

# 科技部補助

## 大專學生研究計畫研究成果報告

\* \*\*\*\*\* \*\*\*\*\* \*  
\* 計 畫 \*  
\* : 醫學中心放射腫瘤科亞瑟刀之環境輻射測量 \*  
\* 名 稱 \*  
\* \*\*\*\*\* \*\*\*\*\* \*

執行計畫學生： 林詩靜  
學生計畫編號： MOST 103-2815-C-040-064-B  
研究期間： 103年07月01日至104年02月28日止，計8個月  
指導教授： 陳健懿

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學醫學影像暨放射科學系

中華民國 104年01月30日

# 醫學中心放射腫瘤科亞瑟刀之環境輻射測量

## Evaluation of Environmental Radiation at AXESSE

### Linac of Medical University

#### 摘要

##### 目的

由於中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科中的亞瑟刀(Elekta 2538 Axesse linac)在治療時造成之環境劑量分布的資料缺乏，因此本計畫針對台中市中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科的亞瑟刀治療室進行環境輻射的測量，評估並探討中山醫放腫科亞瑟刀治療室執行治療所造成的輻射量。本計畫使用熱發光劑量計(Thermoluminescent dosimeter, TLD)佈點於中山醫大放腫科亞瑟刀治療室，進行為期一個月的 TLD-100 普查/佈點，以做為環境輻射偵測。藉由此實驗結果作為中山醫放腫科內工作人員及患者的輻射劑量評估，希望能提出問題解釋與討論，並對相關的輻射安全問題與改進，進而為工作人員、病患及家屬做安全性的把關。

##### 材料與方法

TLD 以國立清華大學的 Cs-137 輻射照射場進行校正。測量 TLD-100 的準確度、敏感度及空白試驗，誤差皆在 5% 以內。也在直線加速器的治療室測量了 6 百萬伏特 X 光的半值層厚度。

##### 結果與討論

以彩色的三維座標圖表現出空間中環境克馬(KERMA)的分布。在直線加速器治療室中吸收克馬率高達  $29.7 \pm 0.266$  mSv/mo，而劑量率隨著與等中心點的距離增加而減少。

##### 結論

經過一個月的調查，經計算後工作人員所在的控制室之年劑量低於 10 mSv 遠低於 ICRP60 號報告所建議的低限值。結果顯示 10 公分厚的聚乙烯/鉛滑門可以充分保護工作人員，是很適當的輻射屏蔽裝置。

**關鍵詞：**環境輻射，Axess 直線加速器，熱發光劑量計(TLD-100)，半值層

## **ABSTRACT**

### **Purpose**

This work is to evaluate environmental radiation in the facility of Elekta 2538 Axess linac using Thermoluminescent dosimeter-100(TLD-100) at Medical University Hospital during a month of survey.

### **Materials and Methods**

TLDs were calibration using Cs-137 irradiation facility of National Tsing Hua University. The accuracy, sensitivity and blank test of TLD-100 were also measured within 5%.Half-value-layer of 6 MV x-ray was also evaluated at this treatment room.

### **Results**

Environmental kerma was visualized using colored three-dimensional graphical representations. Observed kerma rates of up to  $29.7 \pm 0.266$  mSv/mo at treatment room. The dose rate was decreased with distance increased from isocenter.

### **Conclusion**

The annual dose was less than 10 mSv measured at the staff control room during one-month survey, far below the recommended ICRP 60 limit. The results reveal that 10-cm thick polyethylene/Pb slide door adequately protects personnel and suitable for radiation shielding

**Key word** : Environmental radiation, Axess linac, TLD, Half-value layer

## 前言

惡性腫瘤從過去至今皆為國人十大死因之首位，可以說是國人的健康殺手，在國內也引進各種醫療精密的加速器進行病灶的檢查與治療。放射腫瘤科是利用高能量的輻射線照射在腫瘤部位，殺死腫瘤細胞以達到最高的腫瘤控制率(TCP)及最低的正常組織病發率(NTCP)之目的醫學專科。中山醫學大學附設醫院的 Elekta 2538 Axesse linac 設置於醫院的地下一樓，其相關工作人員包含放射師、醫師、醫學物理師及護士。

Elekta 2538 Axesse linac 可以執行弧形調控放射治療(Volumetric modulated arc therapy, VMAT)技術，大幅縮短治療時間，一般治療時間依複雜度及儀器廠牌不同，約需 10~15 分左右，但 VMAT 可降低約一半之治療時間。此項技術以弧形動態旋轉方式連續給予光子射束，射束的高變化性及多角度選擇性，讓放射治療選擇性變的更大且更具彈性，達到較佳的設計治療品質。在射束動態給予的過程中，即時在不同角度進行射束的強度調節，依臨床需求將各角度射束之強度調控達到最佳化，讓高劑量射束盡量集中於腫瘤區域，而降低正常組織傷害，提高治療效果及降低治療相關的副作用。因此透過 VMAT 治療癌症患者數量有增加的趨勢，如中山附醫約每月可照射多達 573 次。

一般具備 VMAT 技術的儀器都會搭配影像導引(image guidance)的功能，在每次治療前進行對位校正，可減少治療中可能發生之位移誤差，並提高治療精準度，因此透過 VMAT 治療癌症的患者數量有增加的趨勢。使用 Elekta 2538 Axesse linac 進行治療時，通常使用能量為 6~10MV 的光子射束，產生大量的輻射暴露，這些可能造成輻射安全問題，實不可不詳查，因此本實驗計畫提出在 VMAT 治療室進行環境輻射量測，以確保相關工作人員的安全。

由 TLD-100 在此研究中所測得的環境輻射劑量值，經過統計偏差 95%信賴區間(confidence level)演算後得到最小可測值(minimum detectable limit,MDL)，每個偵測點的輻射值與信賴區間的關聯性，以 TLD-100 方法量測，並以 MDL 的觀念解釋。

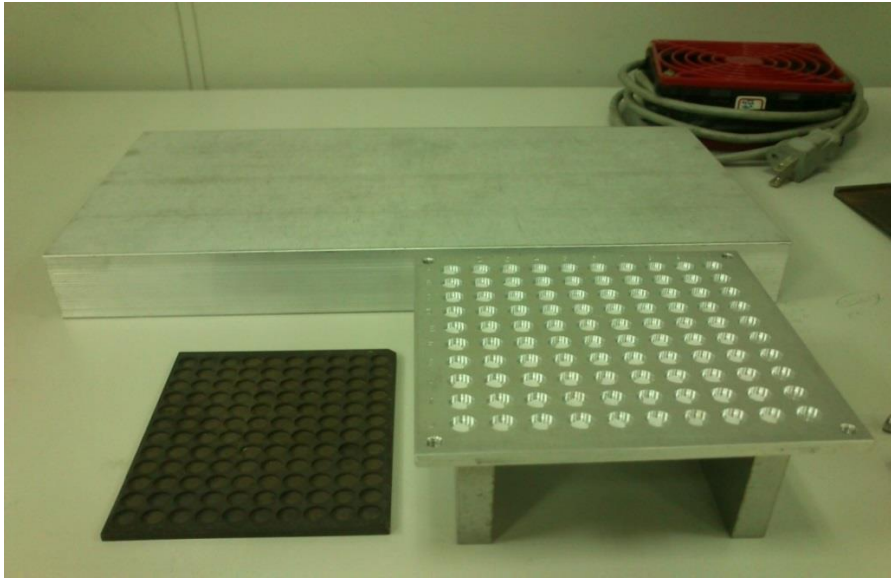
本計畫以工作人員的輻射安全當為研究目的。在放射腫瘤科內進行輻射評估，觀察亞瑟刀治療室內的輻射劑量變化，有助於定期維修人員的輻射防護，並可以擬定最適化的安全計畫，期可更確實的保護工作人員的輻射安全。

## 材料與方法

### (一)熱發光劑量計 TLD-100

本實驗利用熱發光劑量計(TLD-100)(如圖一)進行輻射度量，因為 TLD 在環境測量上具有其方便性，故最常被使用。TLD-100、TLD-100H、TLD-600 及 TLD-700 等，為加入不同活化雜質的氟化鋰系列 TLD，具有高靈敏度的特性，

適合用來作為低劑量之度量工具。本計畫利用 TLD-100(LiF:Mg,Ti)進行實驗，在中山醫放腫科亞瑟刀治療室內進行佈點，計量輻射劑量在亞瑟刀治療室中的劑量分布[1]。



圖一 熱發光劑量計(Thermoluminescent dosemeter, TLD)

#### (二) Furance 47900 型加熱爐

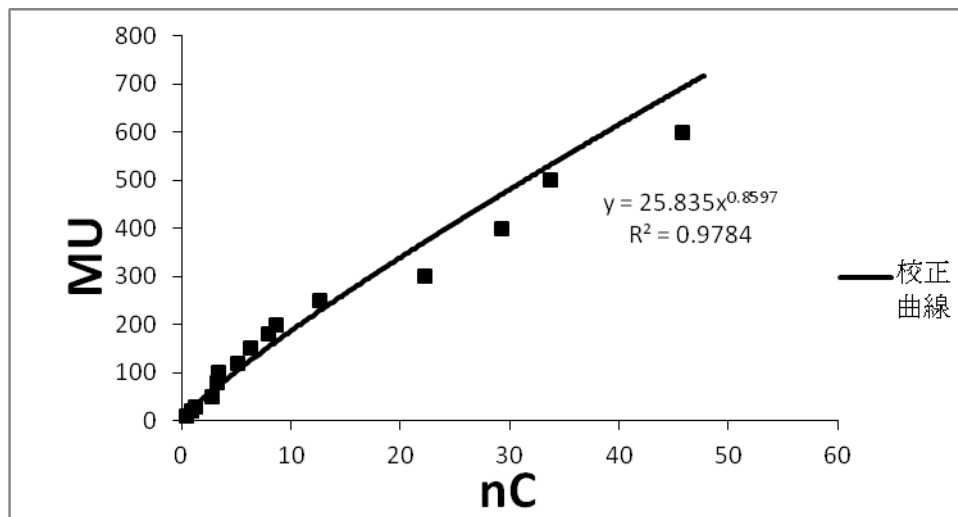
TLD 在使用前須先經過迴火的手續，將殘餘在 TLD 電子陷阱中的電子激發出來，避免殘餘的訊號影響輻射度量。本實驗計畫以 Furance 47900 型加熱爐(如圖二)以 400 度加熱一小時後，在室溫中冷卻 10 分鐘，再以低溫加熱爐以攝氏 100 度加熱兩小時，藉以消除殘留的背景值[1,2]。



圖二 Furnace 47900 型加熱爐

為了精準得知輻射劑量值，147 顆 0.9mm×3.2mm×3.2mm 進行校正，校正後可使用於劑量量測，在量測輻射劑量時，輻射激發產生電子，電子進而被存在於 TLD 中的雜質產生的電子陷阱捕獲，而保存在 TLD 中。計讀時，加熱 TLD 產生熱發光電子，經光電倍增管將之轉換成光電子，並將訊號放大，最後得到一電量(nC)讀值，為得知該計讀所得的電量值與輻射劑量間的關係，我們需要一校正轉換方程式。

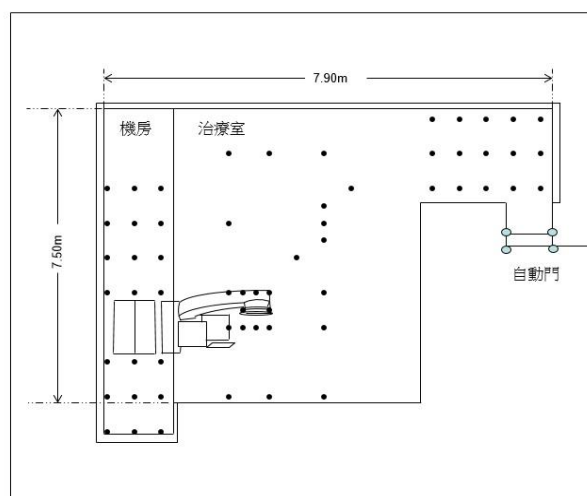
校正由中山醫大附設醫院放射腫瘤科的 Axess 直線加速器以 6MV 光子提供照射，將回火清除殘餘電子後的 TLD-100 和筆型游離腔放置於 1.5 cm 與 5 cm 的水假體中，設定條件 SSD(Source to skin distance)為 100cm，FOV(Field size)為 10×10cm<sup>2</sup>，劑量率(Dose rate)為 600MU/min，分別使用 10MU、20MU、30MU、50MU、80MU、100MU、120MU、150MU、180MU、200MU、250MU、300MU、400MU、500MU、600 MU 照射，低 MU 部分的數據取得較多，因為治療時使用之劑量在低 MU 輸出部分，為取得較準確的校正，故計畫在低 MU 部分進行更多校正。經過校正後，得到的方程式為  $Y(\text{劑量, mSv}) = 25.835 \times^{0.8597} (\text{電量, nC})$ ，圖三為電量與劑量校正方程式。



圖三 電量(nC)與劑量(mSv)校正式

圖四為中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科亞瑟刀治療室與機房的佈點圖，機房、治療室與迷宮走道之空間共長 7.9m，寬有 7.5m，本實驗計畫於此空間佈點一個月。以亞瑟刀治療儀的機頭為中心，為了不影響每日病人治療，故在距離地面約 3m 之天花板布置 TLD，測量環境輻射劑量。

本實驗挑選 147 顆 TLD，每兩顆裝成一袋，共有 74 袋 TLD，每兩顆裝一袋的用意，為可作為加權平均利用，預計佈點時間為期一個月。表一為 TLD 佈點之位置，其中 60 袋佈點於治療室與機房的天花板上，利用二維空間分布，探討劑量的分布。第 61~64 袋分別佈點於治療室的鉛門之內與之外，可以比較鉛滑門對於輻射防護屏蔽的效果。其餘之 TLD 放置於位在台中市的住家，做為一般背景輻射量測用，與實驗結果相互驗證與比較[1,2]。



圖四 中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科亞瑟刀治療室 TLD 佈點配置圖

表一 TLD 佈點處，另有十袋作為台中市背景值

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| 1.VMAT 治療室(天花板)  | 33.VMAT 機房(天花板) |
| 2.VMAT 治療室(天花板)  | 34.VMAT 機房(天花板) |
| 3.VMAT 治療室(天花板)  | 35.VMAT 機房(天花板) |
| 4.VMAT 治療室(天花板)  | 36.VMAT 機房(天花板) |
| 5.VMAT 治療室(天花板)  | 37.VMAT 機房(天花板) |
| 6.VMAT 治療室(天花板)  | 38.VMAT 機房(天花板) |
| 7.VMAT 治療室(天花板)  | 39.VMAT 機房(天花板) |
| 8.VMAT 治療室(天花板)  | 40.VMAT 機房(天花板) |
| 9.VMAT 治療室(天花板)  | 41.VMAT 機房(天花板) |
| 10.VMAT 治療室(天花板) | 42.VMAT 機房(天花板) |
| 11.VMAT 治療室(天花板) | 43.VMAT 機房(天花板) |
| 12.VMAT 治療室(天花板) | 44.VMAT 機房(天花板) |
| 13.VMAT 治療室(天花板) | 45.VMAT 機房(天花板) |
| 14.VMAT 治療室(天花板) | 46.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 15.VMAT 治療室(天花板) | 47.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 16.VMAT 治療室(天花板) | 48.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 17.VMAT 治療室(天花板) | 49.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 18.VMAT 治療室(天花板) | 50.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 19.VMAT 治療室(天花板) | 51.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 20.VMAT 治療室(天花板) | 52.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 21.VMAT 治療室(天花板) | 53.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 22.VMAT 治療室(天花板) | 54.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 23.VMAT 治療室(天花板) | 55.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 24.VMAT 治療室(天花板) | 56.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 25.VMAT 治療室(天花板) | 57.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 26.VMAT 機房(天花板)  | 58.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 27.VMAT 機房(天花板)  | 59.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 28.VMAT 機房(天花板)  | 60.VMAT 治療室迷宮走道 |
| 29.VMAT 機房(天花板)  | 61.鉛滑門外         |
| 30.VMAT 機房(天花板)  | 62.鉛滑門內         |
| 31.VMAT 機房(天花板)  | 63.鉛滑門內         |
| 32.VMAT 機房(天花板)  | 64.鉛滑門外         |

### (三) HARSHAW Model3500 TLD reader

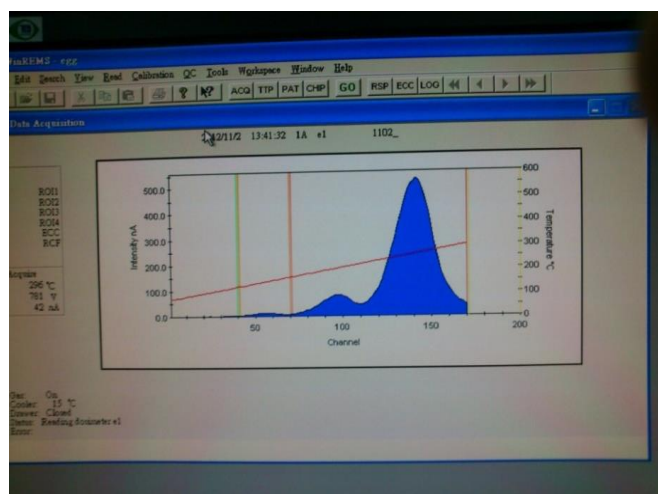
經過一個月的佈點後，將 74 袋 TLD-100 取回，利用熱發光劑量計計讀儀(TLD



Reader)進行計讀，本計畫將以本系已有的美國 HARSHAW 公司出產的 Model3500 TLD reader 進行計讀(如圖五)。利用熱電偶極反饋電路控制加熱板加熱 TLD-100，使其產生熱發光，經過一光學濾片過濾訊號，經由計讀儀內建的光電倍增管與放大器裝置，配合內建 WinREMS 軟體得到輝光曲線(Glow Curve)(如圖六)，並選取興趣區間(region of interest,ROI)，實驗時將輝光曲線分為 ROI 1、ROI 2、ROI 3 及 ROI 4，是為了提高計讀的精確性，避免 TLD 內的其他溫度干擾計讀讀值，故本研究計畫選擇以穩定的 ROI 3 當作主要計讀的區域[1]。



圖五 Model 3500 TLD reader



圖六 輝光曲線(Glow Curve)

### 實驗結果

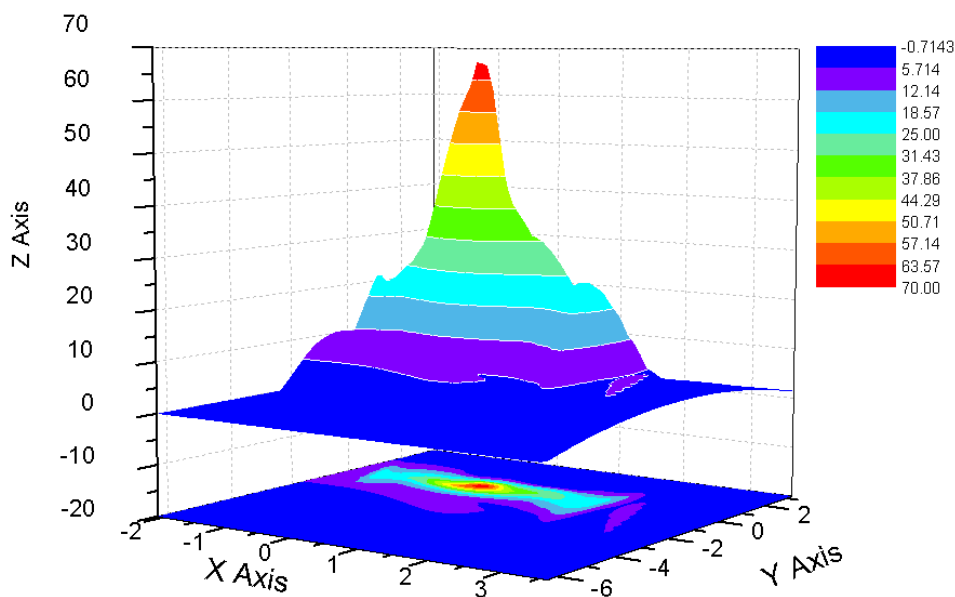
整體實驗總共進行三次布點，第一次布點日期為 102 年 05 月 15 日至 102 年 06 月 14 日，亞瑟刀共照射 573 人次，第二次布點日期為 102 年 10 月 09 日至

102 年 11 月 08 日，共照射 416 人次，第三次布點日期為 102 年 2 月 11 日至 103 年 01 月 10 日，亞瑟刀共照射 475 人次，各次照射之部位如表二所示。

表二 布點期間，亞瑟刀所進行之照射部位及人次

照射部位 [照射時間(min)/照射能量(MV)]	第一次照射 之人次	第二次照射 之人次	第三次照射 之人次
Breast(<15/6)	184	101	171
Brain(10/6)	23	15	12
Head(10/6)	3		
Neck(10/6)	28	5	
C.C(15/10)	41	27	5
Tongue(15/6)	83	20	69
NPC(15/6)	1	27	17
ESO(15/6)	9	18	30
Rectum(15/10)	10	5	
Bone(10/6)	39	52	16
Bladder(15/10)	15		
Liver(15/6)	6		
Lung(15/6)	32		
Gingiva(15/6)	23		
Gastric(15/6)	15		
Scar(<5/6)	7		
Buccal(15/6)	35	3	20
Pelvis(15/10)	8	14	16
Prostate(15/10)	7		8
Shoulder(15/6)	1	10	12
Pancrease		18	2
Palate		7	6
Abdomen		1	11
Hypopharynx(15/6)	3		15
Skin			11
Liposarcoma			9
Oral			14
Blood		2	20
Endometrium			9
Tonsil		22	
Mouth floor		22	
Cervix		10	

經過三次為時一個月的布點後，取得直線加速器治療室內的环境劑量二維分布，將三次的結果平均後繪製成如圖七的环境劑量分布三維圖表，其中 X 與 Y 軸代表治療室的空間座標，而 Z 軸代表該處的环境輻射劑量值，從圖中可以發現中心點(機頭上方位置)的劑量遠大於側邊牆壁上的劑量。經過為時一個月量測所得到的機頭上方、控制室及背景值之平均劑量以座標方式表達如表三。最高劑量出現在機頭上方，為  $2972.08 \pm 256.06 \text{ mSv/mo}$ ，劑量大小隨著距離等中心點越遠而遞減。控制室的劑量為  $0.49 \pm 0.14 \text{ (mSv/mo)}$ ，一年約為  $5.88 \text{ mSv}$ ，遠低於法規所規定的低限值，這顯示工作人員在控制室中有受到適當的輻射屏蔽保護。



圖七 環境劑量分布圖

表三 各點的劑量值

座標(X, Y)	劑量(mSv/mo)
(0.3, 0.3)	$246 \pm 0.645$
(0.3, 0)	$241 \pm 0.000$
(0.3, -0.3)	$183 \pm 0.068$
(0, -0.3)	$209 \pm 0.134$
(-0.3, -0.3)	$194 \pm 1.751$
(-0.3, 0)	$282 \pm 8.202$
(-0.3, 0.3)	$248 \pm 0.088$
(0, 0.3)	$339 \pm 0.822$
控制室	$0.14 \pm 0.000018$
背景值	$0.0045 \pm 0.005749$

鉛滑門材質為鉛與聚乙烯，鉛門內的劑量為  $10.56 \pm 1.48$  mSv/mo，鉛門外的劑量為  $0.33 \pm 0.03$  mSv/mo，經滑門阻擋後，額外輻射已符合法規規定。



### 討論與結論

醫事放射人員每年的額外  $\gamma$ -ray 劑量低限為 10mSv，而運行一年的人員控制室之最高輻射劑小於 10 毫西弗，遠低於 ICRP60 建議的低限值，結果表示在自動門外及控制室內，屏蔽系統具有保護人員的功能。

經過在聚乙烯鉛滑門內外進行布點及控制室內的布點後，由數據的發現表明，鉛滑門與混凝土牆，可以充分保護工作人員和公眾。

### 致謝

感謝中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科的全體同仁無怨地於每一次實驗時給予全力的協助與支持，讓本研究更順利的進行，在此致上最高敬意與謝意，特此致謝。感謝朱欣怡學姊的指導，包括亞瑟刀的操作及儀器說明、平時操作的情況。感謝指導老師陳健懿老師在各方面的悉心指導。感謝實驗室的學長姐及同學們從各方面提出的問題、觀點進行討論，得出更完善、完整且具有說服力的結果。

### 參考文獻

- [1]陳俊勛，林定邦，陳健懿，柯敏君，李瑞萍，劉文山，張賴昇平，林傑彬，醫用迴旋加速器之環境輻射評估，中華放射線技術學雜誌 C J Radiologic Tech 2010 34(2) 95-100
- [2]Wen-Shan Liu， Sheng-Pin Changlai， Lung-Kwang Pan， Hsien-Chun Tseng， Chien-Yi Chen. Thermal neutron fluence in a treatment room with a Varian linear accelerator at a medical university hospital， Radiation Physics and Chemistry 80 (2011) 917-922
- [3]Albert Zacarias, John Balog, Michael Mills. RADIATION SHIELDING DESIGN OF A NEW TOMOTHERAPY FACILITY， Health Physics 91 NO 4 (2006) 289