

科技部補助

大專學生研究計畫研究成果報告

* ***** ***** *
* 計 畫 *
* : 體重差異下男性肺癌假體輻射劑量評估 *
* 名 稱 *
* ***** ***** *

執行計畫學生： 蔡宗霖
學生計畫編號： MOST 103-2815-C-040-062-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： 曾顯群

處理方式： 本計畫可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學醫學系

中華民國 104年02月05日

體重差異下男性肺癌假體輻射劑量評估
Evaluation of Radiation Dose for Different Body-weight Males
Undergoing Lung Cancer Treatment

摘要

目的

由於體積旋弧調控放射治療(Volumetric Arc Therapy, VMAT)對於癌症治療個案與日俱增，量測組織器官輻射劑量是很重要的。本研究目的探討 VMAT 應用於不同體重下男性肺癌之有效(effective dose)與器官或組織等價劑量(equivalent dose)。

材料與方法

熱發光劑量計(TLD-100H)佈值於倫道假體及 10、30、50、70、90 公斤重男性自研假體，TLD 經 VMAT 之肺癌治療計畫後，由 HARSHAW 3500 計讀，並算出有效及等價劑量。

結果

10 公斤假體有效劑量最高，為 2.51 mSv，而心臟和乳房等價劑量較高，分別高 1.4 和 1.3 倍。且離病灶區越遠，劑量越低。肺臟，具最高等價劑量，再由體重差異下，迴歸分析畫出全身劑量分布，得到越接近病灶區其劑量值越高。

結論

由 VMAT 治療肺癌患者，得到有效劑量隨著體重上升而有減少的趨勢， $E \text{ (mSv)} = -0.022 \times (\text{kg}) + 2.81 \text{ (ICRP 60)}$; $E \text{ (mSv)} = -0.023 \times (\text{kg}) + 2.66 \text{ (ICRP 103)}$ 。

關鍵字: 熱發光劑量計、體積旋弧調控放射治療、倫道假體、自研假體、ICRP 60、ICRP103

ABSTRACT

Purpose:

Since the VMAT therapy (Volumetric Arc Therapy, VMAT) for increasing cases of cancer treatment, the radiation dose measuring organs is important. The purpose of this study is applied to investigate the VMAT effective dose with organ or tissue equivalent doses of different weights of male lung cancer .

Materials and Methods:

Thermoluminescence dosimeter (TLD-100H) cloth values in Rando phantom and 10,30,50,70,90 kilograms male self-developed of the prosthesis, after the treatment of lung cancer TLD by VMAT plan by HARSHAW 3500 meter reading, and calculate the effective and equivalent dose.

Results:

10 kg phantom highest effective dose for the 2.51 mSv, while higher doses equivalent to the heart and breast, respectively, 1.4 and 1.3 times. And farther away from the lesion area, the lower the dose. Lungs, with the highest dose equivalent, and then by the weight difference, regression analysis to draw systemic dose distribution, get closer to the higher dose value lesions.

Conclusion:

By VMAT treatment of lung cancer patients with weight gain effective dose and a decreasing trend, $E \text{ (mSv)} = -0.022 \times (\text{kg}) + 2.81$ (ICRP 60); $E \text{ (mSv)} = -0.023 \times (\text{kg}) + 2.66$ (ICRP 103).

Keywords:TLD, Volumetric Arc Therapy(VMAT),Rando phantom,Self-developed phantom,ICRP60,ICRP103

前言

癌症從過去至今皆為國人十大死因之首位，如何有效控制腫瘤並降低治療相關副作用，一直是醫界努力的方向。在癌症的治療方式中，除了手術治療、化學治療、和標靶治療外，放射治療亦成為控制惡性腫瘤的重要武器之一。

根據過去的文獻統計，約有近 1/2 的癌症病人在罹癌期間曾經接受過放射治療，可見放射治療的重要性。放射治療也就是俗稱的「電療」，在過去許多病患一直對其存在著誤解，以為是用電刺激方式來治療腫瘤，但實際上並非用電流而是使用放射線（多為 X 光，即光子）來照射腫瘤，而達到治療之目的。

放射治療技術已日新月異，從早期的鈷六十機器，一直演進到現在的直線加速器 (Linear Accelerator)、螺旋刀 (Tomotherapy)、電腦刀 (Cyberknife) 等新式儀器。這些新式儀器其儀器的精確度、治療品質及穩定性都已有長足之進步。目前多數醫院主要使用的放射治療技術，為強度調控放射治療(Intensity-Modulated Radiation Therapy, 簡益。但最近這一、二年所推出的弧形強度調控放射治療 (Volumetric Modulated Arc Therapy, 簡稱 VMAT)，又再將其優勢更往前推進一步。

國人十大死因中的第一名是惡性腫瘤，其中又以「氣管、支氣管和肺癌」、「肝和肝內膽管癌」、「結腸、直腸和肛門癌」為前三名。由此可知肺癌是我們目前最需關注的病症，且男性肺癌機率一直都是高於女性，利用 VMAT 在輻射劑量的控制和週邊劑量都是最低的優點、現今的醫療體系使用率的上升，且病患的層面包含幼兒至成人，所以我們希望利用不同公斤數的自研假體經由強度調控放射治療(Volumetric Modulated Arc Therapy ,VMAT)照射後可得出不同體重下，體內各器官或組織的等價劑量和有效劑量的相對關係，藉以來評估機率效應的發生。

材料與方法

一、實驗架構

1.準備 TLD-100H (包含靈敏度篩選、校正線性曲線)
2.CT 定位掃描、射線照射
3.擬定治療計畫
4.移除 TLD 並計讀數據
5.迴火
6.以 ICRP103,ICRP60 報告計算各器官組織等價劑量及有效劑量
7.推算不同體重與劑量關係

表一：實驗架構

二、實驗器材

1. Elekta 2538 Axesse VMAT

ELEKTA 公司型號 2538 AXESSE VMAT，VMAT 為弧形調控放射治療，利用轉臂持續給予多角度的射束釋放，能給予腫瘤足夠的治療劑量並有效降低週邊正常組織器官

的劑量並縮短治療時間，且能更精準定位腫瘤位置；融合了 IMRT(強度調控放射治療技術)，也彌補 IMRT 在治療時間較長的缺點。利用 CT 取代傳統模擬攝影，以取得腫瘤與鄰近正常器官的 3D Image 作為電腦治療計畫依據。SBRT 是立體定位放射治療，此技術的特點是少次高劑量的治療，可縮短治療時間，所使用的射線與 VMAT 和 IMRT 是相同的 6MV 光子射線。

2. 自行研發假體(Self-developed mathematical phantom)、侖道假體(Rando phantom)

自研假體是依據 ICRU 48 報告所列亞洲成年人身材並參考 GSF 亞當數學假體所設計的，可分為 10.30.50.70.90 公斤的不同體型，且具有與真人外部形狀相似性、組織輻射等效性及內部結構仿真人體三大特點。其身體組成成份為骨骼由鋁棒組成、軟組織由壓克力組成、肺由泡棉組成；我們使用的是 50.70.90 公斤的假體進行實驗。另外也使用 70 公斤的侖道假體進行實驗，侖道假體是標準擬人假體，為 170 公分、70 公斤(表二)的標準男性，以真人骨骼作為骨架、橡膠替代軟組織，肺臟則用環氧樹脂替代，有效原子序皆為 7.3。是國際上公認的標準假體。



圖一：自研假體與侖道假體

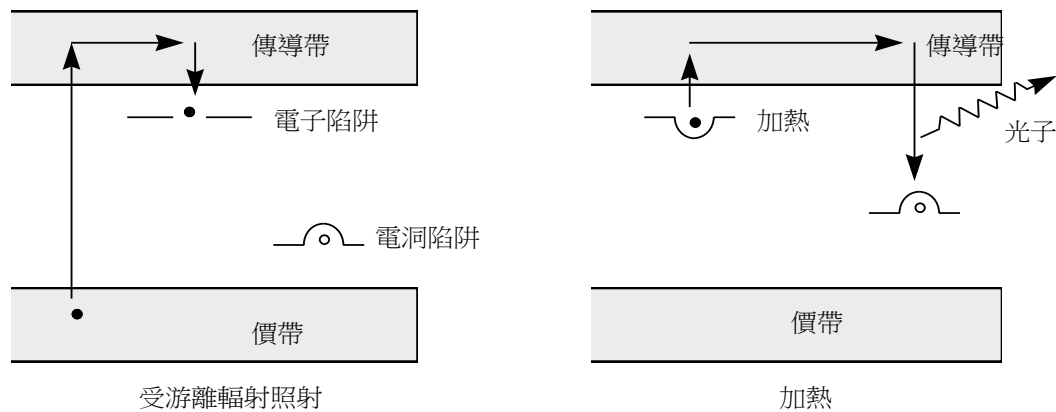
假體	倫道假體	自研假體				
		10	30	50	70	90
重量 (公斤)	70	10	30	50	70	90
高度 (公分)	94.5	50	78	84	93	112
去除四肢 重量(公斤)	34.5	6.75	19.0	31.5	44.1	57.0
BMI	22.2	13.4	16.5	21.6	24.2	27.8
切片厚度 (公分)	2.5	1.6	2.3	2.7	3.0	3.6

表二:假體的各项參數

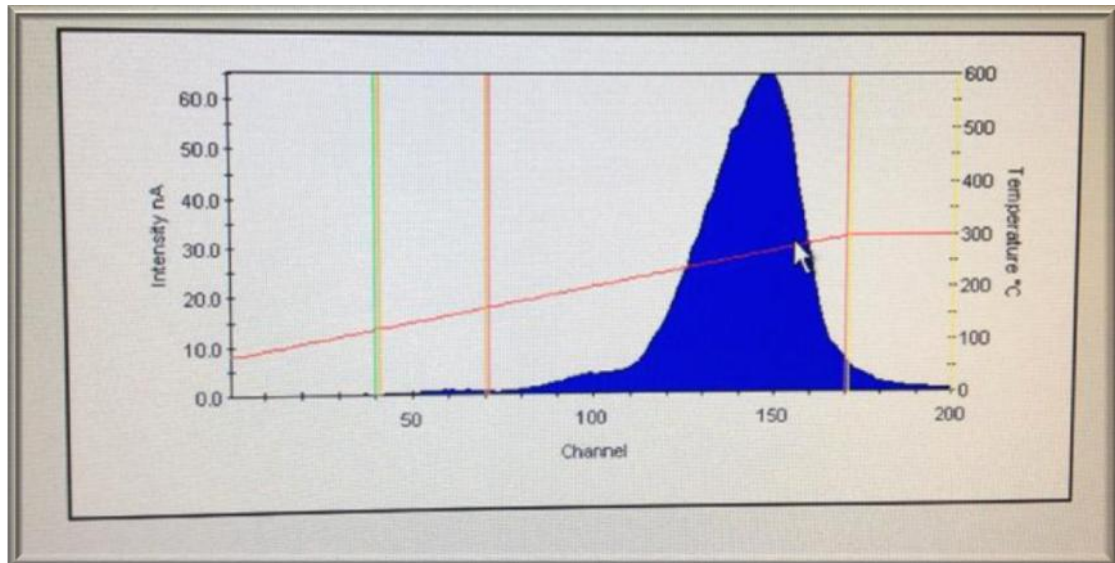
3. TLD-100H 計讀系統

計讀時，將受輻射暴露的 TLD-100H 置入 Harshaw-3500 進行計讀。Harshaw-3500 計讀時由攝氏 50 度加熱到攝氏 300 度，而當固態晶體受輻射照射時，輻射與晶體作用，將晶體內的電子激發到傳導帶，部分的電子在激發時被捕獲中心捕獲，而以介穩態暫存於晶體內，另外同時形成發光中心(LC)。適當加熱後，將暫存於介穩態的電子提升到傳導帶，然後與發光中心復合，放出可見光(圖二)。

加熱完成後，計讀系統本身內建的 WinREMS 軟體繪出每顆 TLD-100H 的輝光曲線(圖三)，得到每顆 TLD-100H 的電量值(nC)。加熱完成後的計讀儀以氮氣冷卻，以利進行下一顆 TLD-100H 的計讀。



圖二: TLD-100H 原理



圖三: TLD-100H 輝光曲線

4. TLD-100H 熱發光劑量計

TLD-100H 的部分，它是一種由氟化鋰組成的固態晶體物質，以近似於人體組織原子序、準確性高、可重複使用等優點，可測量光子對人體劑量的影響。熱發光是在移去輻射源後，在穩定增溫條件下可觀察的熒光。氟化鋰(LiF)成分的 TLD 現為國內最普遍的劑量計讀計，我們所使用的 TLD-100H 尺寸大小為 $3.1 \times 3.1 \times 0.89\text{mm}^3$ ，密度為 2.64g/cm^3 ，重量約為 28mg，有效原子序為 8.2，將其放置於假體內當成受檢者檢查，可用來評估照射點的輻射劑量。

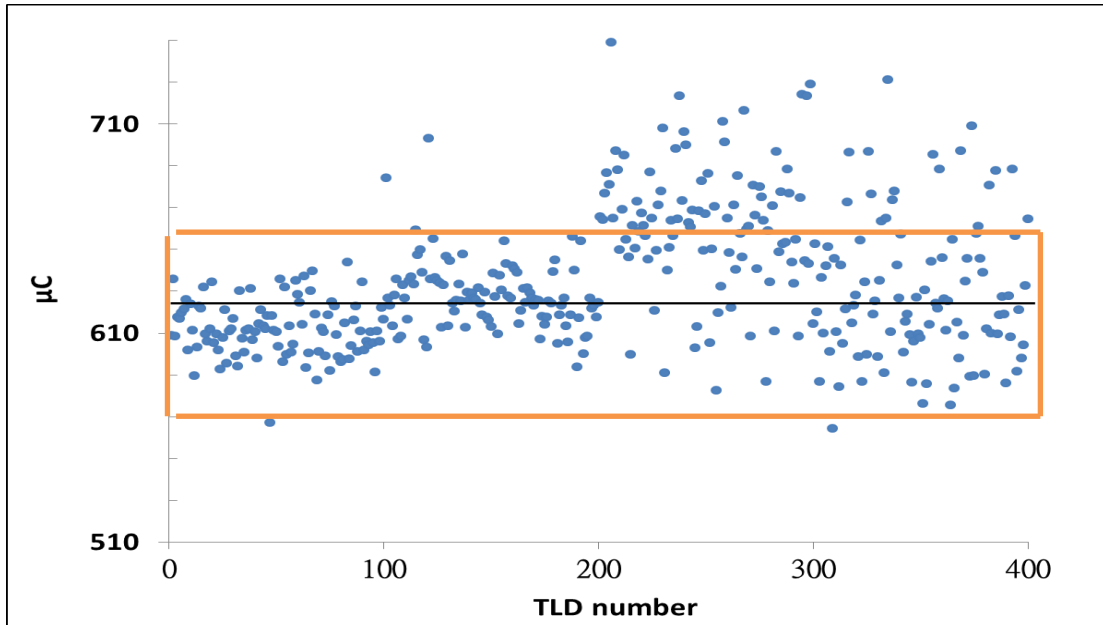
將TLD置入Harshaw-3500計讀系統進行計讀，圖(三)即是加熱完成後，計讀系統本身內鍵的WinREMS軟體，繪出TLD-100H的輝光曲線，得到每顆TLD的電量值，下式(一)即是將電量值與游離腔量得的數值做線性回歸，所得到的校正曲線。

$$Y(\text{cGy})=0.0009 \times \text{TLD}(\mu\text{C})+10.549 \quad (1)$$

$$R^2=0.9985$$

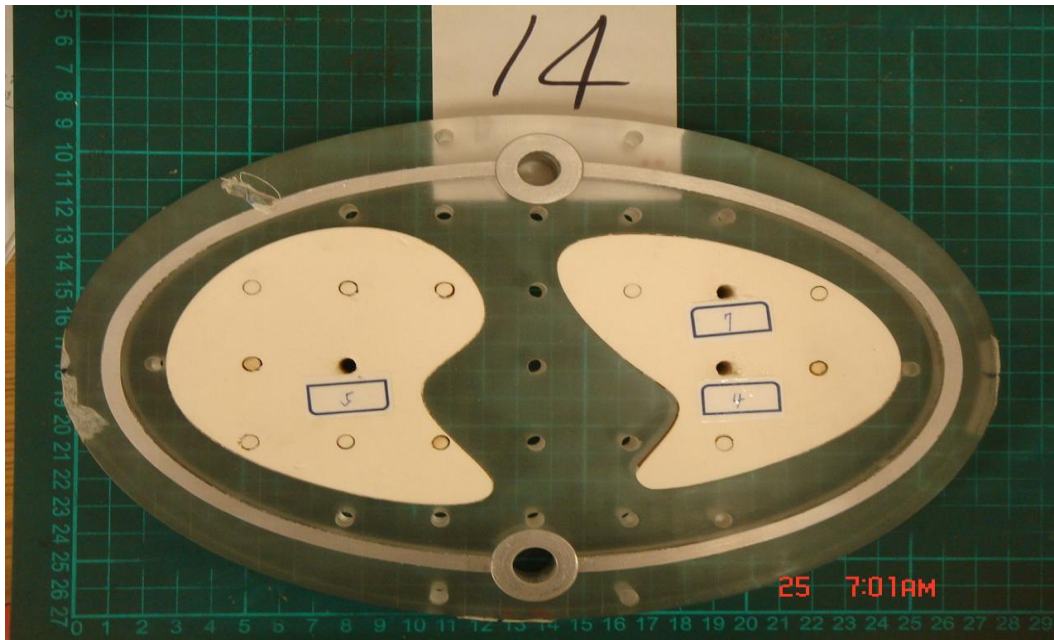
三、方法步驟

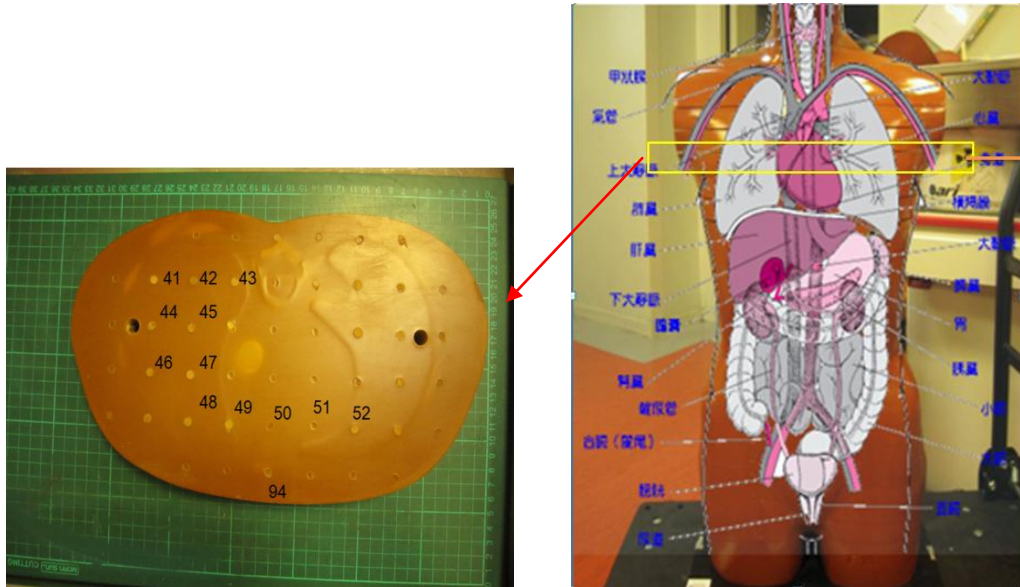
1.準備 TLD-100H: 由於 TLD 彼此間存在重量、雜質成份與含量比例上有些不同，使的對劑量的反應有差異，因此再用於測量前先須做準確度的篩選以降低計讀數值間的差異。有 400 個點即是 TLD 的個數，線條框起來的是誤差值在正負 8% 的部分(圖四)，而即是我們實驗所需要的 TLD。



圖四:TLD-100H 靈敏度篩選

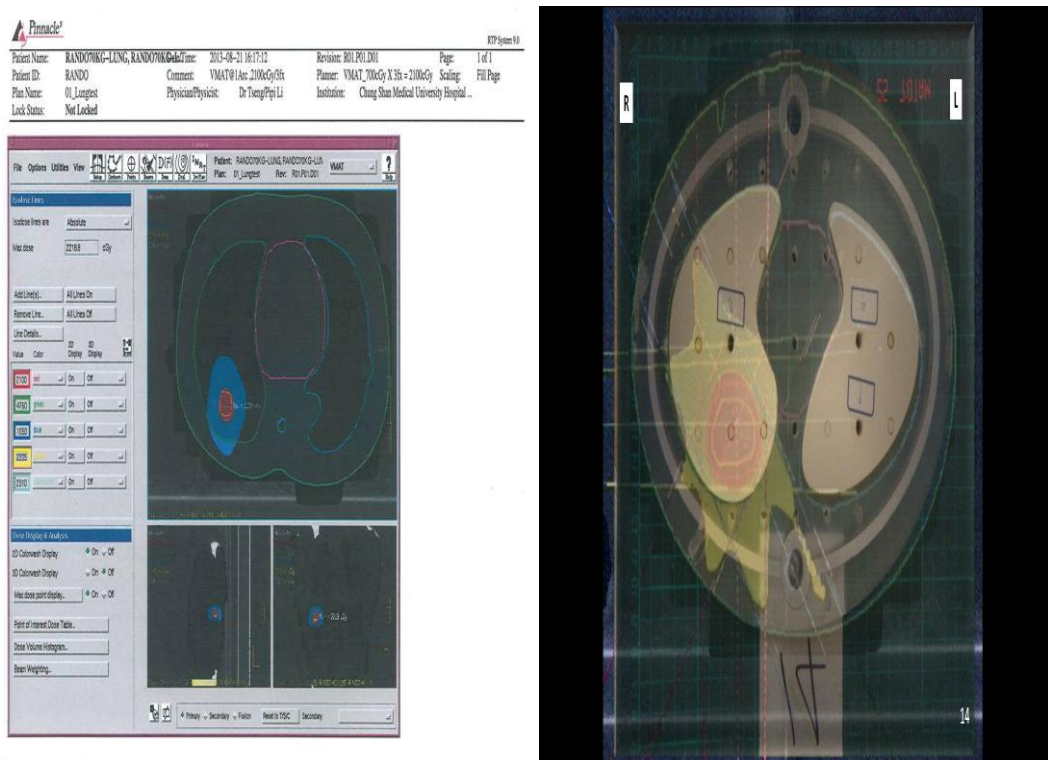
2.佈點:將熱發光劑量計(TLD-100H)三顆為一袋,佈置於自研假體和倫道假體的各重要組織器官,由本校附醫放射腫瘤科曾顯群主任/醫師設計並造,位置為偏右肺臟,所以我們將 TLD-100H 集中分布在假體的肺臟器官(圖五)。接著將假體平行置於 VMAT 的檢查床上,開始進行定位掃描。各器官掃描的定位以及管電壓的控制,由放腫科資深醫學物理師(張席昌)及朱欣怡放射師來設定。實驗中,每一個佈點都是三顆 TLD-100H,在進行結果彙整加權計算時,是取三顆數據的平均值。





圖五:自研假體、倫道假體佈點圖

3.擬定治療計畫:我們請放射科醫師為實驗擬定治療計畫,以倫道假體為例,我們對照倫道假體切片的位置找出腫瘤中心點,而倫道假體的腫瘤中心點在第 15 切片,右肺的部分。可以看到左上角有一個腫瘤中心點 3 次治療加總的最大劑量(圖六)。



圖六:假體治療計畫

4.計讀:測量輻射劑量的 TLD-100H 於照射後放置 24 小時後,利用 Harshaw 3500 計讀儀,計讀時,將 TLD-100H 置於計讀儀之加熱盤上,加熱使熱發光劑量計放出光子,由計讀儀內的光電倍增管,接收光訊號並放大後,透過系統內建的 WinREMS 軟體描繪出輝光曲線。再將三顆平均過後的 TLD-100 所度量到的輻射劑量代入等價劑量的公式中進而

推導出有效劑量。

5.計算輻射劑量: TLD-100H 輻射劑量計算方面，等價劑量主要在計算器官組織的平均吸收劑量再乘上輻射加權因數即可得到數值。另外依據 ICRP 第 103 號報告將有效劑量定義為:假體中受暴露之組織或各器官其等價劑量與其組織器官之組織加權因數(表三)乘積之和。劑量單位都是西弗。實驗中有效劑量的評估是由於不同器官組織對輻射敏感度不一，會產生不同的效應，而評估此機率效應的風險。

	ICRP60 (1990)	ICRP103 (2007)
skin	0.01	0.01
thyroid	0.05	0.04
breast	0.05	0.12
esophagus	0.05	0.04
lung	0.12	0.12
stomach	0.12	0.12
liver	0.05	0.04
remainder	0.05	0.12
colon	0.12	0.12
bladder	0.05	0.04
Gonads	0.2	0.08
bone marrow	0.12	0.12
bone surface	0.01	0.01
Salivary glands	-	0.01
Brain	-	0.01

表三:ICRP60、ICRP103 各組織器官之組織加權因素

實驗結果

進行VMAT體積調控旋弧放射掃描後，將每顆計讀完的TLD-100H量到的電量帶入式(一)的校正曲線方程式，可將電量值換算成吸收劑量(Gy)，最後乘上各組織器官的輻射加權因數，得到各器官組織的等價劑量，單位為西弗

等價劑量公式:

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot W_R \quad (2)$$

經計算後，表四為相異體重下，自研假體的各組織器官等價劑量值，和倫道假體各組織器官的等價劑量值。其單位為毫西弗。圖表重點在於肺臟的部分，肺臟的劑量最高，在 10kg 男性假體中右肺有 10.9mSv，是所有組織器官等價劑量最高的部位，隨著體重增加，90kg 假體右肺劑量為 5.49mSv，明顯降低 2.3 倍。

藉由自研假體和倫道假體的比較，可得到 70kg 自研假體右肺等價劑量是倫道假體 (70kg)右肺等價劑量的 3.2 倍。

(mSv)

	10kg	30kg	50kg	70kg	90kg	倫道假體 (70kg)
Skin	0.51	0.15	0.23	0.29	0.23	0.15

Thyroid	0.27	0.07	0.07	0.07	0.04	0.03
Breast	2.80	1.07	0.48	4.74	0.93	0.34
Lung(R)	10.9	9.06	7.42	6.12	5.49	1.97
Lung(L)	4.69	3.43	2.49	2.39	1.27	0.70
Stomach	0.84	0.58	0.29	0.22	0.28	0.16
Liver	1.44	0.72	0.45	0.63	1.78	0.33
Spleen	0.45	0.44	0.23	0.12	0.18	0.18
Pancrease	0.42	0.29	0.40	0.12	0.2	0.14
Kidney	0.36	0.18	0.22	0.07	0.13	0.15
Heart	4.63	1.20	3.58	4.28	3.60	0.85
Colon	0.32	0.16	0.09	0.05	0.09	0.11
Bladder	0.04	0.02	0.02	0.02	0.016	0.019
(M)Gonads	0.03	0.02	0.02	0.01	0.016	0.016
Bone marrow	0.17	0.06	0.23	0.04	0.037	0.159
Brain	0.0004	0.0002	0.0003	0.00024	0.00022	0.0002

表四:相異體重的自研假體和 70kg 倫道假體各器官組織等價劑量值

根據 ICRP 第 103 號報告的有效劑量公式。有效劑量的評估是由於不同器官組織對輻射敏感度不一，會產生不同的效應，而評估此機率效應的風險。

有效劑量公式:

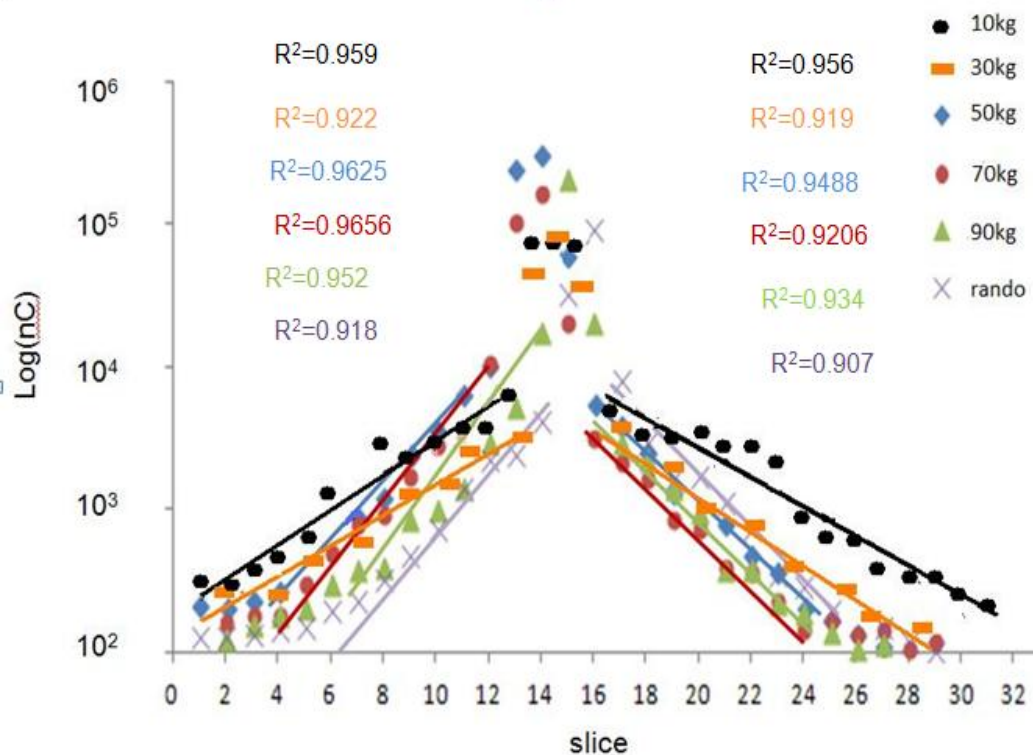
$$E = \sum_T W_T H_T \quad (3)$$

利用表三的各器官組織加權因數以及式(三)，可計算出有效劑量。10 kg、30kg、50kg、70kg、90kg 的自研假體有效劑量為 2.34±0.74 (mSv)、1.65±0.65(mSv)、1.49±0.54(mSv)、1.35±0.39(mSv)、0.84±0.26(mSv)，倫道假體有效劑量為 0.33±0.08(mSv)。各假體之劑量隨體重增加而在病灶區或週邊組織有所減少。10 公斤假體的有效劑量是 90 公斤的 3 倍；70 公斤假體的有效劑量是倫道假體的 3.7 倍。

(mSv)

	10kg	30kg	50kg	70kg	90kg	Rando
ICRP60	2.23±0.71	1.59±0.67	1.39±0.66	0.94±0.34	0.74±0.26	0.28±0.12
ICRP103	2.34±0.74	1.65±0.65	1.49±0.54	1.35±0.39	0.84±0.26	0.33±0.08

表五：相異體重的自研假體和 70kg 倫道假體的有效劑量值



圖七：全身劑量對數圖

圖七為全身對數劑量圖，橫軸為假體切片數，縱軸為取完對數後的輻射劑量值。從趨勢線上可以明顯發現越接近病灶區的切片數(14-16 slices)會明顯上升，隨著遠離病灶區趨勢線會呈現下降。另外使用 Excel 程式計算出 R square 值，是用來表示迴歸所可以解釋的 X、Y 軸變異比例，其值越接近 1，表示其準確性越大。

討論與結論

本論文中器官等價劑量隨著假體體重減少而增加，體重越輕的的肺癌患者，其肺臟的等價劑量較高；體重越重的患者，其肺臟的等價劑量相對較低。10公斤的假體肺臟等價劑量是90公斤的2.3倍；70公斤的肺臟劑量是倫道假體的3.2倍。自研假體有效劑量範圍為 2.34 ± 0.74 (10kg)、 1.65 ± 0.65 (30kg)、 1.49 ± 0.54 (50kg)、 1.35 ± 0.39 (70kg)、 0.84 ± 0.26 (90kg)mSv，倫道假體為 0.33 ± 0.08 mSv，可推論體重輕的肺癌病患身體受到的有效劑量較多，也表示個人受曝露於所有機率效應的風險提高。

另外以70公斤自研假體與倫道擬人假體(70kg)比較，兩者數據相差3.7倍，其原因是兩種假體材質的不同、材質密度差異造成光子衰減不同、體厚和假體切片之間的密合度等，種種原因造成在相同體重下假體輻射劑量值的差異。由於倫道假體是國際公認的擬真人假體，在實驗上的數據會比自研假體更接近臨床上患者的劑量，可以藉由兩種不同假體的數據意義，提供實驗和臨床上的應用。

由此研究中，可知TLD-100H具有高靈敏度特性，及所使用的方法，所設定的參數是具有參考價值與意義。因此本論文所得到的等價和有效劑量之分佈，可以提供主管機關、醫師、放射師、以及家屬10~90公斤假體在VMAT檢查治療時的劑量分佈的參酌，尚祈主管機關在訂定各項法規限值時能多使用。

致謝

感謝中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科的醫師、物理師和放射師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。

參考文獻

- [1] J. B. Lin, J. P. Lee, D. B. Lin, et al., *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 280(3), (2009) 481-487.
- [2] W. S. Liu, S. P. Changlai, L. K. Pan, H. C. Tseng, C. Y. Chen, *Radi. Radiat. Phys. And Chem.* 80 (2011) 917-922.
- [3] S. F. Kry et al., *Int. J. Radiation Oncology Biology Physics* 62 No. 4 (2005) 1204-1216.
- [4] J. S. Tsai, et al., *Int. J. Radiation Oncology Biology Physics* 40 (1998) 1213-1230
- [5] 中華民國核能學會網站 <http://www.chns.org/index.php>
- [6] 中華放射線技術學雜誌 CJ Radiologic Tech 2011;35(2):104-110 螺旋光子刀對不同體重之肺癌患者的散射劑量及危險度評估
- [7] 林彥君,陳健懿,許芳裕,王宥翔,張白容.不同體重男性電腦斷層之有效劑量評估 CJ Radiologic Tech 2010;34(2):116-122