

出國報告(出國類別：其他)

赴美參加第 43 屆美國輻射防護與
度量委員會年會及參訪佛羅里達
大學質子治療中心出國報告

服務機關：行政院原子能委員會

姓名職稱：蔡親賢技士

派赴國家：美國

出國期間：96 年 4 月 14 日至 4 月 24 日

報告日期：96 年 7 月 9 日

目 次

摘 要

壹、 目的

貳、 行程

參、 內容

一、 第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年會會議紀要

二、 佛羅里達大學質子治療中心參訪

三、 佛羅里達大學核子醫學部門參訪

肆、 心得與建議

伍、 致謝

陸、 附錄

摘 要

本次職奉派赴美主要參加第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年度會議 (43th Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection & Measurements)，本次會議於維吉尼亞州阿靈頓市的 Crystal City Marriott 飯店會議中心舉行，共計約 400 餘人參與此次之會議。會議的主題為「醫學輻射防護的進展」 (Advance in Radiation Protection in Medicine)，邀請輻射醫學應用的學者專家針對放射診斷、核子醫學、放射治療、綜合性議題等四大輻射醫療領域提出 21 篇專題報告，報告內容除最新輻射醫療設備與診斷治療技術的介紹外，特別對於病患輻射劑量的評估與劑量最適化的探討提供許多的建議與說明。

在會議結束後，另轉往佛羅里達大學質子治療中心與核子醫學部門參訪，以瞭解美國質子治療中心設置規劃至正式運轉，在輻射安全管制實務作為，及蒐集有關主管機關針對質子治療中心申請之輻射安全審查規範與運轉相關資訊，以為國內未來引進質子治療設備之輻安管制業務預作準備。並對核醫輻射安全管制實地瞭解，俾對病患輻射安全與美國輻射管制趨勢進行瞭解，對於未來管制規劃之精進有其助益。

壹、目的

過去二十年來，隨著醫療科技的進步使用游離輻射作為疾病診斷與治療日益廣泛。而許多可發生游離輻射醫療設備也推陳出新，但當醫界大量使用是項設備造福病患同時，是否有思考如何降低病患的輻射曝露，使病患在獲得最佳醫療照護之時亦能減少游離輻射對病患本身所造成的癌症誘發風險，以獲得最大淨利益，造福病患。而這些種種的疑問亦成為 2007 年第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年度會議 (43th Annual Meeting of the National Council on Radiation Protection & Measurements) 的主要討論議題。

第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年度會議在 4 月 16、17 日為期二日，假維吉尼亞州阿靈頓市的 Crystal City Marriott 飯店會議中心舉行，本次會議參加者涵蓋放射線專科醫師、醫學物理師、醫事放射師、輻射生物、保健物理等學者專家，共計約 400 餘人參與。會議的主題為「醫學輻射防護的進展」(Advance in Radiation Protection in Medicine)，因屬年度大會且本年討論議題為醫療輻射防護，因此委員會特別邀請相關領域的學者專家針對放射診斷、核子醫學、放射治療、綜合性議題等四大輻射醫療領域提出 21 篇專題報告，報告內容除最新輻射醫療設備與診斷治療技術的介紹外，特別對於病患輻射劑量的評估與劑量最適化的探討提供許多的建議與說明。

根據醫學統計調查約有 1/4 的人類在一生中會罹患癌症，隨著放射治療技術與設備的日益精進，癌症患者接受放射治療後的治癒率與存活率普遍提昇，放射治療的原理仍是利用游離輻射對癌細胞進行清除，但在治療過程中輻射線穿過人體過程中，或多或少對正常組織細胞會造成損傷甚而造成二次癌症，因此如何兼顧最佳的治療效果與降低病患輻射傷害，已成為放射治療領域的核心價值。而質子治療技術的產生正是此一價值的最佳代表儀器，因為質子的物理特性，使質子治療技術比傳統 x 光放射治療技術更為精確，並可使臨床醫師對惡性腫瘤施予更高劑量而不會增加周圍正

常組織輻射劑量。但質子治療設備價格昂貴，國內醫療院所目前尚未購置此一設備，但已有一至二家醫學中心針對引進質子治療技術之可行性正進行評估，預期國內未來將有此一技術引進。此一設施雖為癌症治療利器，但設施本身仍為本會管制之可發生游離輻射設備，基於保障民眾輻射安全之職掌，會內長官則以前瞻性的管制思維，另指示職在此次出國參加NCRP年度會議行程內，另轉往佛羅里達大學質子治療中心實地訪查，以確實瞭解美國質子治療中心在設施規劃至正式運轉服務病患期間，在輻射安全管制實務面之作法，及蒐集有關主管機關對質子治療中心申請之輻射安全審查規範與運轉相關管制規定，以為國內未來引進質子治療設備之輻安管制措施預作準備。另佛羅里達大學附設醫院設有核子醫學部門，而職過去曾於台北榮民總醫院擔任核醫部放射安全師，而目前業務職掌亦包含核子醫學部門輻射安全管制業務，因此順道安排參訪該院核子醫學部門，期能對未來業務管理上有所助益，在病患就醫輻射安全與服務核醫醫界上能達成安全第一、服務為先之施政主軸。

貳、行程

時 間	參訪單位	行程規劃	地 點
4/14 (六) 4/15 (日)	路 程	台北出發	台北--- Arlington, Virginia
4/16 (一)	NCRP 43 rd Annual meeting	參加 NCRP2007 年會	Arlington, Virginia
4/17 (二)	NCRP 43 rd Annual meeting	參加 NCRP2007 年會	Arlington, Virginia
4/18 (三)	路程及整理 參訪資料	轉機至參訪醫院	Arlington, Virginia 至 Gainesville, Florida
4/19 (四)	佛羅里達 大學	參訪質子治療中心	Gainesville, Florida
4/20 (五)	佛羅里達 大學	討論質子治療輻射安 全相關議題	Gainesville, Florida
4/21 (六)	佛羅里達 大學	參訪核子醫學部門	Gainesville, Florida
4/22 (日) 4/24 (二)	路 程	由 Florida 轉 Atlanta 轉 Houston 至台北	

參、內容

一、第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年會會議紀要

(一) NCRP 簡述與會議議題概要說明

NCRP(National Council on Radiation Protection & Measurements)美國國家輻射防護與度量委員會 1964 年成立，成立宗旨為(1)蒐集、分析、發展輻射防護相關資訊與輻射度量技術及量測單位建立(2)結合美國國內相關領域之學者專家成立專業組織，致力於輻射防護發展(3)與國際相關輻射防護相關組織或它國輻射防護團體共同合作致力於輻射防護與量測單位發展。目前 NCRP 下轄六大科學領域委員會分別為：(1)流行病學、輻射生物與輻射風險(2)輻射作業安全(3)非游離輻射(4)醫用輻射安全(5)環境輻射與放射性廢棄物(6)輻射度量與劑量學。

第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年度會議在 4 月 16、17 日為期二日假維吉尼亞州阿靈頓市的 Crystal City Marriott 飯店會議中心舉行，本次會議參加者涵蓋放射線專科醫師、醫學物理師、醫事放射師、輻射生物、保健物理等學者專家，共計約 400 餘人參與此次之會議。會議的主題為「醫學輻射防護的提昇」(Advance in Radiation Protection in Medicine)，會議論文摘要詳如附件。

會議採專題演講報告方式進行，演講者多為各輻射醫療領域的專學者家，會議報告內容著重於醫療輻射曝露、劑量約束及新舊輻射醫療技術的精進...等為會議主軸。若以各醫療輻射應用領域區分，可分為四大核心領域，分別為放射診斷、核子醫學、放射治療與綜合性議題討論，二天的議程共提出 21 篇專題報告，報告內容除最新輻射醫療設備與診斷治療技術的介紹外，特別對於病患輻射劑量的評估與劑量最適化的探討提供許多的建議與說明。大會開幕演說則邀請耶魯大學 Dr James A. Brink 對於「輻射在醫學上的使用與誤用」作為開幕演說，Dr. James 以近年來在醫療院所使用頻次愈來愈高且病患所接受之劑量與群體劑量大的電腦斷層掃描

(computer tomography)作為本次會議的重點報告，也成為本次會議迴響最多且各方討論最熱烈之議題。此外大會另一專題演講第 31 次 Lauriston S. Taylor Lecture 也是全場關注的焦點，Lauriston S. Taylor 為 ICRP、ICRU 之創會資深會員也是 NCRP 創會委員，他生於 1902.6 卒於 2004.11 享年 102 歲，可謂美國保健物理學的先鋒者，NCRP 在年會內設置 Lauriston S. Taylor 講座，以表彰他對美國保健物理領域的貢獻，本屆第 31 次 Lauriston S. Taylor Lecture 是邀請 Lawrence Berkeley National Laboratory 的 Dr. Patricia W. Durbin，其演講主題為她畢生所研究領域之銻系螯合物在環境、醫學上之應用，題目為「The Quest for Therapeutic Actinide Chelators」，演講完畢獲得全場學者的起立致意。除了上述兩位學者專家精闢的演說外，其餘 21 篇的專題報告也都精彩絕倫各有專業見解，對於醫學輻射防護的趨勢與提昇提供非常具有價值的數據與先驅性的探討，以下各分節，謹就相關領域之專題報告精要部份作一摘錄說明。



(二) 放射診斷議題介紹

本次會議有關放射診斷議題共有 13 篇專題報導（包含大會開幕演說）內容包羅萬象，舉凡放射診斷範疇如電腦斷層掃描、介入性透視檢查、放射診斷醫療品保、牙科造影技術與乳房攝影...等議題均有詳實的介绍與報

告。而其中全場迴響最多與聚焦的重點，則為電腦斷層掃描病患接受劑量探討，在開幕演說耶魯大學 Dr James A. Brink 演講題目「輻射在醫學上的使用與誤用」正是以電腦斷層掃描的使用及劑量約束為主要內容。以下謹就有關電腦斷層相關輻射安全報告作一摘要說明：

1.電腦斷層掃描病患輻射劑量探討

隨著醫療儀器的日益精進，電腦斷層攝影技術的提昇，快速、準確以及非侵入性的優點，使得電腦斷層掃描儀 (computer tomography, CT)，已成為當代醫學非常重要的診斷利器。但由於電腦斷層攝影對於病患所造成的輻射劑量較高 (5-20mSv) 且接受此項檢查的民眾有愈來愈多的趨勢，在 2001 年 1 月 22 日 USA TODAY 報導記載，調查美國約有 160 萬孩童曾接受電腦斷層掃描診斷，但有 1500 人因此罹患癌症，姑且不論新聞內容是否有詳實科學數據可論證，但此一報導卻造成許多家長拒絕孩童接受 CT 檢查，反導致孩童因診斷延誤而使病情加重，因此 CT 的劑量約束已成為民眾關注的焦點，也是本次會議最重要的議題。

Dr James A. Brink 在簡報一開始提出一份數據，令現場與會人士為之矚目。他指出過去 (1980 年) 美國民眾平均一年接受輻射劑量約 3.34 毫西弗，其中天然輻射劑量約 2.8mSv (佔全體劑量 82%) 而醫療輻射約 0.54mSv (約佔全體劑量 17%)。但就現今 (2006 年) 一份非正式的全美民眾劑量數據調查發現，天然輻射劑量仍維持約 2.8mSv 劑量值差異不大，但醫療輻射劑量卻從 1980 年 0.54mSv 上昇至 3.2mSv，成長幅度高達 5.9 倍 (劑量比較圖，詳如附圖 2)。而接受醫療曝露群體劑量，也從過去 12,400 人西弗，成長為 930,000 人西弗，成長幅度為 7.5 倍。可顯示愈來愈多的民眾接受輻射醫療檢查及許多高劑量的醫療器材正廣泛的使用，而其中 CT 約為 1.5mSv，已成為最高的醫療輻射劑量來源。因此在享受醫療輻射對民眾帶來健康益處之時，仍須思考如何能合理抑低醫學劑量作好劑量約束的措施，已成為醫學界與輻射防護界須共同努力的議題。

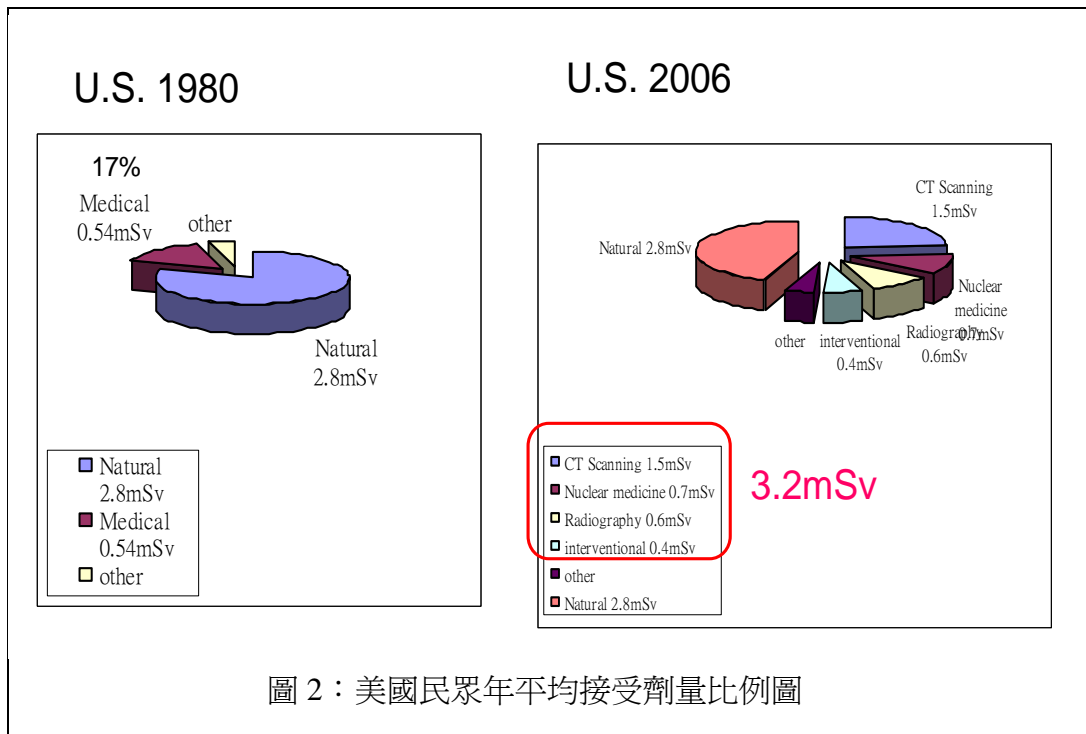


圖 2：美國民眾年平均接受劑量比例圖

那麼 CT 造成劑量影響究竟多高？所造成風險為何？據相關統計資料顯示，一般 X 光放射診斷檢查，其病患所接受劑量約 0.1-3 毫西弗（mSv），但電腦斷層攝影對病患劑量卻高達 5-20 毫西弗（詳如表 1）。而在美國每年接受電腦斷層攝影檢查人數，從 1981 年每年 3 百萬人次迄今（2006 年）已達 6 千 3 百萬人次。Dr. James 以日本核爆生存者之罹癌風險推估，以日本核爆生存者接受劑量為 5-150 毫西弗（mSv），因輻射導致相對致癌風險約為 1/2000，而接受電腦斷層攝影平均劑量約 5-20 毫西弗（mSv）作一比較，因電腦斷層接受劑量約在日本核爆生存者劑量範圍內，如同以 1/2000 為相對致癌風險推估，全美每年 6 千 3 百萬人次接受電腦斷層攝影，預估約有 3 萬 1 千人會因接受電腦斷層攝影增加致癌機率。暫且不論此一推算是否為保守推估，但電腦斷層掃描所導致病患醫學劑量增加，已成為醫學輻射安全的一項新挑戰。

表 1：放射診斷檢查病患接受劑量

放射診斷項目	每次接受劑量
胸部 X 光	0.10mSv

頸椎 X 光	0.11mSv
骨盆 X 光	0.27mSv
頭部 X 光	0.31mSv
上消化道	1.17mSv
下消化道鋇灌腸	2.98mSv
CT Scan	5-20mSv

由於電腦斷層掃描攝影，本身具診斷準確與快速的優點，因此臨床醫師在病患診斷多使用電腦斷層攝影作為診斷最重要判斷儀器，Dr James 也提出有許多無需接受電腦斷層掃描的病患，因為年輕醫師的自信心不足而開具電腦斷層攝影檢查單以作為其判斷病情的佐證協助，間接造成電腦斷層攝影的誤用與濫用。而也有許多醫師其看片習慣不同，而使用許多過高的造影參數，也間接造成病患劑量增加的原因之一。但這些問題都是可以經由教育訓練與設備改善作到合理抑低，因此 Dr James 在報告中介紹現今許多電腦斷層掃描儀在劑量約束上的一些配備精進，並也在醫務管理面及實務執行面上提出許多建議，以下分述之：

(1) 儀器設備性能精進對 CT 劑量抑低之介紹

在電腦斷層攝影中，造影技術與劑量相關的因素如下：

- 管電壓---電壓高對降低影像干擾有幫助
- 管電流---mA 增加，劑量成比例增加
- 掃描時間---時間增加，劑量成比例增加
- 切片厚度---單一切片厚度增加，劑量增加
- 掃描體積---隨體積增加，劑量成比例增加

在電腦斷層攝影最重要因子為 mAs，mAs 是病患掃描時間與管電流乘積，其中掃描時間與病患掃描體積有關，而管電流 mA 是單位時間內 X 光子數，mA 增加，劑量成比例增加。而 mA 的大小除造成劑量多寡外亦影響影像空間解析度 (spatial resolution) 的好壞，特別是現今的電腦斷層掃描儀，從過去 SDCT(single detector computer tomography)進步到 4 切片、16 切片甚至 64 切片的 MDCT(multiple detectors computer tomography)，在切片厚度愈來愈細的操作下，為保持影像低雜訊與提昇影像解析度情況下，勢必須將管電流 mA 提高，近而造成病患劑量增加，因此管電流 mA 的調控為影響劑量多寡之重要因子之一。

在本次大會放射診斷議題內，多位專家學者均提到 mA 調控的技術，而 mA 調控技術(tube current modulation)最主要概念是依據個人體型不同，在一次旋轉掃描過程 (360 度) 將 mAs 作最適化分配，而不似過去傳統造影技術中，在任何掃描角度均維持同一管電流，再配合自動曝露控制 (automatic exposure control) 系統，在 Z 軸掃描上依身體不同部位作一適度調控，這項技術的提昇不會使影像品質降低，但對劑量抑低有莫大的幫助，可降低劑量達 20%-50% (如圖 3)。此外在心臟斷層掃描時，可配合心電圖 (ECG) 及自動曝露控制 (AEC) 的使用，在造影成像時，只截取同一相位的影像組合，而在不同相位的掃描過程中可停止曝露，這種新技術與儀器的配合對於心臟造影時病患的劑量降低可達 30%-50% (如圖 4)

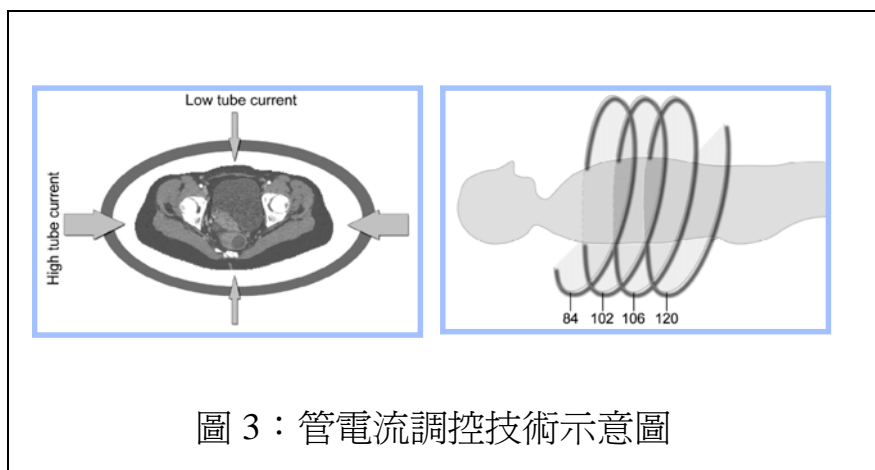


圖 3：管電流調控技術示意圖

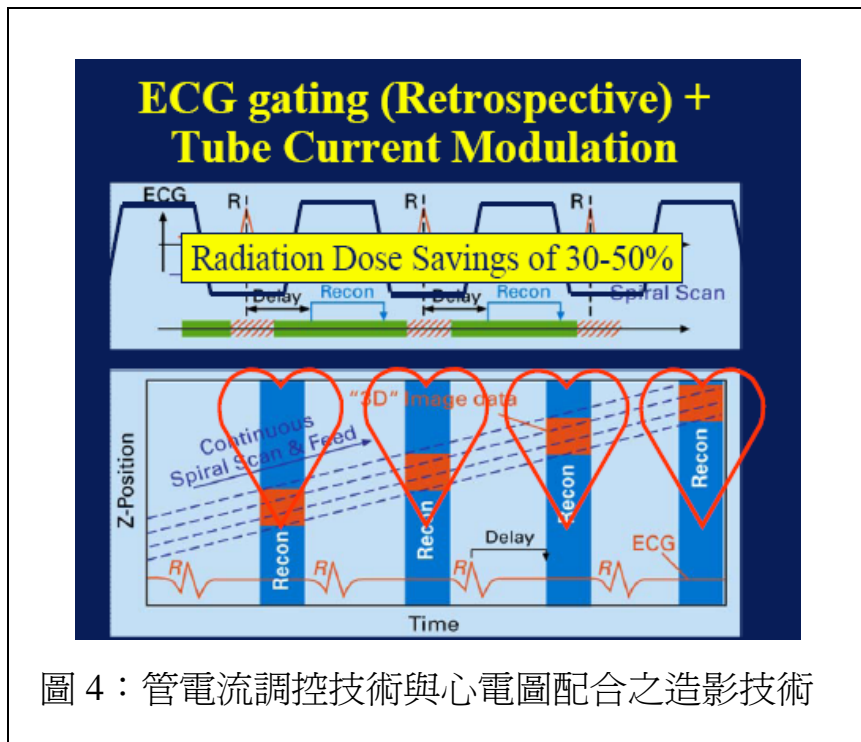


圖 4：管電流調控技術與心電圖配合之造影技術

(2) 醫務管理與實務執行對 CT 劑量抑低之建議與作為

對於 CT 劑量的抑低在管理層面上應如何執行？Dr James 在報告最終提出許多建議與積極作為，他謹就臨床技術層面、醫院管理層面與州政府及中央主管機關層級，提出精闢的見解與建議：

- 臨床技術層面

甲、 教育訓練的加強---無論是臨床醫師或放射技術師，對於 CT 的使用、影像的品管、造影技術的改進與判片技術的提昇，都需要不斷的繼續教育，如此將對 CT 劑量約束有其助益。

乙、 病患衛教資訊的提供---對於病患接受電腦斷層攝影，醫院當局有義務讓病患瞭解他所受的輻射劑量值，這對於病患本身除已身病情瞭解外，也可使病患對於醫用輻射曝露風

險認知有其幫助，目前新式的電腦斷層掃描儀，對於病患劑量均可提供完整的資訊。

丙、 非游離輻射設備的選用---對於一些疾病的診斷，臨床醫師亦可考慮其他非游離輻射診斷設備的使用，如核磁共振儀（MRI）或超音波（sono），當然這些診斷儀器的選用還是以臨床醫師依臨床實際需求為主要考量。

- 醫院管理層面

甲、 醫院本身應建立醫療品保制度與風險評估管控機制，有益於醫療品質提昇與劑量抑低。

乙、 建立 CT 使用規範與醫師開具 CT 檢查單的習慣---這項作為對於一些習慣依賴 CT 診斷的醫師或一些較無自信的年輕醫師有其約束，可減少一些 CT 檢查單的開具，以防止 CT 的濫用。

丙、 病患劑量紀錄的建立---紀錄的建立可瞭解病患本身其醫療輻射曝露史，對於醫師在開具輻射檢查單時，可審慎考量開單的必要性，對於劑量的約束有其正面幫助。

- 州政府及中央主管機關層面

甲、 建立全國病患醫療劑量資料庫---這是一個理想性的建議，但可透過保險制度的協助，由保險給付中瞭解病患接受醫療輻射曝露史，可清楚瞭解病患接受醫療輻射劑量。

乙、 主管機關與專業學會共同推動電腦斷層掃描品保制度---美國放射學會（ACR）對電腦斷層掃描儀有訂定一些品保程序，但由於各州法律不同並非各州均採同一標準實施，因此如能與專業學會配合共同施行電腦斷層醫療品保制度推行，對於劑量約束絕對有其正面助益。

丙、 加強宣導與重視電腦斷層劑量約束---全國性的推廣與制度的建立，有賴於中央主管機關的政策推行。

2.新澤西州醫療輻射曝露品保經驗分享

本專題報告是由新澤西州環境保護部輻射健康防護局 Dr Jill 對於新澤西州實施醫療曝露品質保證的相關經驗分享。過去新澤西州環境保護部在 X 光診斷設備的檢查著重於 X 光機的硬體設備（如管電壓、管電流、準直儀...等）輻射安全查核，但在 1996 年起，環境保護部在醫學輻射安全管制上作了政策上的改變，主要管制方向鎖定影像品管與入射皮膚劑量曝露（entrance skin exposure, ESE），這項管制方向的變革類似我國在醫療輻射安全管制上，在游離輻射防護法施行後增加醫療曝露品質保證的推行，而 Dr Jill 以 1992 年 FDA 推行乳房攝影醫療曝露品質保證為例（如圖 5），可看出在 1992 年前未制定乳房攝影品質標準法（MQSA, The Mammography Quality Standards Act），病患接受乳房攝影檢查所受劑量約在 2 毫戈雷（mGy）以上及假體影像品管分數比率約在 80%，但在 1992 年 FDA 推行 MQSA 品保制度後，接受乳房攝影病患劑量從未施行前的 2mGy 降至 1.8mGy，劑量的降低卻不影響影像品質分數，影像品質從 80% 提昇至 95% 以上，對於 9 位婦女有 1 位可能會罹犯乳癌的美國女性而言，MQSA 的制定造福了廣大的婦女，使其在乳癌篩檢上更能準確診斷亦能作好劑量約束。此外新澤西州環境保護部在 1996 年醫療輻射安全管制方向的改變後，以胸部 X 光診斷為例，在未施行醫療品保管理前其入射皮膚曝露劑量（entrance skin exposure, ESE）約為 22.2mR，在推行 4 年以後入射皮膚劑量曝露降至 11.9mR，降幅高達 46.4%，同樣在足部與腰椎 X 光造影其降幅分別為 66.5% 與 34.3%（如圖 6），而影像品質分數仍穩定維持在 60 分以上。

在 Dr. Jill 的專題報告中，對於新澤西州推行醫療品保制度的成功

經驗分享，可作為我國現行在推行醫療曝露品質保證制度的最好借鏡與例證。

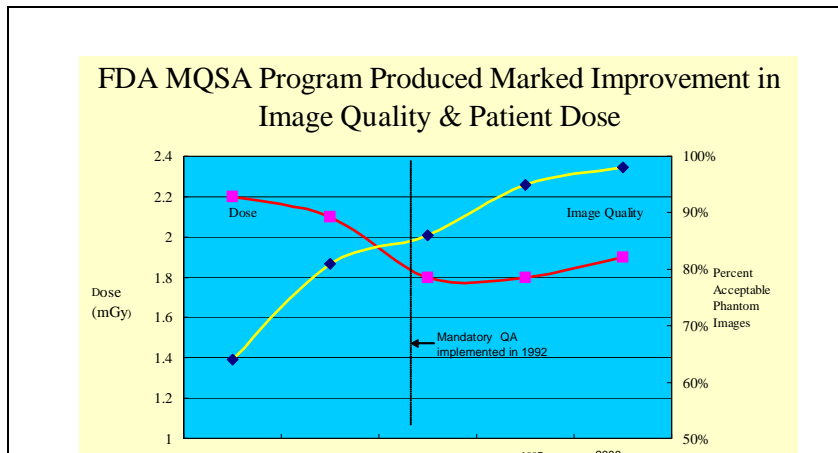


圖 5：美國制定 MQSA 劑量與影像改進分析圖

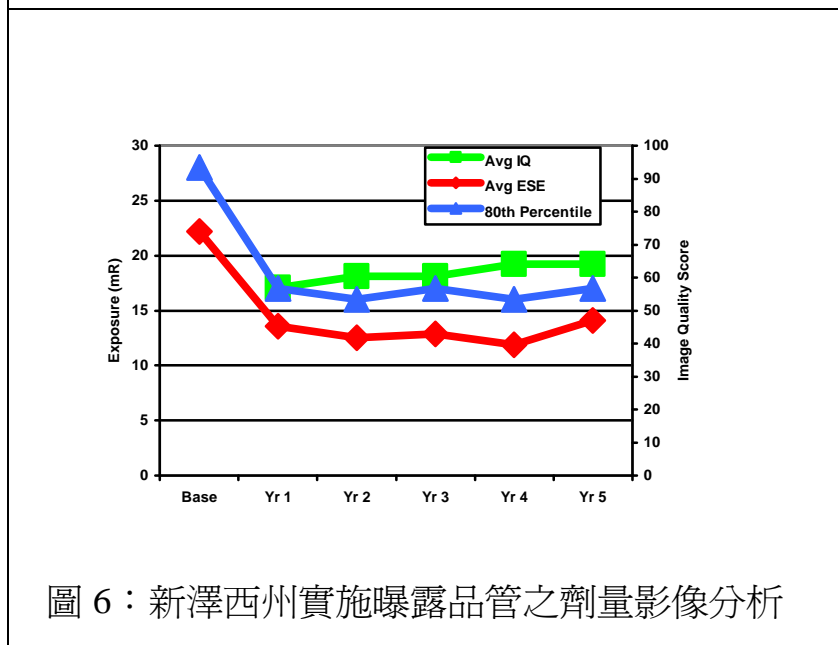


圖 6：新澤西州實施曝露品管之劑量影像分析

3.介入性透視檢查劑量探討

介入性透視檢查(Interventional Fluoroscopy)，是利用 X 光導引導管進入病患體內進行檢查與治療的一種醫療技術，與傳統手術相比較，接受介入性透視檢查之病患傷口較小、恢復時間快、副作用少、病患痛苦小，此項檢查常用於冠狀動脈繞道手術、心臟氣球擴張術等。但

由於在整個導引手術時間久且放射照野大，因此對於病患皮膚劑量有可能導致確定效應，此為該項診斷檢查所要關注的輻射安全問題。此外在導管室中的醫師與工作人員，因長時間曝露在 X 光環境中，因此工作人員的作業輻射防護也為輻射防護的另一重點。

在介入性透視檢查當其皮膚劑量大於 2 戈雷 (Gy) 有可能造成皮膚紅斑灼傷，因此美國國家海軍醫學中心 (National Naval Medical Center) 之 Dr Donald L，對於透視檢查之操作人員與病患劑量約束提出了以下建議：

(1) 病患劑量約束

- 造影技術的精進---包含儀器設備的改善
- 控制曝露時間---曝露時間應合理設定
- 影像的品管---應建立影像品管流程
- 合理照野設定---照野的設定視實際需求設定

(2) 操作人員劑量約束

- 確保手部遠離射束---操作人員手部應儘量遠離射束
- 使用移動式鉛屏---購置移動式鉛屏防護
- 操作位置選擇---避免射束直接曝露操作者
- 穿戴鉛衣---工作人員操作時穿著鉛衣

(三) 輻射與妊娠

輻射對於懷孕婦女的影響，是醫院輻射安全人員在面對就醫民眾詢問時最難回答以及最需審慎處理的議題。對於一般民眾而言，接受醫療輻射曝露通常在心態上認為是正當與可接受的，但婦女因負有孕育下一代的天

職，是以在孕期中如不慎受到輻射的曝露，有可能使腹中胎兒的遺傳風險增加，因此當懷孕婦女不慎接受輻射曝露，往往心裡充滿極大的憂慮並考慮施行一些可能不必要的終止妊娠。因此國際放射防護委員會 ICRP，在第 84 號報告即針對妊娠與醫療輻射之關係出版相關報告。

在本次大會中，英國劍橋大學的 Dr. Claire 即以 ICRP84 號報告為主，闡述游離輻射對懷孕婦女及具有生育能力的女性輻射工作者的影響。首先他先歸納一般放射性診斷檢查（含核子醫學檢查）對胎兒所接受的劑量與遺傳、致癌效應應作一統計說明（詳如表 2），由表 2 可看出電腦斷層掃描劑量偏高，因此對於胎兒遺傳與致癌效應為高，應審慎考量是否實施此項檢查，但也不要因為劑量偏高就拒絕此項檢查或終止懷孕，Dr. Claire 謹就 ICRP84 號報告建議，提出醫學輻射應用的正當性與最適化原則，並說明懷孕婦女是否因輻射曝露就須要終止妊娠？以及從事放射線工作人員是否仍可繼續從事輻射工作？提出其建議：

- 醫學輻射應用應符合正當化（利大於弊），但利弊分析考量需考慮醫學上需要及潛在放射風險分析，並需善用個人判斷，不僅是數字上的分析。特別是對於懷孕婦女接受輻射照射的醫療行為。在一般民眾接受輻射照射，我們考慮的是個體本身的利弊分析，但對於懷孕婦女而言，則須同時考量胎兒與母體的分析。
- 若確定需要接受醫學輻射照射的婦女，則須以最適化原則，儘可能以調整常規照射方法，減少胎兒的劑量。
- 當胎兒接受劑量小於 100 毫戈雷（mGy），醫學上尚無任何理由顯示需要終止懷孕。以接受 100mGy 的胎兒劑量所誘發兒童未來罹患癌症或白血病之終身風險約為 1/170。而以一般民眾在未接受輻射照射下，罹患癌症風險為 1/3，而低於 100mGy 以下所造成胎兒畸形，亦可能不會發生。
- 只要能保證懷孕期間對胎兒的劑量小於 1mGy，懷孕的輻射工作人員仍可繼續從事輻射工作。

而上述的建議相信對保健物理人員，面對懷孕婦女或女性輻射工作人員對於輻射與懷孕的憂心，應有一較明確而可遵循的參考建議。

表 2 放射檢查胎兒劑量與遺傳致癌風險

	胎兒劑量 (毫戈雷)	胎兒遺傳效應	胎兒致癌機率
腹部 X 光	1.4	1 / 30000	1 / 24000
骨盆 X 光	1.1	1 / 38000	1 / 30000
腰椎 X 光	1.7	1 / 24000	1 / 20000
上消化道 鋇劑	1.1	1 / 38000	1 / 30000
Barium enema	6.8	1 / 6000	1 / 5000
CT abdomen	8.0	1 / 5000	1 / 4000
CT lumbar spine	2.4	1 / 24000	1 / 14000
CT pelvis	25	1 / 1700	1 / 1300
Tc-99m bone scan	3.3	1 / 13000	1 / 10000

(四) 放射治療議題介紹

在本次大會中放射治療專題僅有 3 篇，但議題主要論述並非討論劑量約束而是訴求醫療曝露品保的重要性。因為放射治療既是利用高劑量的放射線對於癌細胞進行破壞，治療劑量主要以臨床需求為主，但如何使治療劑量精準，醫療曝露品保的建立與放射治療儀器設備的精進為主要重點。放射治療的趨勢正是希望對於病患本身腫瘤破壞能精確，對於正常組織的傷害能降至最小，現今許多放射治療的儀器推陳出新與許多治療技術日益精進，都以此一目的為努力方向，如強度調控放射治療技術 (IMRT)、影像導航放射治療技術(IGRT)、加馬刀(Gamma knife)、電腦刀(Cyberknife)、螺旋刀(Tomotherapy)及質子治療技術 (Proton Therapy) 等，這些儀器與設備都是運用電腦調控技術對於癌病治療作到精準並對正常組織傷害小。但在本次會議 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center 之 Dr. Howard 卻提出呼籲，他指出當放射治療技術與設備愈來愈精進造福民眾之時，醫界反而要更加小心謹慎的運用此一利器，因稍一不慎反而造成更大的傷害。

Dr. Howard 指出在過去放射治療雖沒有如此先進的電腦設備提供協助，傳統治療計畫都是仰賴人為計算，而在傳統模擬定位使用病人定位條件表以及一些病患防護器具如擋塊、楔型濾器、補償器等都是需要放射技師去搬運實物，因此在治療的每一環節都是在專業人員監督下進行，但隨著放射治療科技的進步，無論在治療計畫的計算，電腦斷層模擬定位與治療計畫之結合以及多葉式準直儀運作都是由電腦調控，因此電腦設備其實掌握了放射治療的核心技術。而新式治療儀器因系統複雜，導致錯誤很難察覺，技術人員因太信賴電腦而無法察覺可預見錯誤，且當初期錯誤發生時，無法即時察覺將會衍生至整個治療過程。治療儀器愈來愈新穎，導致操作者愈不容易瞭解程式運作。這些都是放射治療新科技時代來臨，所必須注意的。 Dr. Howard 認為唯有作好品質管與提供完善的教育訓練，才可確實享受新科技所帶來的成果，避免不慎而招致危害。

（五）核子醫學議題介紹

由於職過去曾經任職於醫學中心核子醫學部門，因此對於核醫專題感受特別深刻。有關本次大會在核醫輻射安全議題方面，雖然只有兩篇，但這二篇議題論及的是現今核醫界最火紅的設備---PET、PET/CT 與 Cyclotron 之設備介紹與輻射安全防護。特別是 Memorial Sloan-Kettering Cancer Center 之 Dr. PAT 將 Cyclotron、PET 及最先進的 PET/CT 有關輻射安全之建議，以其實務經驗及精彩的投影片作一詳實報告，使在場的學者特別注意，也值得目前擁有十部迴旋加速器的國內核醫界參考借鏡。

據調查在 2002 年世界各國迴旋加速器約有 230 部，迴旋加速器為一放射性物質生產設施，且大多數迴旋加速器都設置於醫院，因此就醫民眾對於此類設施的輻射安全特別關心。而加速器的輻射安全需要注意的焦點為何？Dr. PAT 僅以一張幻燈片便把加速器的輻射安全所需注意的地方，清楚的說明(詳如圖 7)。

他指出由於現代的加速器自屏蔽設計越來越完善，因此對於生產過程中所產生的加馬輻射對周圍環境的輻射曝露，應可放心無虞，但對於生產過程中核反應所產生的中子，會對管件或空氣造成活化物質與氣體，若不慎外釋於環境中，亦可能造成外圍環境的污染與一般民眾體內曝露，這是在加速器輻防管制上特別需要注意的重點。此一觀點與國內過去在審查迴旋加速器設置時均要求設施經營者對於空浮活化氣體之處理情形加強要求，此與美國專家學者的看法不謀而合。

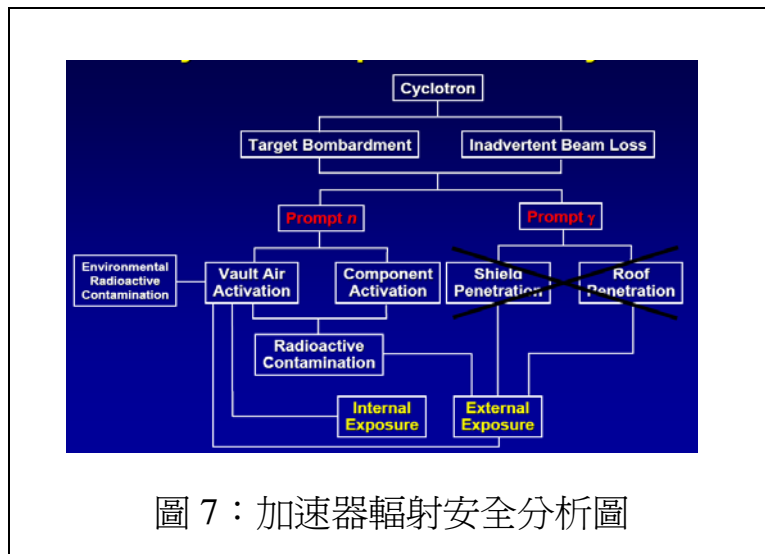


圖 7：加速器輻射安全分析圖

而 Dr.PAT 也對於核醫界的今日之星 PET（正子斷層掃描儀）與 PET/CT 的輻射安全及病患接受劑量作一探討。從過去 SPECT（單光子斷層掃描儀）進步至 PET（正子斷層掃描儀），核子醫學功能性造影診斷確實造福病患甚多，在器官生化代謝功能異常時，藉由核醫診斷技術的協助，使臨床醫師能早期發現病兆，病患能早期獲得治療。核醫診斷雖然具此特點，但由於其影像為生化代謝影像，因此在生理解剖位置成像解析度未似 X 光電腦斷層掃描或磁振造影清晰可見，這也是核醫學力求突破的目標。隨著科技的日益進步，現今已有專家將核醫造影儀與 X 光電腦斷層掃描儀相結合，發明了 SPECT/CT 或 PET/CT，這項偉大的發明使核醫功能造影的特點與 X 光電腦斷層掃描的解剖影像清晰的強項相結合，對於病患診斷更準確也更快速造福病患甚俱，這也是 2000 年 12 月 4 日出版的“TIME”雜誌中，將 PET/CT 選為當年度三大發明之一。

但在使用此項醫療設備時，同時對於病患所接受的劑量也需加強注意，在專題報告中對 PET 與 PET/CT 病患劑量作一分析，在單純 PET 造影，注射正子放射藥物 10 毫居里（mCi）[18F]去氧葡萄糖（FDG）對病患所造成的體內全身有效劑量約 1.1 侖目（rem）相當 11 毫西弗(mSv)，但 PET/CT 除 PET 造影對病患的劑量外，另加上 CT 所造成病患的體外劑量，如選用 CT 模式為診斷型 CT，則對病患劑量貢獻達 3.3 侖目（rem）約 33 毫西弗(mSv)，這

個數據使會場的專家學者熱烈討論，可看出學界對 PET/CT 病患劑量的關切與重視程度，本議題的座長也呼籲在 PET/CT 的使用上，應真正用於有需要的病患上，而非用於一般健康檢查篩檢上。

	Dose (rem)				
	¹⁸ F ₂ FDG 10 mCi	PET w/ ⁶⁸ Ge Transmission Scan	PET-CT w/ "Low-Dose" CT	PET-CT w/ "High-Quality" CT	PET-CT w/ "Diagnostic" CT
Bladder *	4.4	4.4	4.4	4.9	6.8
Bone Marrow	0.48	0.49	0.53	0.90	2.3
Breasts	0.34	0.35	0.38	0.69	1.8
Liver	0.58	0.60	0.66	1.2	3.2
Lungs	0.64	0.66	0.70	1.1	2.5
Ovaries	0.48	0.61	0.64	1.0	2.4
Effective Dose	1.1	1.1	1.2	1.7	3.3
Transmission Scan Contribution		3%	9%	41%	71%
		kVp	120	120	140
		mAs	10	60	190
		Pitch	1.5	1.5	1.25

* 3-hr voiding interval

圖 8：PET/CT 病患接受劑量分析圖

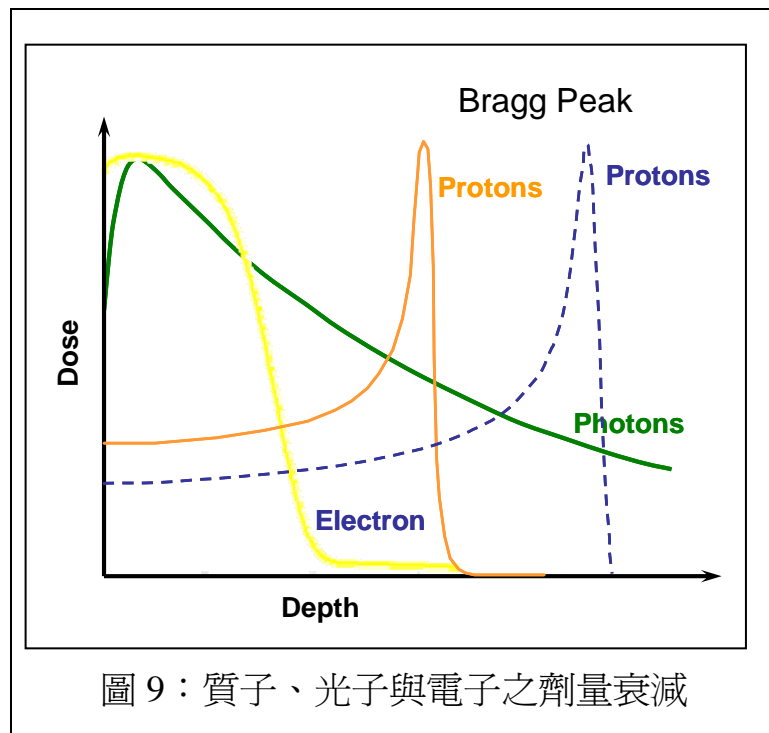
二、佛羅里達大學質子治療中心參訪

(一) 質子治療原理與技術簡介

質子有不同於光子之物理性質與劑量特性。光子於組織內先經過一段之增建區 (build-up region) 後，隨著組織深度之增加，光子之能量成指數衰減，但質子之能量給予確隨著其穿透距離之增加而增加，當質子前進之距離接進其射程末端時，會產生一個最大之能量給予(即“Bragg peak”，如圖 9 所示)。因為質子治療能以 spread-out Bragg peak (SOBP)方式之特性，不同於傳統光子或電子之放射治療方式，對於放射治療之每一個質子治療射束而言，不僅能在治療區域內給予腫瘤最大之能量，同時治療區域外之正常組織則接受到較低之劑量。

質子射束相較於其他方式能有較小的正常組織照射區域，當降低正常組織治療區域及劑量後，病患的耐受性(tolerance)因而提高。質子治療對於一些位於重要器官周圍之腫瘤特別重要，尤其對於那些只要有一小部分區域超過容許劑量就有嚴重副作用之器官，例如：大部分腫瘤所靠近的脊髓。此外接

近危急器官的不規則型狀病兆亦特別適用於質子治療。質子治療已被應用於多種病症，包括脊索瘤、軟骨肉瘤、腦膜瘤、攝護腺及肺腫瘤等。長期以來使用質子治療葡萄膜黑色素瘤、頭蓋骨底部及脊椎周圍之肉瘤等疾病於臨床上有不錯的效果。



（二）質子治療設施簡介

質子治療設施主要包含：質子加速器、射束傳輸系統、旋轉機架、病患定位系統與數位影像模擬系統，謹將上述系統作一簡介：

1. 質子加速器：質子加速器可分為兩大類別，一為迴旋加速器，另一為同步輻射加速器。因迴旋加速器佔地小且操作簡易，因此商業運轉上多使用迴旋加速器（如圖 10）作為質子加速使用。

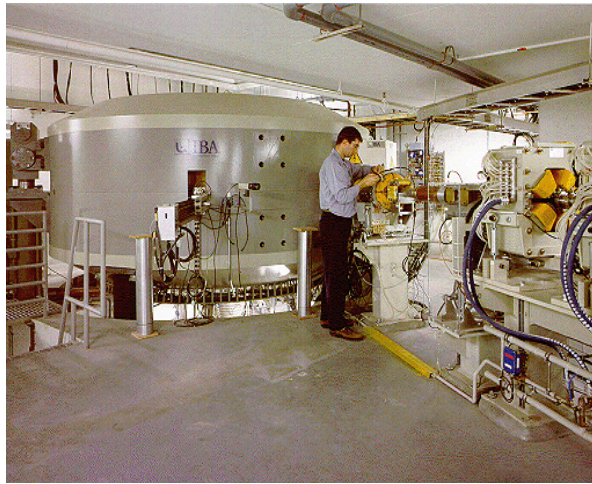


圖 10：迴旋加速器設備外貌

2. 射束傳輸系統：為確保加速器加速之能量能準確傳送至治療室，傳輸系統需安放非常精準的磁鐵與真空度極高的傳輸管道，以防止射束偏離造成治療能量不足及造成管道內其他設備被活化的可能。此外商業運轉的迴旋加速器的能量雖可提高到 230MeV（約可達人體組織 32 公分之深度），劑量率最少也在 2Gy/min 以上，但由於迴旋加速器引出之粒子為固定能量，為提供低能量射束治療如眼球等相關淺表器官癌症，因此在傳輸系統前需要一個能量選擇設備以調整射束能量，該設備包含一個可快速進出射束之可變厚度之降能器（degrader），通常為含碳之楔型濾器，經過此一設備會使能量擴展及射束發射之增加，由於二次輻射之故，因此迴旋加速器在屏蔽設計需要更多考量。而同步輻射加速器則可以引出任何能量之粒子，無前述之問題，因此在輻防屏蔽設計上須考量加速器的種類。

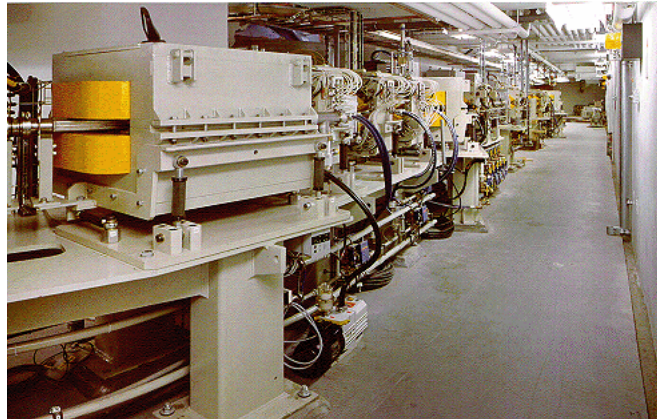


圖 11：迴旋加速器之射束傳輸系統

3. 旋轉機架(Gantry)：傳統之放射治療經常使用不同角度之不同射束照野之治療方式，而質子治療同樣爲了能從任何計畫的角度去治療病患，治療機頭必須能夠旋轉，則需要旋轉機架的設計，旋轉機架通常是一個很大的結構體，其原因爲治療用之質子能量很高，要能偏移其方向須要較大之半徑，其重量約 100 噸重。

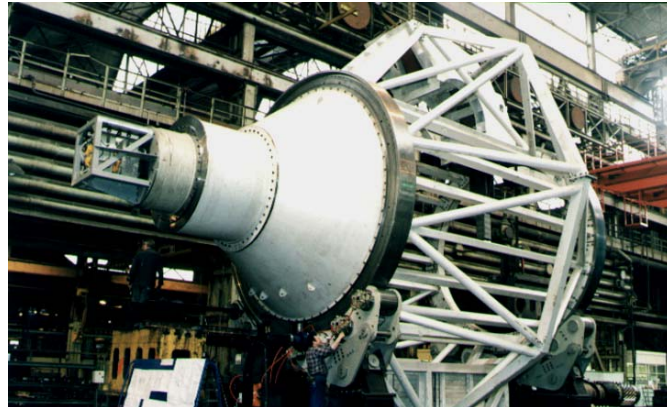


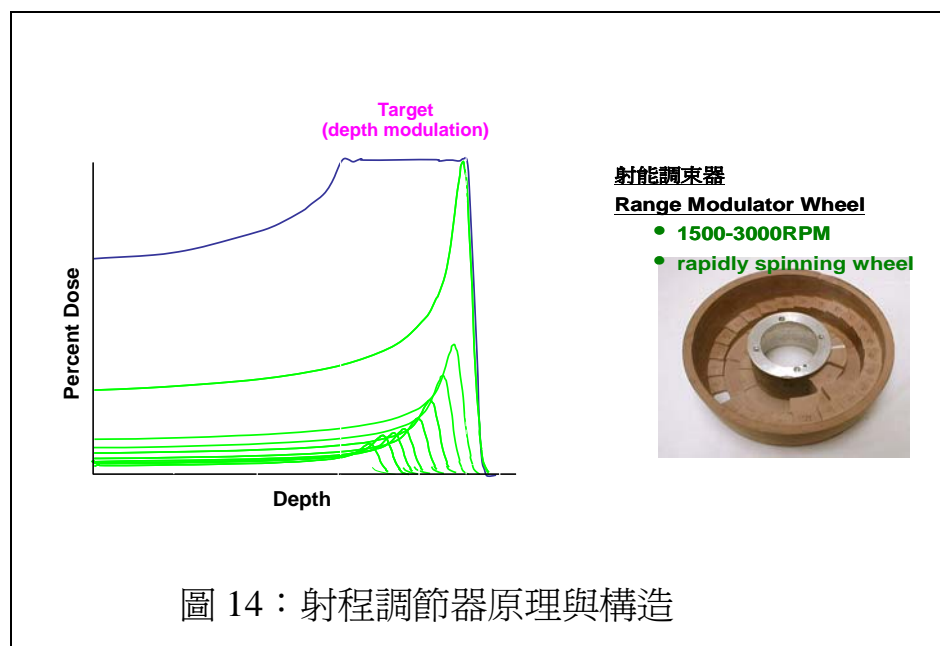
圖 12：旋轉機架外觀

4. 病患定位系統 (Patient Positioning System)：病患定位系統是質子治療最關鍵部份，其作用是將加速器引入的質子束精準轉成在縱向與橫向的質子劑量以覆蓋腫瘤體積，並儘可能減少對腫瘤以外的正常組織或敏感器官的傷害。

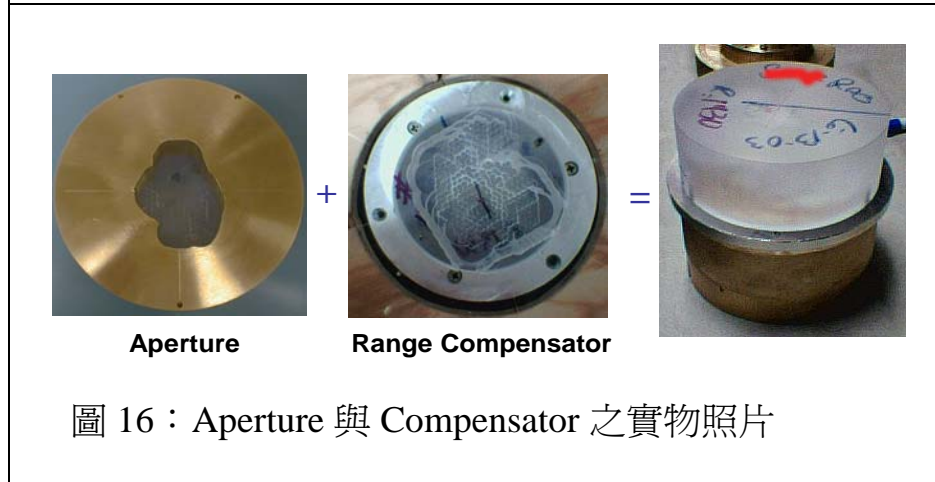
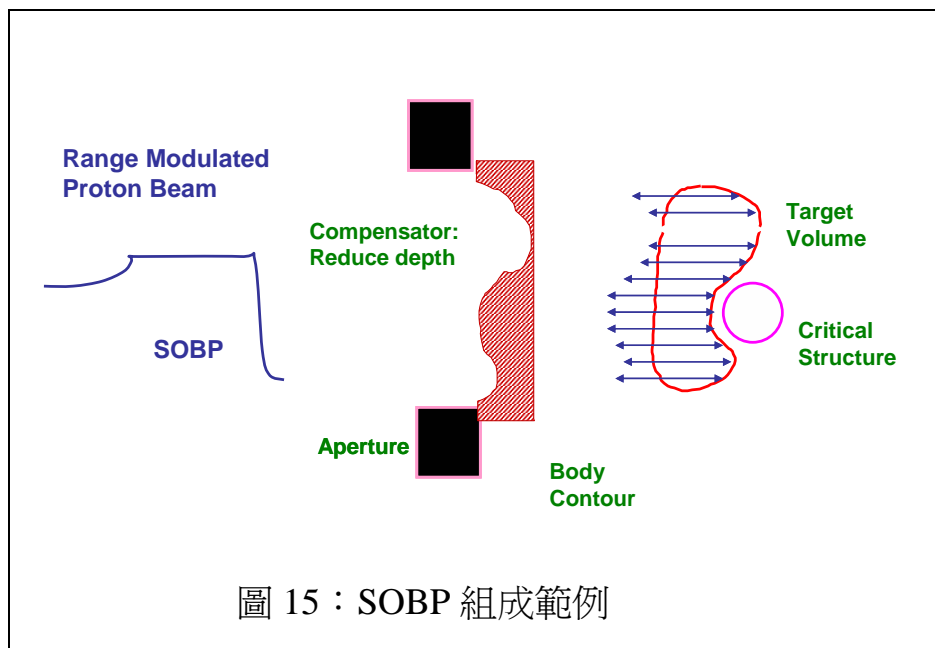
在病患定位系統內主要由一些功能組件組合而成，其中與病患劑量控制較為相關的為射程調節器、噴嘴（nozzle）與準直器（Aperture）及補償器（Compensator）。



- 射程調節器：質子射束原始的 Bragg peak 不夠寬，不足以涵蓋大多數應被治療之體積，因此入射質子透過不同厚度之吸收體(即射程調節器，詳如圖 14)而形成一個夠寬的 spread-out Bragg peak (SOBP)，每一個吸收體產生一個原始的 Bragg peak，進而組成臨床治療用之 SOBP，圖 15 為一 SOBP 組成範例。



- 噴嘴 (nozzle)：有二種作用，一種是伸縮功能，在不同患者治療情況下，可使治療等中心點調整與靶點一致。二是可以旋轉，將補償器與準直器調整至適當角度。
- 準直器 (Aperture)：裝設於治療機頭內，可將質子射束治療照野做成與設計之照野相符合，常使用銅來製作 Aperture，選擇 Aperture 需考慮成本、重量及二次輻射等因素。Aperture 的邊緣(符合每一照野 50% 等劑量)經常被定義為 target 投射至等中心點加上 90-50% 的 penumbra，再加上任何 set-up 之不確定量。圖 16 為 Aperture 之實物照片。
- 補償器 (compensator)：減少腫瘤後部正常組織的輻射傷害。



5. 數位影像模擬系統【Digital Imaging Positioning System (DIPS)】：即電腦斷層或磁振照影之影像，可透過治療計畫系統決定病患補償器與準直器之物理尺寸與治療參數。

(三) 佛羅里達大學質子治療中心介紹與質子治療輻射安全議題

佛羅里達大學質子治療中心位於佛羅里達州傑克森維爾市 (jacksonville)。該中心於西元 2004 年破土建造，2006 年 8 月竣工完成，開始第一位病患治療，目前該中心所設有的醫療設備包含：

- IBA 公司迴旋加速器一部 (235MeV)
- 3 個治療室與一個低能量水平射束治療室 (適用於眼睛)
- 直線加速器 2 部 (用於一般放射治療)
- CT、PET/CT、MRI 各 1 部，用於診斷與治療模擬。

目前中心職工數約 110 人，其中醫學物理師 16 位。

因國內未來有可能引進質子治療設施，因此在本次參訪中，主要針對相關輻防管制與設置審查標準與相關管制法規，請教該中心物理師，以下謹對輻防管制問題整理如下：

- (1) 州政府是否針對質子治療中心訂定特別審查規範？而審查流程與審查重點為何？

Ans：佛羅里達州為 NRC 所認定的「Agreement State」，因此有關輻射防護管制業務，皆由州政府之健康環境部轄下輻射管制局負責管理。而針對質子治療中心的輻防管理並未訂定特殊管理規範，而與其他輻射作業採相同標準管制，均需遵守【Florida Administrative Coded(FAC) 64E-5 Control of Radiation Hazard Regulations】，上述規定類似我國輻防法規之游離輻射防護安全標準，對於人員、輻射作業、劑量標準、廢棄物處理...等，均有完善規定。而管制當局在審查質子治

療中心分爲四階段：

- 規劃申請階段---主要審查設施輻射屏蔽爲主。
- 設施興建階段---設施經營者自行抽驗屏蔽品管是否符合送審規定，並進行人員培訓與準備儀器接收等事宜。
- 竣工測試階段---設施經營者檢送測試報告與陳報輻射防護計畫給輻射管制局。
- 正式運轉階段---設施周圍環境監測一年，爾後依法定期實施輻射監測與教育訓練。

(2) 質子治療中心人員證照或操作資格如何取得？

Ans：醫事人員須取得相關醫事人員執照，而加速器運轉人員則由各中心自行辦理教育訓練，訓練課程內容與時數配當，則須送主管機關核備，俟人員接受訓練完成後，則可允許操作加速器。

(3) 工作人員所受劑量與環境劑量偵測？

Ans：該中心輻射工作人員所接受最大輻射劑量 $<5\text{mSv}$ (Ann limit10%)。劑量主要來源爲活化之 Aperture。一般在治療室內均設置中子輻射偵檢器，其主要目的係偵測質子核反應產生之中子，而環境輻射測量分兩部份，中子劑量以電腦即時線上監測，而加馬輻射測量則使用手提式輻射偵檢器週期性度量。

(4) 放射性廢棄物處理與放射性氣體輻射安全問題及對附近環境影響衝擊？

Ans：質子治療中心主要之放射性廢棄物係來自活化的 Aperture，因此 Aperature 的處理不可不慎。一般活化的 Aperature 均會靜置貯存於廢料間，俟放射強度衰減至自然背景範圍內，再

轉賣或回收應用。由於質子治療中，質子於物質中緩速，不僅藉由庫侖作用，亦會產生核子作用，而核子作用導致二次輻射。質子與中子為核子作用最重要的二次粒子，因為它們能將能量帶至離作用點較遠之位置。因此，對任何質子治療設施而言，中子輻射防護是非常重要的，而中子活化空氣產生活化放射性氣體，是否會造成環境危害，依據佛羅里達大學過去一年的實測經驗，在活化氣體 ^{41}Ar 的濃度平均為 393 Bq/m^3 與目前我國游離輻射防護安全標準比較（ ^{41}Ar 濃度 500 Bq/m^3 ）為低，是以質子治療中心活化氣體的輻安問題應可放心。

表 3：質子治療中心活化氣體實測紀錄

Activity (Bq/m ³)	Cyclotron Room	Treatment Room	Total
⁴¹ Ar	273	20	393
³ H	0.02	0.003	0.023
¹³ N	3020	374	3394
¹⁵ O	8625	1015	9640

(5) 質子中心從成立迄今發生之異常事故及困難問題?

Ans：經詢問該中心物理師，自中心設置迄今是否有異常事故或窒礙難行事宜，值得我國未來設置之借鏡參考。據物理師告知，從設置迄今尚無嚴重輻防事故發生，惟在第二治療室裝設時，部份工程人員其劑量配章有些許偏高達調查基準，經查有可能在第一治療室治療病人時，工作人員趕工在第二治療室配置管線時，有部份散射輻射於管線間散射，以致工程人員受散射輻射曝露，此案例可作為未來設置輻防管制作為之參考。

三、佛羅里達大學核子醫學部門參訪

(一) 核子醫學醫療品保介紹

該院核子醫學部門實施核醫輻射防護品保作業，主要是遵循 NRC 10 CFR Part 35 規定施行，其主要品保作業有下列四項：劑量校正器（dose calibrator）品管、Tc-99m 產生器（generator）流洗液品管測試、輻射偵檢器定期校正與密封射源查核、洩漏測試，而有關於造影機品質保證部份另涉

及影像品管在此不予論述，以下謹就輻防品管部份進行說明：

- 劑量校正器 (dose calibrator) 品管：依據 NRC 規定，劑量校正器必須要實施以下經常性品管測試 (1) 恆定性【constancy】(2) 準確度【Accuracy】(3) 直線性【Linearity】(4) 幾何性【Geometry】。依規定上述品管要求應在 10% 以內。
- Tc-99m 滋生器品管：NRC 要求每批給予劑量需小於 0.15uCi Mo-99/mCi Tc-99m，以防止少量 Mo-99 流洗出來造成污染。
- 輻射偵檢器，每年須定期送校。
- 密封射源盤點與洩漏測試，每季與每半年需實施。

(二) 放射性廢棄物處理

有關該院核子醫學部門放射性廢棄物處理，主要分三部份處理：

- 分類---分爲三類，針頭金屬廢棄物一類、針筒與藥瓶一類、手套與其他放射性廢棄物一類。而各類另依不同半衰期之廢棄物細分，如 Tc-99m 與 I-123 短半衰期一類、Ga-67 與 Tl-201 及 In-111 一類、I-131 長半衰期單獨一類。
- 貯存---由於該院核醫部門每日病患量不多，因此並無專屬廢棄物貯存場所，而是於放射製藥室角落設一區域作為針筒、藥瓶貯存場所。雖地方小但屏蔽設施均遵守法規規定設置。
- 處理與紀錄---俟廢棄物貯存一段時間後 (一般約十個半衰期)，單位輻射防護人員會以手提式偵檢器量測，如低於自然背景範圍則依感染性廢棄物分類進行處理。

(三) 碘 131 治療相關輻射安全議題

有關接受放射性碘 131 治療病患，美國在 1997 年以前病患外釋的標準是以嚴格的活度或劑量為標準，當接受碘 131 活度小於 30 毫居里 (mCi)，或

1 公尺處之劑量率小於 5 毫侖目/小時 (mrem/h) 即符合外釋標準。而 1997 年以後 10CFR35.75 【Release of individuals containing unsealed byproduct or implants containing byproduct material (1997.5)】頒布後，外釋的標準另加入如對任一民眾造成的預期劑量小於 500 毫侖目 (mrem) 則病患可無須住院，即可外釋。外釋標準已改為風險基礎作考量，對醫院則具有彈性的處理方法。

美國現行法規對於核醫病患外釋之要求如下：

- (一)核醫病患外釋後，對任一民眾造成的最小曝露大於 100 mrem，則醫療院所必須撰寫及提供指導文件給外釋病患。
- (二)如果所造成之民眾劑量符合”預設標準”或經設施經營者評估後小於 500 mrem，則核醫病患即可外釋。
- (三)如設施經營者評估之假設條件與”預設標準”不同，則必須撰寫外釋紀錄文件。
- (四)外釋紀錄文件需由設施經營者保存 3 年。
- (五)給予活度小於 33 mCi，或 1 公尺處之劑量率小於 7 mrem/h，則病患於核子醫學部門提供指導文件(一般性的)後，即可以外釋。
- (六)其假設基礎為病患係一未受屏蔽之點射源，且僅保守的考慮物理半化期。

核醫病患外釋指導文件應載明之內容必須包括大眾運輸、小孩、懷孕婦女、哺乳婦女、配偶、訪客、同事、時間距離之考量及限制接觸之期限等事宜，例如：外釋初期避免搭飛機或公車、限制與某些人之接觸、與小孩及懷孕婦女之距離保持在 180 公分以上、與配偶分床睡覺、使用不同之盥洗室、經常刷牙及淋浴等。至於限制接觸及限制活動之期限有多久，則與計算之預期劑量有關，劑量越高，期限越久。

肆、心得與建議

- (一) 美國輻射防護與度量委員會是全美最重要的輻射防護學術團體之一，參加該年會可廣泛收集與瞭解先進國家之輻防管制新趨勢與輻防管理政策之動態，可作為我國輻射防護管制體系規劃之參考，俾使國內輻防管制政策推行更臻完善。
- (二) 由於世界各國醫療水平普遍提昇且許多高科技輻射醫療設備推陳出新，是以民眾接受輻射醫療曝露的次數愈來愈多，輻射曝露之劑量亦隨之逐漸昇高，雖然劑量偏高並不代表輻射的誤用或濫用，但至少在尋求整體病患淨利益觀點而言，如何使民眾獲得快速準確的輻射醫療服務且亦能兼顧醫療輻射劑量約束，已成為輻射防護界與醫界需共同努力的重要課題。在本次大會專題報告中，可看出無論在診斷、治療與核醫中，均多次提及醫療品保與教育訓練的重要性，因此未來國內在輻防人員與輻射醫療品保人員的相關培訓計畫，應加強推動。唯有人才培育完善，才可落實醫療品保之執行。
- (三) 電腦斷層掃描之劑量約束，已成為醫療輻射安全之重點項目。美國放射學會（ACR）雖對電腦斷層掃描的認證訂有相關品保程序，但因不屬法律位階，因此美國各州或各設施仍參考 ACR 規定自訂內部品保程序執行。惟目前各廠家生產之電腦斷層掃描儀推陳出新型式眾多，因此未來國內在實施電腦斷層醫療曝露品保制度時，建議可先由醫界、學界參考 ACR 相關規定先制定自我品管程序與管理機制，俟美國實施電腦斷層品保制度全面推動經驗成熟後，官方再予以循序跟進，屆時水到渠成執行自可達事半功倍之效。
- (四) 由新澤西州醫療曝露品保成功經驗，可看出在州政府與醫療院所共同努力下，劑量約束與影像品管是可以兼得的，我國雖於 94 年起才實施醫療曝露

- (五) 放射治療設備推陳出新，且愈來愈仰賴電腦系統調控，是以醫療曝露品保的推行更為重要，目前國內已引進加馬刀 (gamma knife)、電腦刀 (cyber knife)、螺旋刀 (tomography)，也將於明年開始實施此三種放射治療設備之醫療曝露品質保證制度，制度推動初期仍應加強收集國外推動經驗及配合本土操作實務，檢討是否仍有窒礙難行之品保項目，於適當時機邀請學者、專家與醫院進行討論共同研議，以修訂更實務更能保障病患輻射曝露安全之品保規定，以臻完善。
- (六) 國內迴旋加速器已有 10 部，正子斷層掃描儀也有 31 台，在輻射安全管制上已累積多年管制經驗，但加速器運轉人員資格之審核方式，目前採專家合議測驗方式施行 (一日測驗)，測驗內容多偏重輻射安全，對於操作者運轉實務上之鑑別，仍有精進空間。因此在本次美國質子治療中心之參訪經驗，對於美國在加速器運轉人員的培訓及資格審核之方式特別注意，美國對於非醫療行為的操作人員採實務訓練嚴謹但審核簡化的方式施行，使運轉人員之操作資格易於取得且亦能兼顧人員操作素質維持水平，對於協助醫學發展與輻射安全上均能兼顧，值與國內未來在加速器管制精進上參考依循。
- (七) 隨著國內 PET/CT 的購置引進，有關病患所接受劑量的探討也為保健物理學界所重視，在本次會議中許多專家學者均提出呼籲對於使用此類輻射曝露偏高的診斷設備，應依病患實際需求審慎使用。惟有關病患是否接受此項檢查之與否，為醫師處方權，是項醫療器材使用時機是否合宜，因涉及相關醫療專業判斷與衛生署業務職掌範圍，本會無權也不宜擅專。但有鑑於政府一體、政策一致的前題下，本會可先行收集相關曝露資訊與國外管

制經驗，俟環境成熟未來可由衛生主管機關推動，本會提供輻射曝露專業協助，對於是項設備使用規範提出相關建議，如此對於民眾就醫之輻射安全更有保障。

(八) 質子治療為國際放射治療界目前正大力推廣的一項放射治療技術，世界上如美國、日本、德國等國家均已設有質子治療設施。質子治療設施包括設備及建築設施可謂大型投資，醫院在引進之前宜審慎考量，應派專業人士前往國外相關設施參訪，瞭解最新發展現況，不能只仰賴國外公司的整套設施輸入，即以爲可達到購置的目的，因爲在建置過程中有很多細節仍需建置單位內的許多專業人員實際參與，才能買到最符合自己需求的規格與技術。日後國內如有醫院引進質子治療技術，本會在審核相關設施輻射安全時，應邀請國內放射治療醫師，輻射安全專家(屏蔽設計、中子劑量、保健物理)及醫學物理專家組成委員會共同審核。核能研究所保健物理組對於中子劑量的量測累積多年經驗，可提供中子劑量量測方面的服務，俾對國內未來質子治療設施之中子量測與防護核心技術亦可提供協助。

(九) 有關核醫醫療放射性廢棄物處理方面，國內目前作法與美國同步且更爲審慎，惟美國地廣人稀，國內發生之廢棄物處理相關問題（如住院病患尿布輻射問題）美國並未出現，但將來對核醫廢棄物處理之思維仍可依循美國廢棄物管制精神，對於此類低活度、短半衰期之醫療廢棄物，可授權由設施經營者之輻防人員偵測無虞後即可外釋。如目前本會於 95 年 12 月 8 日發布解釋令對於同位素醫療病患之排泄物可排入污水下水道，不受游離輻射防護安全標準第 13 條限制，此項管制思維的創新突破，觀念上已與國際接軌。

(十) 本次出國開會學習，對個人而言是一個難忘且受益良多的學習之旅，在學習的過程中對於美國許多專家學者在專業與學術的堅持努力與發展深感欽佩，特別是許多華裔專家學者，如 NCRP 副總裁陳士友教授與佛羅里達大學劉志叡教授，在美均有傑出的表現，此次旅程深感「行萬里路勝讀萬卷

書」這句俗諺的涵義，也深深感觸在專業上仍有很大學習空間。此外在返國後以電子郵件方式向與會學者專家們請益會議簡報資料，均獲熱心回應與指導，對於這些學者的雍容大度深感佩服。

伍、參考資料及感謝

本篇報告所述各主題內容來源為第 43 屆美國輻射防護與度量委員會年度會議會議中專題報告資料，感謝相關作者提供之摘要、講稿及資料，也感謝佛羅里達大學劉志叡教授的熱心協助與指導，在此特別致謝。最後謹藉本報告一隅，向曾經指導幫助我之長官、同仁們特申謝意，因為你們的大力支持與幫助，此次出國之旅方能順利圓滿，感謝你們。

陸、附錄

第 47 屆美國醫學物理師學會會議議程及議題