13-Ammonia 等另有專門的合成器製作。



圖：Mayo 正子藥物的氣送系統與相關配件

本院的加速器與正子製藥室受制於舊式機型與不足的空間無法設置太多的合成器，未來在製藥產能方面的動能可能不足。個人的淺見是若能在新購置 PET/CT 的時候，規畫放置於思源一樓核醫部區域，則目前正子中心的區域則能完全規畫為正子製藥室，如此一來較有足夠的空間發展多樣性的臨床與研究用正子藥物。短半衰期藥物的運送可透過氣送系統解決。此外，將臨床用的 PET/CT 移至一樓核醫部區域也有助

於核醫部的人力配置應用，不需要分派醫師、放射師、以及其他工作人員至兩地。

GE PET/MRI versus Siemens PET/MRI：

儘管 Mayo 本身裝置的是 GE PET/MRI，並未配備 Siemens 的同類型機器。但由於核醫科醫師多半有放射科專科資格，也多半同時參與傳統 MRI 的判讀作業，在該院的 Siemens MRI 機器上有使用經驗。所以他們大概有以下的經驗分享：

- PET 部分：
GE 新式的 SiPM detector 與 TOF 的組合，加上新的 Q clear 影像重組方式，使得 GE 的 PET 影像表現優於 Siemens 的 PET。
- MRI 部分：
Siemens 的 MRI 比 GE 的好用，尤其是在 body coil 方面，以及心臟 MRI 部分，都是領先於 GE。但是在心臟方面 GE 偏向弱勢也不見得完全是壞處，這正好有助於本院的心臟團隊有機會獲取 GE 提供資源，研發 GE cardiac MRI 的各項 sequences 以及應用。

四、建議事項：

綜合以上的心得，此次參訪的重點心得包括有：

1. 本院的 PET/CT 亟需汰舊換新，以尋求更好的病患服務品質。
2. 關於 PET/MRI 如何建立理想且適合於本院的造影流程，需要核醫科與放射科一起研究發展。
3. 未來本院的 PET/MRI 建置完成之後，應該與本院現有強項相結合，以求更進一步的發展。
4. 本院的影像相關科往往工作效率都嚴重受制於影像傳輸與報告系統的不穩定，希望能逐步加以改善，才能提升報告製作的即時性，加快病患的服務品質。
5. 招考具有放射師執照，且具備醫用物理相關專業的放射師進入核醫部協助擔任醫用物理師的工作，將能使核醫部的臨床工作更為精進，研究方面也更具有動能。
6. 未來核醫部與迴旋加速器的位置規畫與動線安排。

此外，此次 PET/MRI 的觀摩課程，除了讓我學習到 PET/MRI 的相關知識，更重要的是了解 Mayo 的制度與文化。以病人為中心，但是也不急著把排程塞滿，而是按部就班的把最適合的臨床步驟規畫好，才推廣到病患服務上。所有的步驟都有 SOP，看起來繁複又沒有效率，但是最後能把每一個步驟銜接得很好，所以整體效率極高。我想這才是未來核醫部，甚至是全院應該仿效的方向。

附錄：

民國 106 年 3 月 7 日於核醫部會議室與核醫部同仁做心得分享

