

科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

強度調控弧形放射治療下肺癌患者有效劑量評估

計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 103-2314-B-040-003-
執行期間：103年08月01日至104年07月31日
執行單位：中山醫學大學醫學影像暨放射科學系

計畫主持人：陳健懿
共同主持人：曾顯群
計畫參與人員：此計畫無其他參與人員

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：

1. 公開資訊：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢
2. 「本研究」是否已有嚴重損及公共利益之發現：否
3. 「本報告」是否建議提供政府單位施政參考：否

中華民國 104 年 09 月 14 日

中文摘要：根據民國 102 年行政院衛生福利部主要癌症死亡率趨勢統計報告，肺癌死亡率逐年攀升，許多肺癌患者選用以直線加速器 (linear accelerator, linac) 為基礎且融合強度調控和影像導引的弧形調控放射治療 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)，因此，我們開始研究肺癌患者行弧形調控放射治療時的全身有效劑量 (Effective dose, E) 和器官/組織等價劑量 (Equivalent dose, EDT)，評估照野外散射對其他器官組織的損害及危險度。以熱發光劑量計 (Thermoluminescent dosimeters, TLD-100H) 評估肺癌患者行弧形調控放射治療時之劑量。TLD-100H 經過靈敏度篩選和線性校準後，佈植於參考國際輻射單位與度量衡委員會 48 號報告 (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU-48) 和亞當數學假體 (Germany's National Research Center for Environment and Health Institute for Radiation Protection Adam, GSF Adam) 而設計的五個不同公斤數自研假體 (Self-Developed Mathematic Phantom, SDM) 及倫道假體 (Alderson Radiation Therapy phantom, ART Rando phantom) 之模擬肺癌患者。使用中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科 Elekta Axesse 型直線加速器進行照射，能量為 6MV，弧形數目為二，腫瘤體積治療療程為 3 次分次，總治療劑量共 2100 cGy。參考 Cheung 等人及 Kawaura 等人之文獻佈點熱發光劑量計於各器官/組織位置。等價劑量和有效劑量根據國際放射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 60 號報告和 103 號報告計算。ICRP 60 及 ICRP103 計算結果，有效劑量前者較後者低， $E \text{ (mSv)} = -0.0214 X(\text{kg}) + 2.497$ (ICRP 60)； $E \text{ (mSv)} = -0.0204 X(\text{kg}) + 2.662$ (ICRP 103)。10 公斤自研假體具有最高之有效劑量。實驗用每顆熱發光劑量計之間有相當良好的線性關係，各假體肺臟、心臟和乳房之等價劑量偏高。最低等價劑量在腦部。離治療照野越遠，劑量越低。距離腫瘤約 5.4cm，劑量大幅減少。藉由 VMAT 治療肺癌患者，得到各體重的有效劑量隨著體重上升而有減少的趨勢，未來可提供臨床劑量評估卓參。

中文關鍵詞：熱發光劑量計、自製研發數學假體、ICRP 60、ICRP 103、弧形調控放射治療、倫道假體

英文摘要：According to the 102nd report of main cancer death rate by Ministry of Health and Welfare, Executive Yuan, ROC, death rate of lung cancer has increased these days. Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT)

of linear accelerator (linac), Axesse of Elekta Comp. was carried out on lung cancer treatment of patients. Effective dose (E) and Equivalent dose (EDT) of patients undergoing lung treatments were evaluated. To investigate the possible risk of secondary radiations, the contribution of photon doses delivered outside the treatment field will be measured on these phantoms. Thermoluminescent dosimeter (TLD-100H) was used to evaluate the E and EDT of lung cancer patients at Radiation Oncology Department of Chung Shan Medical University Hospital. For sensitivity and linearity calibration, TLDs were calibrated using 6 MV photons from AXESSE, then inserting into five different body-weight Self-Developed Mathematic phantoms (SDM) derived from ICRU-48 and ICRU-44 as well as a male Alderson Radiation Therapy phantom (ART Rando phantom). These SDM phantoms ranging from 10 to 90 kg had been developed corresponding to the GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Germany) mathematical phantoms. The radiation was delivered with 6 MV X-ray, 2 Arcs, from Axesse linac. A total treatment dose of 2100 cGy in 3 fractions was prescribed to the tumor volume. The locations of sensitive organs and tissues were determined by visually comparing sections to an atlas of cross-sectional anatomy published by Cheung and Kawaura. E and EDT were calculated and recommended by International Commission on Radiological Protection, ICRP 60 and 103. It has good linearity between each TLD. E calculated by ICRP 60 was lower than that of 103. $E \text{ (mSv)} = -0.0214 X(\text{kg}) + 2.497$ (ICRP 60); $E \text{ (mSv)} = -0.0204 X(\text{kg}) + 2.662$ (ICRP 103). The 10-kg SDM has the highest E than other phantoms. The EDheart and EDbreast were the highest among organs. The minimum EDT is in the brain. The farther away from the treatment field, the lower ED it was. The distance, 5.4 cm, from tumor center, the EDT is significantly decreased. The E decreased exponentially in an inverse correlation with increasing phantom weight. These findings were useful and recommended to patients, physicians, radiologists and the public.

英文關鍵詞： Effective doses (E) , TLD , self-developed mathematic phantom , Rando phantom , VMAT , ICRP 60 , ICRP 103

強度調控弧形放射治療下肺癌患者有效劑量評估

Evaluating effective dose for Lung Cancer undergoing AXESSE linac at Medical University Hospital

計畫編號: MOST-103-2314-040-003

計畫主持人: 陳健懿

摘要

根據民國 102 年行政院衛生福利部主要癌症死亡率趨勢統計報告，肺癌死亡率逐年攀升，許多肺癌患者選用以直線加速器 (linear accelerator, linac) 為基礎且融合強度調控和影像導引的弧形調控放射治療 (Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)，因此，我們開始研究肺癌患者行弧形調控放射治療時的全身有效劑量 (Effective dose, E) 和器官/組織等價劑量 (Equivalent dose, ED_T)，評估照野外散射對其他器官組織的損害及危險度。以熱發光劑量計 (Thermoluminescent dosimeters, TLD-100H) 評估肺癌患者行弧形調控放射治療時之劑量。TLD-100H 經過靈敏度篩選和線性校準後，佈植於參考國際輻射單位與度量衡委員會 48 號報告 (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU-48) 和亞當數學假體 (Germany's National Research Center for Environment and Health Institute for Radiation Protection Adam, GSF Adam) 而設計的五個不同公斤數自研假體 (Self-Developed Mathematic Phantom, SDM) 及倫道假體 (Alderson Radiation Therapy phantom, ART Rando phantom) 之模擬肺癌患者。使用中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科 Elekta Axesse 型直線加速器進行照射，能量為 6MV，弧形數目為二，腫瘤體積治療療程為 3 次分次，總治療劑量共 2100 cGy。參考 Cheung 等人及 Kawaura 等人之文獻佈點熱發光劑量計於各器官/組織位置。等價劑量和有效劑量根據國際放射防護委員會 (International Commission on Radiological Protection, ICRP) 60 號報告和 103 號報告計算。ICRP 60 及 ICRP103 計算結果，有效劑量前者較後者低， E (mSv) = $-0.0214 X(\text{kg}) + 2.497$ (ICRP 60); E (mSv) = $-0.0204 X(\text{kg}) + 2.662$ (ICRP 103)。10 公斤自研假體具有最高之有效劑量。實驗用每顆熱發光劑量計之間有相當良好的線性關係，各假體肺臟、心臟和乳房之等價劑量偏高。最低等價劑量在腦部。離治療照野越遠，劑量越低。距離腫瘤約 5.4cm，劑量大幅減少。藉由 VMAT 治療肺癌患者，得到各體重的有效劑量隨著體重上升而有減少的趨勢，未來可提供臨床劑量評估卓參。

關鍵字：熱發光劑量計、自製研發數學假體、ICRP 60、ICRP 103、弧形調控放射

治療、倫道假體

Abstract

According to the 102nd report of main cancer death rate by Ministry of Health and Welfare, Executive Yuan, ROC, death rate of lung cancer has increased these days. Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) of linear accelerator (linac), Axesse of Elekta Comp. was carried out on lung cancer treatment of patients. Effective dose (E) and Equivalent dose (ED_T) of patients undergoing lung treatments were evaluated. To investigate the possible risk of secondary radiations, the contribution of photon doses delivered outside the treatment field will be measured on these phantoms. Thermoluminescent dosimeter (TLD-100H) was used to evaluate the E and ED_T of lung cancer patients at Radiation Oncology Department of Chung Shan Medical University Hospital. For sensitivity and linearity calibration, TLDs were calibrated using 6 MV photons from AXESSE, then inserting into five different body-weight Self-Developed Mathematic phantoms (SDM) derived from ICRU-48 and ICRU-44 as well as a male Alderson Radiation Therapy phantom (ART Rando phantom). These SDM phantoms ranging from 10 to 90 kg had been developed corresponding to the GSF (Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit, Germany) mathematical phantoms. The radiation was delivered with 6 MV X-ray, 2 Arcs, from Axesse linac. A total treatment dose of 2100 cGy in 3 fractions was prescribed to the tumor volume. The locations of sensitive organs and tissues were determined by visually comparing sections to an atlas of cross-sectional anatomy published by Cheung and Kawaura. E and ED_T were calculated and recommended by International Commission on Radiological Protection, ICRP 60 and 103. It has good linearity between each TLD. E calculated by ICRP 60 was lower than that of 103. E (mSv) = $-0.0214 X(\text{kg}) + 2.497$ (ICRP 60); E (mSv) = $-0.0204 X(\text{kg}) + 2.662$ (ICRP 103). The 10-kg SDM has the highest E than other phantoms. The ED_{heart} and ED_{breast} were the highest among organs. The minimum ED_T is in the brain. The farther away from the treatment field, the lower ED it was. The distance, 5.4 cm, from tumor center, the ED_T is significantly decreased. The E decreased exponentially in an inverse correlation with increasing phantom weight. These findings were useful and recommended to patients, physicians, radiologists and the public.

Keywords : Effective doses (E), TLD, self-developed mathematic phantom, Rando phantom, VMAT, ICRP 60, ICRP 103

前言

根據行政院衛生福利部 102 年主要癌症死亡率趨勢統計報告，最新十大死因中惡性腫瘤位居第一，而肺癌死亡率逐年攀升。根據世界衛生組織(World Health Organization, WHO)統計，全世界癌症死亡率正快速上升，其中又以肺癌死亡增加率最快，其 2013 年公布的世界十大死因中指出肺癌為全球患者致死主因[行政院衛生福利部, 2015]。對於早期肺癌，手術切除為主要治療方式。然而，當腫瘤位於肺上溝，或接近且危急到正常器官，例如：食道和脊髓，或良性淋巴結的患者，皆需使用到放射治療。此外，當病人器官在可運作的情況下，根據他們的肺功能、心功能、出血傾向或其他原因，包括病人拒絕手術治療及化學治療，放射治療也是一個有益的選擇[Kim et al., 2013]。肺癌是一種長在氣管、支氣管與肺臟的原發上皮性惡性腫瘤。臨床肺癌的治療範圍中，含蓋了許多國際輻射防護委員會 60 及 103 號報告提出之危急器官。近年來，於中山醫學大學附設醫院約 6.8% 的患者選用 VMAT 進行肺癌治療，因此加以探討研究其輻射劑量對於周邊正常組織器官的損害，亦顯重要。

1. 弧形調控放射治療(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)

近年之放射治療領域中，隨著醫療發展的進步，弧形調控放射治療(Volumetric Modulated Arc Therapy, VMAT)日漸普遍。2009 年於歐美等國臨床已開始使用，其結合強度調控放射治療(Intensity modulated radiotherapy, IMRT)及影像導引放射治療技術(Image guided radiotherapy, IGRT)，治療時採取動態弧形方式使劑量能精準集中於腫瘤部位，可大幅減少周邊正常組織放射劑量，並增加腫瘤控制機率，降低正常組織副作用機率。另一方面，它可以執行立體定位放射治療 SRT (Stereotactic radiotherapy)，主要應用於胸腔、腹腔及骨盆腔的腫瘤放射治療，優點是以低分次、高劑量放射線治療腫瘤，來縮短放射治療療程[陳芯鈺, 2013]。而家屬與病患經常會詢問醫師及放射師，這些治療劑量到底有多高，常常令業者無法回答。輻射對病患的潛在危害是依照輻射防護學中「合理抑低」的原則，來降低病患的輻射暴露量，這些劑量實需詳查[ICRP 103, 2007; 5 ICRP 60, 1991]。

因此，評估自行研發假體其全身各器官組織所受等價劑量(Equivalent Dose, ED_T)及全身有效劑量(Effective dose, E)差異，並與國際倫道擬真人假體進行比較，以提供放射科醫師、醫學物理師、放射師臨床劑量之卓參。

放射治療技術在過去的幾十年裡，發展十分顯著。已從早期的鈷六十及 2D 放射治療演進為 3D 放射治療，隨著電腦斷層定位的使用與較快速的 3D 治療計畫軟體問世，而發展出 3D 順形放射治療(Three-dimensional conformal radiotherapy, 3DCRT)及 IMRT。最近也引入電腦斷層治療機(Helical Tomotherapy, TOMO)和 VMAT，可以有效減少正常組織劑量降低副作用，使得治療過程更加舒適，所以也稱作標靶放射治療。在臨床上的應用，最佳效果為位於身體中央，且照射體積大的腫瘤，例如：肺癌、腦瘤、鼻咽癌、頭頸癌、腹骨盆腔大範圍腫瘤或無法開刀的腫瘤等。藉由準確的影像比對及複雜的治療技術，可得到最佳療效，因此可以說是集合

IMRT 及 IGRT 優點於一身的治療技術[Tseng et al., 2015; Kim et al., 2013; 陳芯鈺, 2013]。在這項研究中，我們評估肺癌患者行動態弧形調控放射治療時，照野外正常器官等價劑量及全身有效劑量。

VMAT 為 2008 年初 Elekta 公司利用直線加速器，進行全體積 360 度環繞身體且快速的弧形治療方式，可望減少正常器官組織劑量，且實際治療時間可在 5 分鐘內完成。藉由控制機頭位置、機頭轉速、多葉片準直儀、準直角度和劑量率(Dose rate)，而達到高度順形的劑量分佈，提升對正常組織的保護。另一方面，此技術之呼吸追蹤功能，對於肺癌、肝癌等隨呼吸移動器官之治療具高精準度，達到標靶治療的效果，減少不必要的傷害[陳芯鈺, 2013]。

VMAT 簡稱弧形刀，其 IGRT 技術，能以即時的電腦斷層影像(Cone Beam CT, CBCT)，於治療前透視患者體內的器官，對於器官造成的位移以及擺定造成的些微誤差進行調整，使腫瘤治療更精準，亦能提高腫瘤控制率，降低正常組織併發率。另一方面，VMAT 也採取 IMRT 技術，結合了弧型治療及多葉式準直儀(Multi-leaf Collimator, MLC)，為了於治療時能準確執行放射線照射，使放射線照射於相當數量的圓弧形斷層切面上，進而執行更快速及優越化的 IMRT，這是傳統直線加速器無法辦到的。而弧形刀僅需五分鐘即可完成治療，五分鐘的弧形治療包含了 2 分鐘內完成 CBCT 攝影及 3 分鐘內完成強度調控弧形治療。[陳芯鈺, 2013]

從劑量學的觀點，肺癌病患於一次弧形調控放射治療後，身體所接受之有效劑量，實需加以詳查，尤其，暨日本核電輻射洩漏事件後，病患及家屬輻射防護意識提升，放射線之安全性，已成為患者及家屬，最常與醫師談論的議題，因此應對於病患之劑量進行詳細及嚴謹的探討。劑量測量方面，針對擬肺癌假體進行弧形調控放射治療時，利用 TLD 進行劑量的測量，再經由國際輻射防護委員會所擬定的公式，計算其輻射劑量及危險度。

弧形調控放射治療技術除了可以減少治療時間、降低病人的不適感及降低加速器的輸出，以避免病人暴露過多不必要之散射輻射之外，更重要的是內含之 IMRT 技術，對於不規則形狀之腫瘤，可使劑量曲線更順形，腫瘤包覆性更佳。

中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科所使用的 Elekta Axesse 型直線加速器，其治療計畫系統提供器官構造範本和自動輪廓功能描繪的方式，能自動填入計畫參數，而因患者體重的不同，各器官相對位置亦有差別，因此，患者的體重與各器官所受之劑量息息相關。國際放射防護委員會從專家的角度研究核輻射對人體的傷害，而提出忠告和相關預防措施，以評估輻射對人體的影響及風險。許多研究根據 2007 年發表的 ICRP 103 和 1991 年發表的 ICRP 60，以這兩份最常用的報告其加權因數加以計算，例如：徐仟恩等人的研究以 ICRP 103 之組織加權因數及標稱危險度係數為基礎來計算劑量，所得等價劑量或有效劑量來當作人體全身器官或組織的輻射劑量值並加以比較[徐仟恩, 2011]。而兩份報告的詳細內容與定義，分別說明如下：

2. 吸收劑量(Absorbed dose)

指物質受到輻射照射時，每單位質量之物質(公斤)，所吸收的輻射平均能量(焦耳)，稱為吸收劑量，單位為戈雷(Gy)，定義如式 1。

$$1 \text{ J / kg} = 1 \text{ Gy} \quad (\text{式 1})$$

一般可用各種輻射測量儀器，像是熱發光劑量計、氣泡式偵檢器、玻璃劑量計、游離腔等來量測目標物質的吸收劑量，但物質被輻射照射時，會由於輻射線種類不同，而得到不同程度的反應。對此，國際放射防護委員會制定了輻射加權因數 (Radiation Weighting Factor, W_R)，以提供計算人體劑量時，對於傷害程度上的參酌[ICRP 60, 1991]。

輻射加權因數(W_R)與等價劑量(Equivalent dose)

由於不同種類游離輻射(α 、 β 、 γ)照射人體組織器官，雖然使人體組織有相同吸收劑量，卻會造成不同程度的傷害現象。為此，針對不同種類的輻射訂出輻射加權因數，代表不同輻射對人體組織造成不同程度的生物傷害，進而產生等價劑量(H_T)。其定義為人體組織吸收劑量與輻射加權因數之乘積，即為輻射對組織器官傷害的意義。單位是西弗(Sv)，如式 2。

$$H_T = D_T \times W_R \quad (\text{式 2})$$

D_T 為組織或器官的平均吸收劑量，單位為戈雷(Gy); W_R 為輻射加權因數； H_T 為等價劑量，單位為西弗(Sv) [ICRP 60, 1991]。

組織加權因數(W_T)與有效劑量(Effective dose, E)

當物質受到輻射照射，會因輻射種類及能量的不同，造成不同程度的傷害，而接受同樣之等效劑量，也會由 ICRP 60 及 103 號報告之組織或器官，對於輻射敏感度的差異，使其對身體為害機率不同，表 1 為 ICRP 60 及 103 號報告之組織加權因數及實驗中 TLD 佈點數目。等價劑量乘上組織加權因數，稱為有效劑量，除了考慮到不同種類輻射所造成的傷害，對於人體組織器官輻射生物效應也有一個整體的評估，因此，有效劑量主要用於健康風險評估。其定義如下：

$$E = \sum_T H_T \times W_T \quad (\text{式 3})$$

表 1、國際放射防護委員會報告之組織加權因數及假體 TLD 佈點數

器官	ICRP 60	ICRP 103	TLD 佈點數目
Gonads ^a	0.20	0.08	2
Breast	0.05	0.12	2
Bone marrow	0.12	0.12	7
Stomach	0.12	0.12	2
Colon	0.12	0.12	2
Lung	0.12	0.12	33
Thyroid	0.05	0.04	3
Esophagus	0.05	0.04	6

Liver	0.05	0.04	2
Bladder	0.05	0.04	2
Skin	0.01	0.01	31
Brain	-	0.01	5
Bone surface	0.01	0.01	1
Salivary gland	-	0.01	0
Remainder	0.05	0.12	12
Heart	-	-	5
Pancreas	-	-	2
Spleen	-	-	1
Spinal cord	-	-	2
Kidney	-	-	2
Total	1.00	1.00	110 ^b

^a Testicle for male and ovary for female,
^b including background, total TLDs are 116

材料與方法

為求降低統計上照射和量測/計讀時系統上的誤差，佈點於假體中的袋內都放置 3 顆 TLD，每次實驗都會於 AXESSE 機頭旋轉圓環的左右兩側，再佈植各一袋 TLD，使得分析數據時，能以加權平均的方式減少誤差。以熱發光劑量 (Thermoluminescent dosimeters, TLD-100H) 計量測弧形調控放射治療之劑量，首先確定各器官於假體中的位置，並將 TLD 佈植於假體內，使用之照射條件相仿於臨床肺癌患者弧形調控放射治療計畫，再利用計讀儀將暴露後的 TLD 電量值(nC)計讀出來，並經由校正後得到的直線方程式，將計讀之電量值換算成劑量值(cGy)，最後將其劑量讀值依據 ICRP 的報告加以分析。

1. 熱發光劑量計

熱發光劑量計是一種固態晶體物質，成分為氟化鋰 (lithium fluoride, LiF)，廣泛使用於職業工作者或環境的劑量監測。實驗用TLD-100H為Harshaw公司的產品。氟化鋰之有效原子序(Effective atomic number, Z_{eff})為8.31，與軟組織(Z_{eff} 為7.64)、水(Z_{eff} 為7.3)的有效原子序最為相近，適用於人員輻射劑量之監測及評估[陳芯鈺, 2013]。主要使用Harshaw公司生產的TLD-100H，組成物為氟化鋰(LiF)，加入之活化劑為Mg、Cu、P形成電子陷阱，來捕獲輻射能量所產生的電子，而鋰成分Li-6和Li-7的比重分別為7.5%和92.5%，廣泛使用於職業工作者或環境的劑量監測[陳芯鈺, 2013]。

固體能帶理論(Band theory of solid)為目前最被常用，探討熱發光劑量計中的燐質晶體，熱發光現象的典型模式。當熱發光劑量計受游離輻射照射時，輻射會與晶體發生作用，將晶體內價帶之電子激發至傳導帶，部分電子於激發時被陷阱捕獲，而以介穩態暫存於晶體內，進而形成暫穩態(metastable)。經過適當加熱後，將暫存於介穩態之電子提升到傳導帶，再與電洞復合，同時將先前吸收的輻射能，以可見光的形式釋出。電子於價帶及傳導帶的躍遷，其總放光量與所接受之輻射劑量成正比，以熱發光的輸出量，及光峰於輝光曲線的位置及高度，再加以運算來得知所測量的目標劑量。熱發光劑量計優點為靈敏度高、偵測範圍廣、誤差小、體積小、可塑性高、操作方便、計讀時不易受人為因素影響，且可於回火後重複使用。其缺點為計讀後，熱發光訊號即消失，無法重新計讀複查[陳芯鈺, 2013]。

計讀吸收輻射能的熱發光劑量計時，以加熱盤直接加熱方式進行，將所吸收的輻射能以可見光形式釋出，發光量與加熱溫度的關係稱為劑量計的輝光曲線(Glow curve)，可利用圖 1 之輝光曲線下的面積求得劑量值。

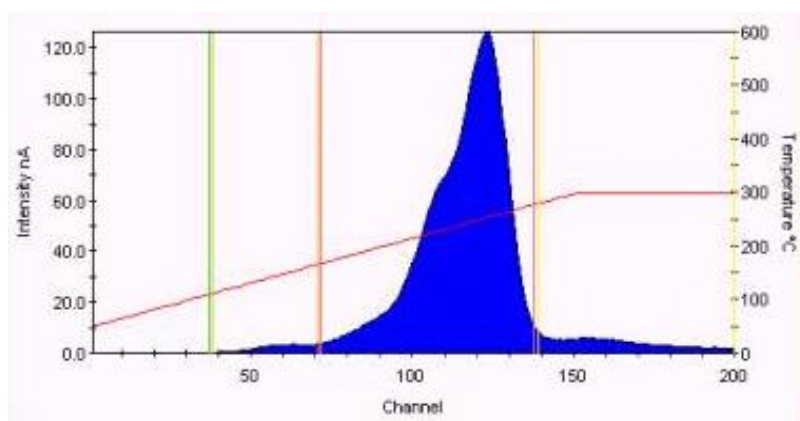


圖 1、TLD-100H 輝光曲線

2. 游離腔

找回歸方程式時，必須將熱發光劑量計進行不同輻射強度的照射，而照射的同時，必須記錄電量計於這次暴露的測量結果，以供實驗進行校正及比較，圖 2(a) 為實驗所使用之電量計，型號為 PTW Freiburg 公司的 UNIDOS® E Universal

Dosemeter，圖 2(b)為筆型游離腔，型號為 PTW Freiburg 公司的 Farmer type chamber，其體積為 0.6 c.c.，能測量光子能量範圍為 30 kV 至 50 MV [陳芯鈺, 2013]。

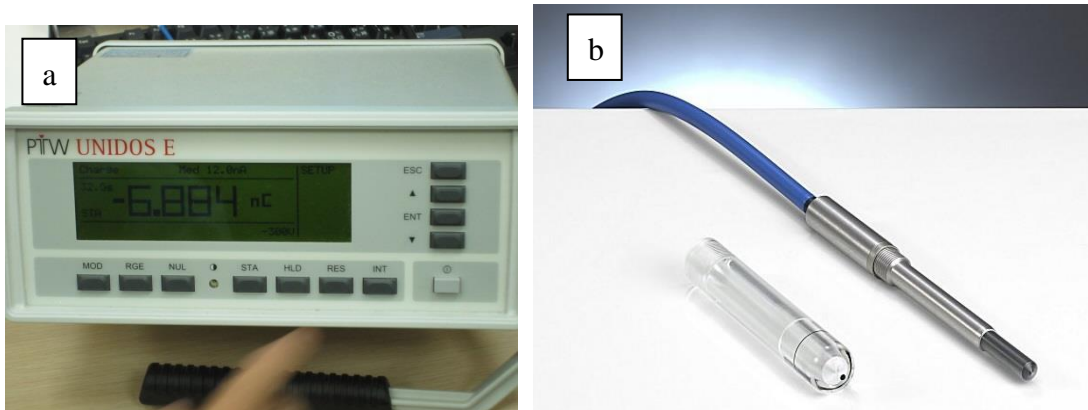


圖 2、(a)電量計，

(b)筆型游離腔

3.熱發光劑量計之準確度篩選

本實驗使用之 TLD-100H 雖然為同一批生產，由於其製作過程中，每一顆所含有的活化劑(Mg、Cu、P)比例與重量並不相同，當其受到相同劑量之輻射照射，對於輻射線的敏感度、再現性等特性參數也會有不同的輸出結果，而造成誤差[陳芯鈺, 2013]。準確度篩選的目的是對 400 顆 TLD-100H 進行篩選，將標準差值過高的 TLD 剔除；另一目的在於得到每顆 TLD-100H 的內部校正因子，進行 TLD 內部正規化，降低因 TLD 而造成之系統誤差。

將 TLD-100H 放置於 Elekta Axesse 型直線加速器，以 6 MV 光子能量給予相同劑量照射，每顆 TLD-100H 獲得電量讀值，再根據 Harshaw 公司 TLD 出產說明，篩選出劑量反應佳且誤差於±8%以內的 TLD-100H，當為劑量量測使用。其餘誤差來自於測量的 6%範圍內到射束外的接近背景值的 20%誤差，而這些有系統的誤差，可能會隨著從劑量計中反應出的能量、劑量的非線性、TLD 本身訊號衰減和 TLD 計讀儀，隨時間改變而發生。我們實驗盡可能將這些有系統的誤差降至 20%，靈敏度定義如式 4[陳芯鈺, 2013]:

$$s_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}} \quad (\text{式 4})$$

其中 s_i 為第 i 顆 TLD-100H 之靈敏度， Q_i 為第 i 顆 TLD-100H 電量讀值(nC)， \bar{Q} 為該次照射之所有 TLD-100H 的電量平均值(nC)，靈敏度 s_i 越接近 1 者表示具有高靈敏度，篩選後，即可被作為劑量量測使用[陳芯鈺, 2013]。

4.熱發光劑量計線性校正

TLD-100H 經過篩選後，為確保整體實驗其靈敏度於一定的範圍內，可被使用

於劑量量測，量測輻射劑量時，輻射激發電子後，電子將被電子陷阱捕獲，而保存於TLD中。圖3為TLD於直線加速器上校正。

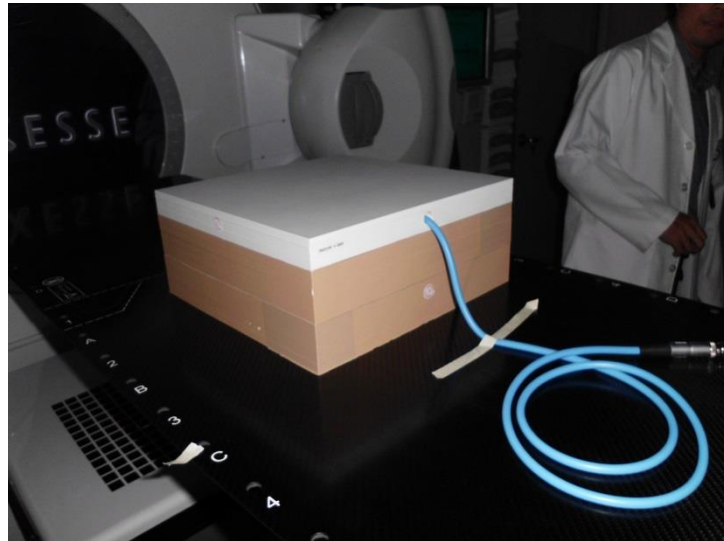


圖3、TLD於直線加速器上校正

我們利用中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科Elekta Axesse型直線加速器6MV X光進行校正射源，將靈敏度之計讀誤差於±8%以內的TLD-100H分成10組，直線加速器輸出監控單位(MU)的設定分別是：1、1.1、1.2、1.5、1.8、2、5、8、10、20、30、50、80、150、200、250、300、400、500、600、700、800、1000等23個條件。照射時每一監控單位皆放置9顆TLD-100H，每三顆一行，共三行3×3排列。照野 $10\times 10\text{ cm}^2$ ，SSD=100 cm。熱發光劑量計放置於1.5公分及5公分厚之美國CIRS公司出產的固態水假體(solid water phantom, $30\times 30\text{ cm}^2$)正中央，圖4(a)為熱發光劑量計之線性校正之擺設示意圖，圖四(b)9顆TLD-100H於 $10\times 10\text{ cm}^2$ 照射盤之擺放位置。

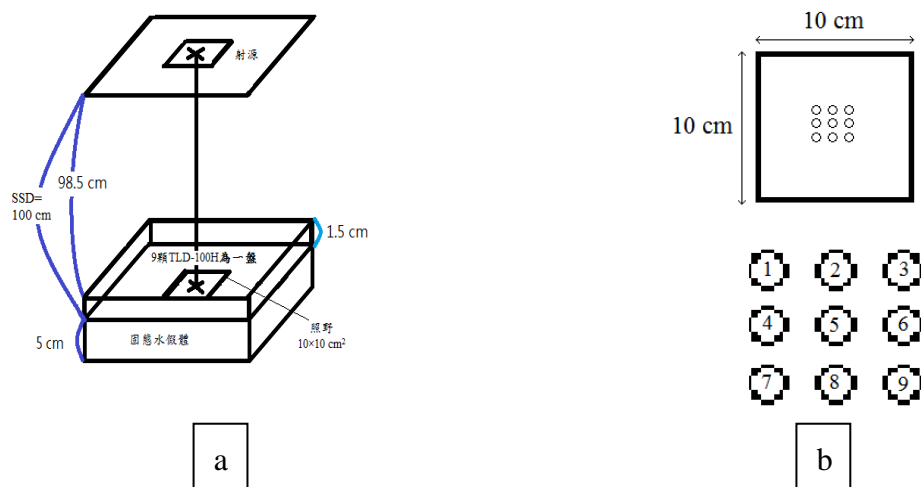


圖4、(a)熱發光劑量計之線性校正之擺設示意圖，(b)9顆TLD-100H於 10×10

cm²照射盤之擺放位置

劑量計讀系統

熱發光劑量計受到輻射暴露後，需待其靜置 24 小時，使受激發的電子穩定儲存於電子能階，再使用計讀系統讀取熱發光訊號[陳芯鈺, 2013]。圖五(a)為實驗所使用的 TLD 計讀儀，圖 5(b)為回火設備，計讀儀為 Harshaw 公司所生產型號 3500 TLD 計讀儀(Bicron NE, Solon, OH)，此計讀儀使用加熱盤直接加熱的方法，使被電子陷阱束縛住的自由電子與電洞獲得足夠的能量而進行再結合，同時將先前吸收的輻射能，以可見光的形式釋出，此時使用 WinREAMS 軟體將每顆 TLD 之可見光量化成電量值，以利分析。回火設備為 Barnstead International 公司生產的 Furnace 47900 型加熱儀，實驗所使用的熱發光劑量計為 TLD-100H，其適合的回火溫度為 240°C，並持續 10 分鐘。

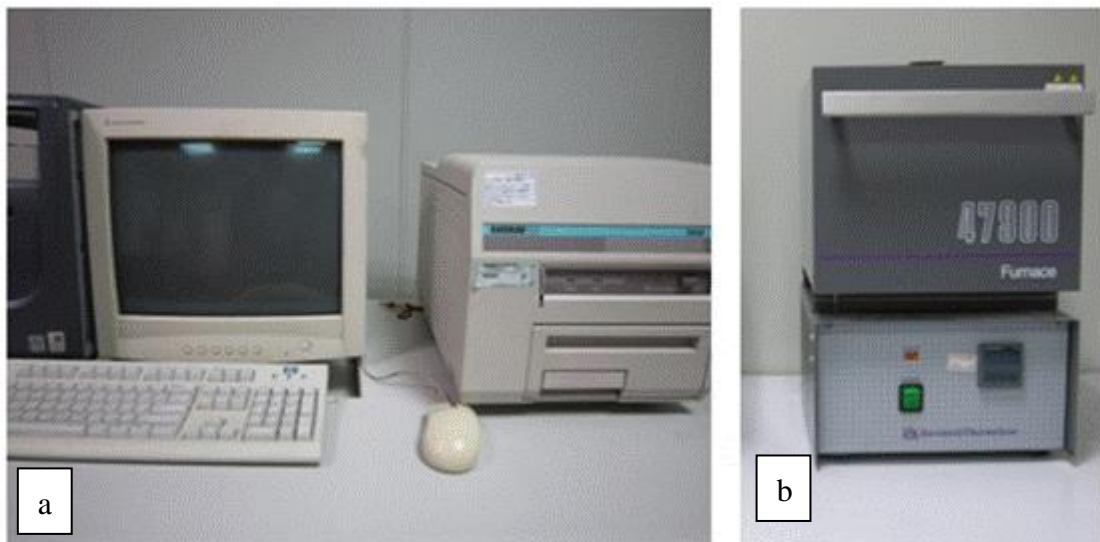


圖 5、(a)Harshaw 3500 TLD 計讀儀，(b)Furnace 47900 回火爐

5. 侖道擬人假體

圖6(a)為175公分、73.5公斤的標準侖道假體(Alderson Radiation Therapy phantom, ART rando phantom)，以真人骨骼作為骨架、橡膠替代軟組織，肺臟則用複合泡沫塑料代替，有效原子序為7.3[Tseng et al., 2015]。圖6(b)為第15切片，假體從頭到骨盆腔共橫切為35片，每片厚度2.5公分，依照不同器官位置和組織結構，每片都有數個小孔洞，可放置熱發光劑量計，量測體內吸收劑量，而每片左右皆設計兩個小圓孔，用來組裝假體，表2為侖道假體及自研假體各部位材料密度。

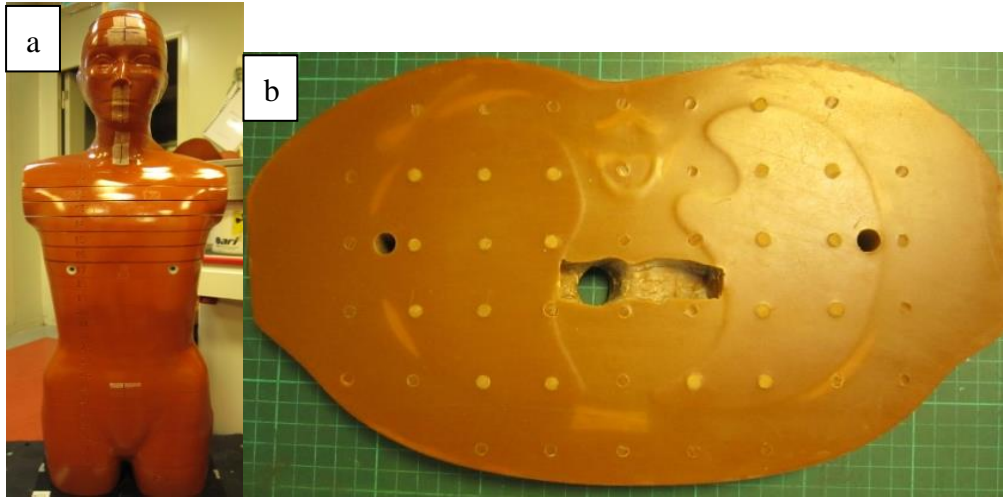


圖 6、(a)175 公分、73.5 公斤的標準男性侖道假體、(b)侖道假體第 15 切片(每個切片於左右皆設計兩個小圓孔，用來組裝假體)

表 2、假體各部位材料密度(g/cm³)

Body Tissues	SDM	Rando
Soft tissue	1.105	0.98
Lung	0.296	0.30
Whole skeleton	1.486	2.70
Skin	1.105	0.98

6. 自研數學假體

由於侖道假體是根據歐美人體型而訂，僅70公斤，並不適合國人體型標準，因此，我們為了模擬體重差異下的患者，自行研發出10、30、50、70及90公斤的自研數學假體（Self-developed mathematic phantom, SDM phantom）。其製作是依據ICRU 48號報告之亞洲成年人身材[Tseng et al., 2015]，及參考GSF Adam數學假體，委託國內專業廠商利用AutoCAD軟體設計，並以三度空間概念，設計而成的擬人形假體，以替代無法在真人器官中放置TLD進行劑量測量之現狀，表六為重量、身高及身體質量指數(Body Mass Index, BMI)值。圖十三、十四為SDM phantom之工程數學圖，主要是以泡棉取代肺臟組織，鋁棒取代骨骼，以PMMA替代其餘軟組織。圖7表示每一層假體中具有精確地孔洞位置，可將TLD置入特定孔洞位置相對應之器官進行量測。假體中每個孔洞間距皆隨體重增加而放大，分別為1.5、2.5、3.0、3.5及4.0公分，而10公斤至90公斤每切片厚度各為1.6、2.3、2.7、3.0以及3.6公分。



圖7、10至90公斤自研假體及倫道假體

實驗方法

1. 熱發光劑量計佈點

為了降低統計、擺位、量測和照射時系統上的誤差，將佈點於假體中的每一袋內都放置三顆熱發光劑量計，一共 116 袋（包含 6 袋背景值），以利分析數據時，能以加權平均的方式減少誤差。

我們參考 ICRP60 及 103 號報告所定義之危急器官，將經過篩選的熱發光劑量計，放置於假體內對應器官的位置，佈植之器官包括：皮膚、腦、甲狀腺、乳腺、食道、心臟、肺臟、胰臟、胃、脾臟、腎臟、肝臟、脊椎、紅骨髓、結腸、膀胱及性腺，所訂定的器官相對位置，主要是參考 Tseng、Cheung 及 Kawaura 等人之文獻[Tseng et al., 2015; Cheung et al., 2007; Kawaura et al., 2006; ICRP 60, 1991]，並經過資深放射師朱欣怡審核假體的器官位置。除了身體內部各個器官之佈點外，於假體各切面之表面，皆放置一袋熱發光劑量計，一共三十一袋，以計算皮膚劑量；將全身佈點分配於重要器官之中，圖 8 顯示各器官之相關位置。治療時，自研數學假體之腫瘤中心點訂定於第 14 切片，倫道假體則是第 15 切片，分別佈植熱發光劑量計。

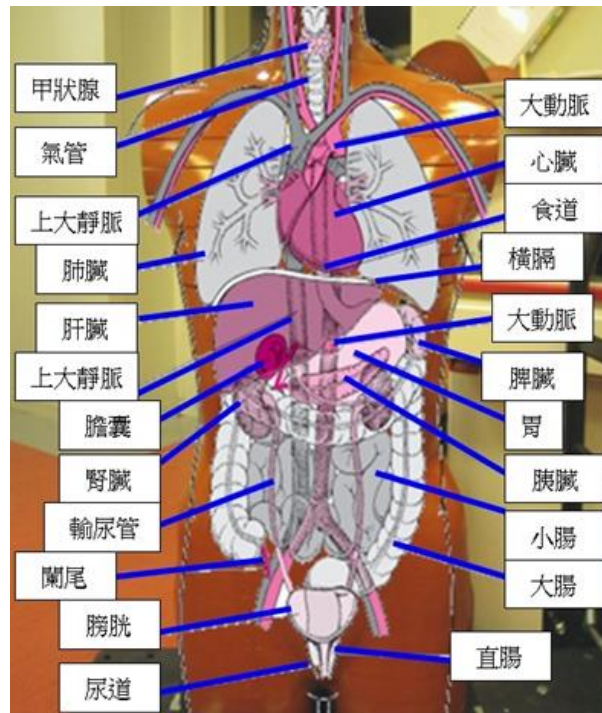


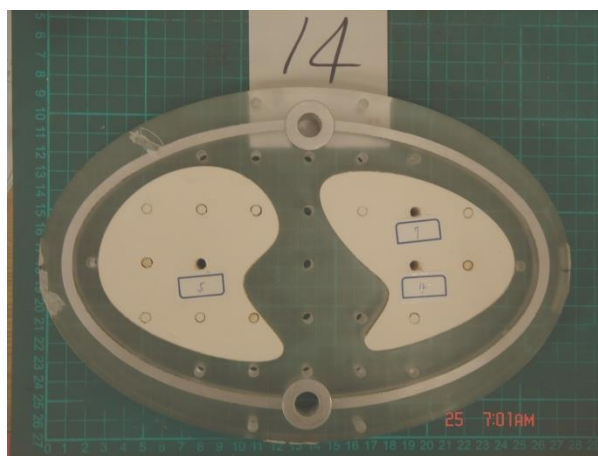
圖 8、器官位置示意圖



圖 9、自研假體當做患者治療照射實況

另一方面，洪于婷等人研究，以卡式座標系(Cartesian 座標系)當為 TLD 的佈點方針[洪于婷, 2013]。卡式座標系也稱直角座標系或笛卡爾座標系，是一種正交座標系。由兩條相互垂直、原點重合的數軸構成二維的直角座標系，每軸都指向一特定方向，通常稱水平擺放之 x 軸為橫軸，其指向右方，豎直擺放之 y 軸為縱軸，其指向上方，兩軸相交稱為原點(標記為 O)。兩軸決定一個平面，稱為 xy 平面，又稱笛卡爾平面。而在平面內，任一點的座標需根據數軸上對應之點座標來決定[洪于婷, 2013]。

實驗將假體切面位於正中央的孔洞設定為原點 $O(0,0)$ ，假體的右方為 x 軸之正向，假體的前方為 y 軸之正向，以一公分為單位，將點座標標示為 $n(x,y)$ ， n 表示假體之第 n 切片。另外，將模擬之肺部腫瘤中心訂定於假體 14 切片及命道假體 15 切片，為得知腫瘤中心及準確之肺部等價劑量，實驗將熱發光劑量計佈植滿腫瘤中心所位於的切片上，各孔洞間距為 3 公分，所以座標 $14(3, 3)$ 代表假體第十四切面上的 N 點座標，而實驗將 $14(-6,0)$ 訂定為腫瘤中心點，表三為 50 公斤各重要器官之點座標。



圖十、50 公斤自研假體第 14 切面座標

表三、50 公斤假體各器官點座標

Organ	Sample point coordinates
Heart	14(3,-6);14(0,-3);14(-6,3);15(3,-3);15(6,-6)
Spleen	17(12,0)
Pancreas	18 (6,3);18(3,3)
Kidney	19(-6,6);19(6,6)
Colon	20(3,3); 20(-3,3)
Thyroid	8(0,3);8(3,3);8(-3,3)
Spinal cord	24(0,6) ;25(0,6)
Bone marrow	5(0,-6) ;6(0,-3) ;9(0,3);21(6,-3);22(0,3);23(0,3)
Bone surface	26(-6,-3)
Breast	27(12,3)
Bladder	14(9,-7.5);14(-9,-7.5)
Brain	29(3,-6);29(-3,-6)
Gonads	2(0,3);3(0,3) ;3(-6,-3) ;3(6,-3) ;4(0,6)

Lung(right)	10(-6,0);11(-6,-3);12(-6,0);12(-6,-3);12(-3,-3); 13(-6,0);13(-9,0);13(-6,-3);14(-6,0);14(-9,0); 14(-3,3);14(-9,3);14(-3,-3);14(-6,-3) ;14(-9,-3) 15(-6,0);15(-9,0);15(-6,3);15(-6,-3) ;15(-9,-3)
Lung(leaf)	10(3,0);11(3,-3);12(6,0);13(3,0);13(9,0);13(6,-3) 14(6,0);14(9,0);14(3,3) ;14(6,3) ;14(6,-3);15(6,0) 15(6,-3)
Liver	16(6, 0);16(9,0)
Stomach	17(6, 0);17(3,0)
Esophagus	10(0,0);11(0,0);12(0,0);13(0,0);14(0,0);15(0,0)

2. 肺部腫瘤體積位置

圖10為50公斤假體的腫瘤為左側5公分，距皮膚4.5公分，深度2.4公分，體積為3×3×3公分，由曾顯群主任/醫師主治醫師擬定治療計畫



圖 10、50 公斤假體的腫瘤位置(由 AXESSE pinnacle 影像)

3. 各假體 3D 影像模擬及實地測量

先以中山醫大進行電腦斷層模擬腫瘤定位(CT simulator)，由第 10 片到第 17 片由 CT 進行精密的定位，指的切面位置對應假體上的部份正確位置，這可以直接於三維空間上定位腫瘤之位置，及當為實際治療位置的再確認工作，以得到最佳治療品質。姿勢為仰臥式，以膠帶固定，減少圓柱假體移動，可當為 AXESSE 的方向修正，定位誤差要小於 2 毫米(6 Tseng et al., 2015; 3 陳芯鈺, 2013)

為了評估國內由 Linac 進行肺部癌症患者治療時的體內各器官之散射吸收劑量，本計畫將先使用侖道擬人形假體，由曾顯群主任/醫師參考臨床實際肺部癌症患者之治療計畫照射條件，利用 TLD-100H 劑量計評估標準體型之病患所接受的體內

器官劑量，AXESSE 加速器由放射師朱欣怡操作。

結果與討論

本研究以擬人假體作為實驗標的，以 TLD-100H 劑量計評估假體內所接受之全身輻射劑量，並進一步比較侖道假體與 PMMA 擬人假體，所評估的劑量結果。TLD-100H 計讀時經過加熱而產生熱發光，經光電倍增管(photomultiplication tube, PMT)轉換成光電子，最後經計讀儀得到電量讀值，圖 11 為每顆 TLD-100H 之電量計讀值及平均值，為得知該輻射劑量與計讀所得電量值關係，得到一校正方程式。

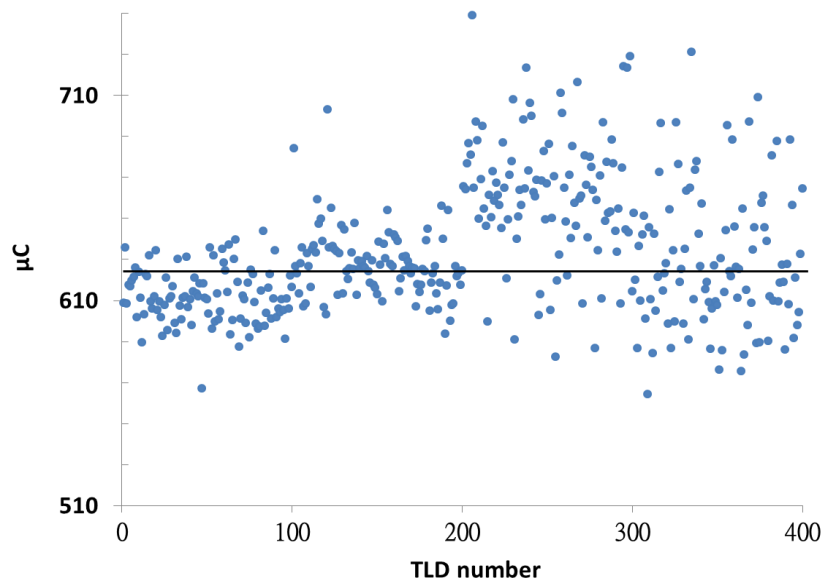


圖 11、每顆 TLD-100H 之電量計讀值及平均值

照射後之 TLD-100H，需待其靜置 24 小時，使受激發的電子穩定儲存於電子能階，才開始進行熱發光訊號的計讀，再以 Excel 軟體計算出其計讀值的平均值和標準差，加以求出圖 12 TLD-100H 計讀值與輻射劑量相對應的校正曲線。其公式如下：

本批次 TLD 的校正線為

$$Y(\text{MU}) = 9.16 \times 10^{-4} \times nC_{(\text{TLD-100H})} + 10.549 \quad (\text{式 } 5)$$

$$R^2 = 0.9985$$

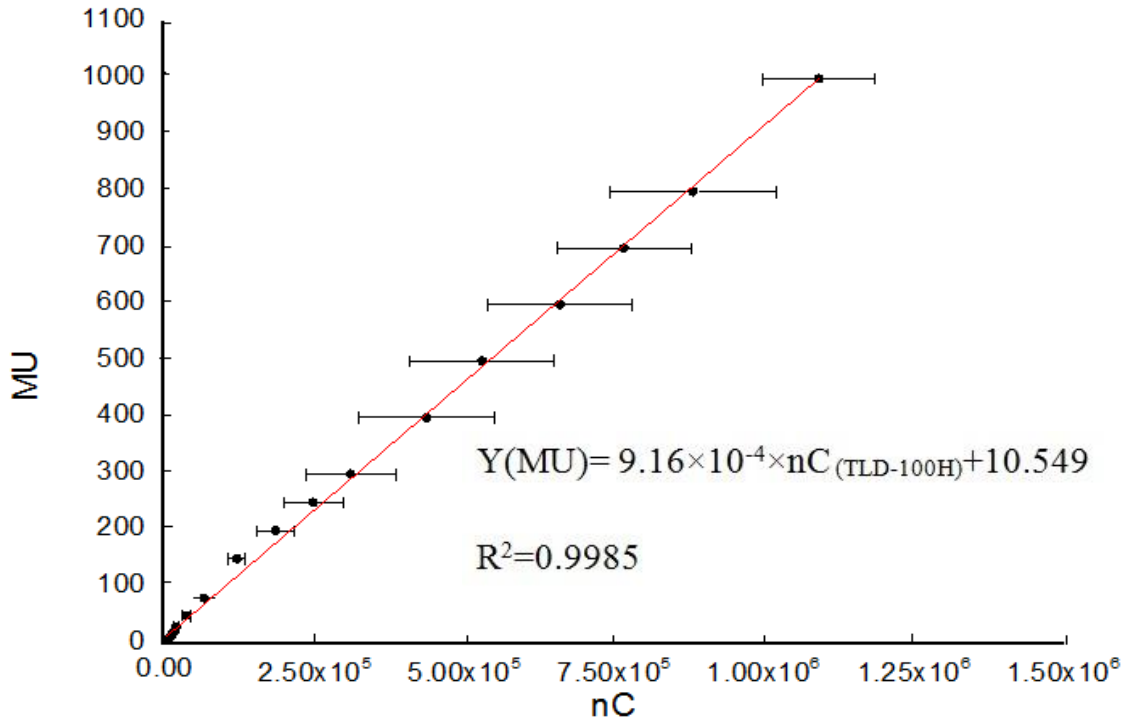


圖 12、中山醫學大學放射腫瘤 Axesse 6MV 對 TLD-100H 之校正曲線

由於男女兩性的差異在於乳房的有無，因此我們比較 50 公斤自研假體男女接受治療時，所受劑量比較。Tzu 等人之文獻，定義乳房位於第二根肋骨至第六根肋骨之間，位於胸大肌和胸筋膜表面，乳頭在第 4 肋或第 5 肋間隙[Tzu et al., 1991]，相較於實驗用自研假體之乳房，位於第 11~15 切片，而腫瘤中心位於第 14 切片，治療位置亦為第 14 切片。圖 13 為自研假體男女兩性危急器官等價劑量，其中女性於乳房劑量高於男性，主要因為女性乳房位置較男性接近直線加速器機頭。

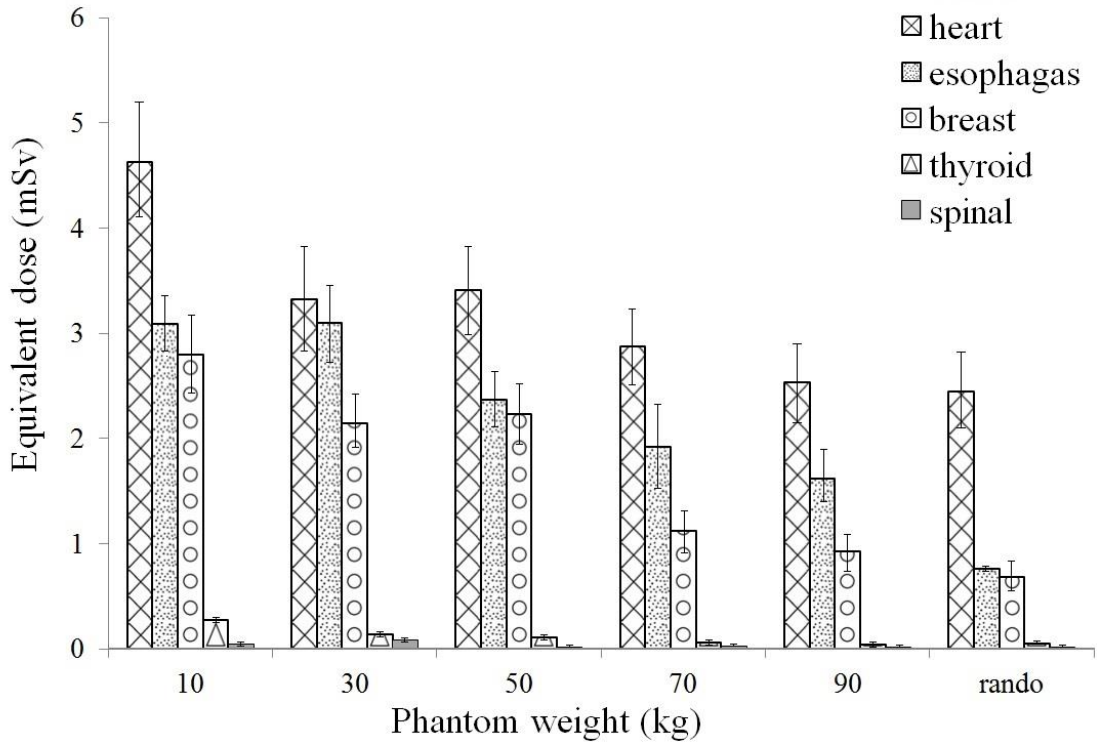


圖 13、10 至 90 公斤及侖道假體之其餘危急器官等價劑量

4. 全身等價劑量與有效劑量

全身有效劑量的部分，根據國際輻射防護委員會建議書所提供的公式及加權因數，計算各假體的全身有效劑量後加以比較[ICRP 103, 2007; ICRP 60, 1991]。

國際輻射防護委員會 60 號及 103 號報告中，其組織加權因數(W_T)經過修改，使計算有效劑量上有所差異。計算後所得到的各假體之全身有效劑量，使用 60 號及 103 號報告之加權因數，其計算出來的每次 VMAT 治療下有效劑量，侖道假體各別為 0.92 ± 0.11 mSv, 1.00 ± 0.07 mSv, 而 50 公斤 SDM 假體為 1.38 ± 0.66 mSv, 1.49 ± 0.55 mSv, 假體於腫瘤中心有最高劑量，離腫瘤中心越遠，則劑量越低。藉由 VMAT 治療肺癌患者，照野外組織器官劑量遠低於病灶區。而照野附近的器官，例如肺臟和乳房，有較高的劑量分佈，50 公斤假體及侖道假體之肺臟和乳房範圍為 3.41 ± 0.46 及 2.23 ± 0.38 。我們也測得的腫瘤中心劑量相較於治療計畫劑量，誤差 -2.59 與 0.75%。計算後 50 公斤假體及侖道假體皮膚劑量為 0.51 ± 0.08 與 0.22 ± 0.04 mSv, 距離與劑量關係部分，距腫瘤約 5.4 公分的地方劑量大幅減少 98.7%，即剩下 1.3% 處方劑量。

5. 其他文獻比較

表 4 為 2011 至今，進行肺癌患者 VMAT 之劑量評估：

5.1 Kim等人於2013年為5例肺癌患者進行IMRT、VMAT和TOMO之治療計畫。在照射期間，於等中心點外20~80公分之不同點，使用玻璃劑量計（radio-photoluminescence glass dosimeter, RPLGD）測得相對應二次散射之周邊劑量，用來估計器官等價劑量。測得距離腫瘤約5公分處，劑量僅剩約1% [Kim et al., 2013]。

5.2 Seppala等人使用polymethyl methacrylate (PMMA, $\rho = 1.18 \text{ g/cm}^3$)壓克力假體，置入兩個模擬肺腫瘤分別為1.5公分及4.0公分，再放入EBT膠片劑量計測量，以OmniPro I'mRT軟體計讀，使用筆射束卷積演算法(pencil beam convolution, PBC)及Anisotropic Analytical Algorithm (AAA) 做分析，比較距離與劑量之間關係，離腫瘤越遠劑量越低 [Seppala et al., 2012]。

5.3 Merrow等人之文獻中，收集14位肺癌患者，以其CT影像進行VMAT治療計畫及3D順行放射治療計畫制定，比較兩者劑量差異，使用RTOG 0813及RTOG 0236 protocol分析器官劑量，RTOG 0813及RTOG 0236所得食道、脊椎、心臟最小劑量為3.36 Gy、3.34 Gy、1.54 Gy 及5.37 Gy、2.77 Gy、2.43 Gy [Merrow et al., 2012]。

5.4 Jiang等人收集12例肺癌患者進行回顧性研究，針對IMRT及單/雙弧弧形調控放射治療（single/partial-arc volumetric modulated arc therapy, SA/PA-VMAT）等不同治療計畫進行器官劑量比較，治療計畫皆採Elekta Beam Modulator (Elekta Oncology Systems, Crawley, UK)執行，使用SPSS (version 13.0, Chicago, USA)進行統計分析，所得VMAT平均肺部劑量7.8 Gy [Jiang et al., 2011]。

5.5 Zhang等人收集15例，以往使用3D或VMAT SBRT治療的肺癌患者，比較非共面3D計畫、共面VMAT治療計畫、非共面VMAT治療計畫及非共面平坦濾波器VMAT治療計畫之劑量，計算結果平均肺部劑量分別為 497 ± 153 、 458 ± 144 、 459 ± 140 、 449 ± 142 cGy [Zhang et al., 2011]。

本研究在劑量與距離分析中，發現距離腫瘤約5.4公分劑量約剩1.3%，與Kim等人相符合，而Seppala等人也使用PMMA材質的假體，本研究與其劑量與距離分析相符合，顯示離腫瘤越遠，劑量越低。與Kroon、Zhang、Jiang等人相同量測肺部劑量，差異約0.43至1.09倍。劑量計算結果之差異，主要為：

5.6 治療儀器廠牌、直線加速器型號、治療技術及計畫的不同，例如：治療儀器廠牌有Elekta、Varian、Siemens，於屏蔽設計上的些許差異，可能造成劑量計算結果不同。治療技術及計畫有IMRT、TOMO、VMAT計畫，所模擬出的GTV、PTV之劑量及分次方式也會不同。

5.7 假體差異，例如：侖道假體、PMMA假體、固態水假體，材質與密度上的差異、假體形狀及大小差異、各假體切片上之孔洞間距差異。計算方式不同，實驗結果證明TLD-100H經校正篩選後，用於劑量的測量是個實用的方法。

5.8 使用之偵檢儀、劑量計或計讀儀不同，例如：TLD、玻璃劑量計、氣泡劑量計，每一種劑量計有不同的靈敏度及特异性，而造成劑量計算結果不同。

6.危險度

以ICRP103出版物之計算方法：總危險度= E (有效劑量, Sv) $\times 5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ (危害校正標稱危險度係數) [ICRP 103, 2007]，整個肺癌VMAT療程下來，倫道假體全身危險度為1.79%，而50公斤PMMA假體為2.12%。機率效應癌症危險度約為每西弗5%，因此進行VMAT治療，對於二次散射輻射所造成的危險度，屬於安全範圍內。

結論

利用二種假體之擬肺癌病患於 VMAT 治療時，參考 ICRP 60 及 103 所提供之公式及組織加權因數，得 50 公斤自研假體及倫道假體之有效劑量分別為 1.38 ± 0.66 mSv 與 1.49 ± 0.55 mSv，而倫道假體為 0.92 ± 0.11 和 1.00 ± 0.07 mSv，且 ICRP60 號報告計算出之有效劑量低於 103 號報告，因此證明自研假體具有實用價值。藉由 VMAT 治療肺癌患者，照野外組織器官劑量遠低於病灶區。而照野附近的器官，例如肺臟和乳房，有較高的劑量分佈，50 公斤假體及倫道假體之肺臟和乳房範圍為 3.41 ± 0.46 及 2.23 ± 0.38 。我們也測得的腫瘤中心劑量相較於治療計畫劑量，誤差 -2.59 與 0.75% 。距離與劑量關係部分，距腫瘤約 5.4 公分的地方劑量大幅減少 98.7%，即剩下 1.3% 處方劑量，與 Kim 等人文獻相符合，而 Seppala 等人也使用 PMMA 材質的假體，本研究與其劑量與距離分析相符合，顯示離腫瘤越遠，劑量越低。危險度部分，各假體器官危險度最大及最小分別為肺部及骨骼，相對於 ICRP 103 報告中的全人口中機率效應癌症危險度約為每西弗 5%，50 公斤自研假體及倫道假體之全身輻射危險度為 2.12% 及 1.79%，證明進行 VMAT 肺癌治療是安全無虞的。

致謝

特別感謝中山醫學大學附設醫院放射腫瘤科的同仁，在本研究上給予支持與合作，使本研究得以順利完成，行政院科技部 MOST-103-2314-040-003 部分的經費協助，使本實驗得以順利完成，特此誌謝。

參參考文獻

- Cheung T, Cheng Q, Feng D. A practical method for determining organ dose during CT examination. *Appl Radiat Isot* 2007; 65(2): 239-242.
- ICRP-103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Technical Report ICRP-103. International Commission on Radiation Protection, 2007.
- ICRP-60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Technical Report ICRP-60. International Commission on Radiation Protection, 1991.
- ICRU-48. Phantoms and computational models in therapy, diagnosis and protection ICRU-48. Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurement, 1992.
- Jiang X, Li T, Liu Y, Zhou L, Xu Y, Zhou X, Gong Y. Planning analysis for locally advanced lung cancer: dosimetric and efficiency comparisons between intensity-modulated radiotherapy (IMRT), single-arc/partial-arc volumetric modulated arc therapy (SA/PA-VMAT). *Radiat Oncol* 2011; 6:140.
- Kawaura C, Aoyama T, Koyama S, Achiwa M, Mori M. Organ and effective dose evaluation in diagnostic radiology based on in-phantom dose

- measurements with novel photodiode-dosimeters. Rad. Prot. Dosim. 2006; 118 (4): 421-430.
- Kim DW, Chung WK, Shin, D, et al.. Risk of second cancer from scattered radiation of intensity-modulated radiotherapies with lung cancer. Radiat Oncol 2013; 8:47-54.
- Krmar M, Slivka J, Bikit I, Rudic A, Conkic L. Bresstrahlung endpoint energy monitoring by ¹¹⁵In activation detector. Nucl Instr and Meth in Phy Res. A 1998; 416:182-185.
- Merrow CE, Wang IZ, Podgorsak MB. A dosimetric evaluation of VMAT for the treatment of non-small cell lung cancer. J of Appl Clin Med Phy 2013; 14(1): 228-238.
- Seppala J, Suilamo S, Kulmala J, Mali P, Minn H. A dosimetric phantom study of dose accuracy and build-up effects using IMRT and RapidArc in stereotactic irradiation of lung tumours. Radiat Oncol 2012; 7:79.
- Tseng HC, Liu WS, Tsai HH, Chu HY, Lin JB, Chen CY. Radiation Dose for Normal Organs by Helical Tomotherapy for Lung Cancer. Appl Radiat Isot 2015; 102: 35-41.
- Zhang GG, Ku L, Dilling TJ, Stevens CW, Zhang RR, Li W, Feygelman V, Volumetric modulated arc planning for lung stereotactic body radiotherapy using conventional and unflattened photon beams: a dosimetric comparison with 3D technique. Radiat Oncol 2011; 6:152.
- 洪于婷，評估體重差異下的假體在腹部 CT 掃描下的有效劑量於 VMAT 治療計畫下，肺癌患者劑量評估，碩士論文。中山醫學大學生物醫學科學系 2013。
- 徐仟恩，旋弧調控放射治療於鼻咽癌其周邊劑量之評估，碩士論文。高雄醫學大學醫學影像暨放射科學系 2011。
- 陳芯鈺，於 VMAT 治療計畫下，肺癌患者劑量評估，碩士論文。中山醫學大學生物醫學科學系 2014。
- 衛生福利部, 103 年 8 月 18 日公告「102 年全國主要癌症死亡原因」詳文請參
考
<http://health99.hpa.gov.tw/Article/ArticleDetail.aspx?TopIcNo=846&DS=1-life>

科技部 出席國際會議心得報告書

流水號：1040203001

繳交期限：104/05/17

列印日期：09/14/2015

報 告 人	陳健懿	系 所	醫學影像暨放射科學系
會 議 日 期	104/04/12~104/04/17	會 議 地 點	Sheraton Kona Keauhou Bay Hotel. Hawaii USA
會 議 名 稱	中文：第十屆國際放射分析化學方法與應用年會 英文：Tenth International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry (MARC X)		
發 表 論 文 題 目	中文：醫學大學亞瑟刀加速器 VMAT 治療室內環境輻射評估 英文：EVALUATION OF ENVIRONMENTAL RADIATIONS AT AXESSE LINAC OF MEDICAL UNIVERSITY UNDERGOING TREATMENT OF VOLUMETRIC-MODULATED ARC THERAPY (VMAT)		

心 得 報 告

一、參加會議經過

大會於4月12日(星期日)上午 8:00-15:00 進行開幕/報到儀式,4月12日(星期日)下午 15:30 由大會主席 Dr. Stephen LaMont, (Los Alamos National Laboratory) 教授致詞表達歡迎後,再由 Dr. Revay, Zs.教授進行開幕演講,介紹放射化學傳統與新挑戰(Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry: Traditions and New Challenges)。接著的每天都分上午,下午各4個演講廳進行為口頭論文發表(Oral Presentation)。主要包含輻射度量(Measurements and Systems for Radiation Detection in Non-Proliferation and Homeland Security Applications)、環境輻射(Environmental Radioactivity)放射化學品保(Quality Assurance Topics in Radioanalytical Chemistry)、生命科學上的核子方法(Nuclear Methods for the Life Sciences)。本人參加此次會議,並發表“醫學大學 AXESSE 加速器進行 VMAT 治療室環境劑量的輻射評估(EVALUATION OF ENVIRONMENTAL RADIATIONS AT AXESSE LINAC OF MEDICAL UNIVERSITY UNDERGOING TREATMENT OF VOLUMETRIC-MODULATED ARC THERAPY (VMAT)), 詳見手冊第62頁 Log 164。



科技部 出席國際會議心得報告書

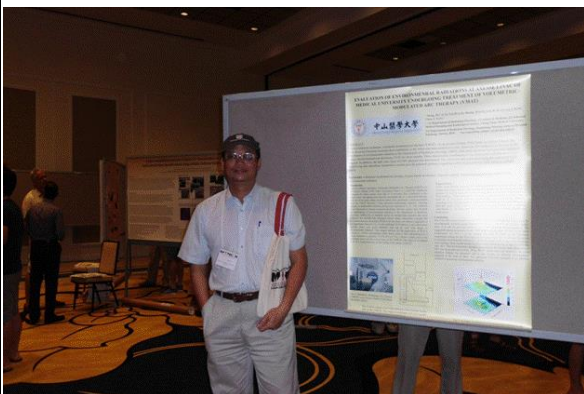
二、與會心得

參加本次會議，得以了解世界各國相關射劑評估技術、各種射應用發展趨勢及環境保護、永續發展。由會議所發表之論文，近因日本福島核事故後所引起的游離輻射恐慌，更需要學者對醫用加速器實驗實做的查訪。



三、建議

此次大會是美國核能協會(American Nuclear Society, ANS) 全球舉辦的 2015 年會，大會中對主題，各項安排，都有長期策劃，並有論文增訂成書。如何教育下一代得知/強調放射化學之輻射度量/游離輻射在技術上的精進/環境保護及能源上永續發展，本人深深體會到需要由醫院內的輻射安全與防護，認知現今游離輻射及輻射安全問題， 這次大會，得到很多，實在是不可得的機會，應該鼓勵，多多參加。



四、攜回資料名稱及內容（附件：與會手冊封面、論文暨海報發表時程等影本）

大會議程手冊(Tenth International Conference on Methods and Applications of Radioanalytical Chemistry April 12-17, 2015 MARC X) 。二、大會海報影本

科技部 出席國際會議心得報告書

報 告 人	陳健懿	系 所	醫學影像暨放射科學系
會 議 日 期	104/08/18~104/08/21	會 議 地 點	中國大陸上海
會 議 名 稱	中文：第四屆生物醫學工程與生物技術國際學術會議 英文：The 4th International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology (ICBEB2015)		
發 表 論 文 題 目	中文：肺癌病人於弧形調控放射治療下線上皮膚劑量評估 英文：In vivo evaluating skin doses for lung cancer patients undergoing VMAT treatment		
心 得 報 告			

一、參加會議經過

大會於8月18日(星期二)上午8:00-17:00進行開幕/報到儀式，8月19日(星期三)早上08:30由Dr. Edward J. Ciaccio (Columbia Univ USA)教授進行開幕演講，題目為”An LMS Algorithm for Characterization of Bio Signal Shape”。接著是Dr. Ng Yin Kwee 題目為 Computer-Aided Diagnosis of Myocardial Infarction Using Ultrasound Images with Second-Order Statistics, DWT and HOS Methods:”。每天都分上午，下午各3個演講廳進行為口頭論文發表(Oral Presentation)。主要包含 Biometric and bio-measurement, Biomedical Image, Ultrasound and Biomedical Signal Processing, Health System, Computers in Medicine and Bioinformatics, Biomechanics and Biomechanical Engineering, Biomaterials. 本人參加此次會議，並口頭發表“肺癌病人於弧形調控放射治療下線上皮膚劑量評估:In vivo evaluating skin doses for lung cancer patients undergoing VMAT treatment，詳見手冊第21頁 CBB1467。



二、與會心得

加本次會議，得以了解世界各國相關生物醫學工程與生物技術、各種生物醫學工程、超聲波與生物醫學信號處理，健康系統、生物信息學，生物力醫學與生物機械工程學，生物材料、特性及其應用發展趨勢。由會議所發表之論文了解，近年來各國的生物醫學工程，生物醫學之發展趨

科技部 出席國際會議心得報告書

勢，另外放射醫學之劑量評估亦是本次會議之重要議題。參加本次會議所獲知之經驗與發展趨勢，對於個人之進行之相關劑量研究與教學工作而言，均有進一步的提升與助益。而在國內進行輻射劑量度量與評估之研究與發展過程中，是不能閉門造車、獨自發展的，須持續與國際研究技術予發展趨勢接軌，與其他國家之專家學者進行交流與合作，才能提升國內之醫用加速器之治療計畫，劑量評估與應用等技術，達國際之水準。此次出國也促進了與中國、美國等經驗豐富的各國專家學者彼此認識與交流的機會，提昇了未來進一步之合作交流。



三、建議

此次大會是生物醫學工程與生物技術協會/全球舉辦的 2015 年會，大會中對主題，各項安排，都有長期策劃，並有論文合訂成書。如何教育下一代得知/強調醫學影像工程，生物醫學工程與生物技術，在技術上的精進/醫用加速器上永續發展，本人深深體會到需要由醫院內的輻射安全與防護，認知現今游離輻射及輻射安全問題，這次大會，得到很多，實在是不可得的機會，應該鼓勵，多多參加。

四、攜回資料名稱及內容

(附件：與會手冊封面、論文暨海報發表時程等影本) ICBEB 會議指南 7.31

科技部補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2015/09/14

科技部補助計畫	計畫名稱: 強度調控弧形放射治療下肺癌患者有效劑量評估
	計畫主持人: 陳健懿
	計畫編號: 103-2314-B-040-003- 學門領域: 放射線及核子醫學
無研發成果推廣資料	

103 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：陳健懿		計畫編號：103-2314-B-040-003-				計畫名稱：強度調控弧形放射治療下肺癌患者有效劑量評估	
成果項目		量化			單位	備註(質化說明： 如數個計畫共同 成果、成果列為 該期刊之封面故 事...等)	
		實際已達成 數(被接受 或已發表)	預期總達成 數(含實際已 達成數)	本計畫實 際貢獻百 分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	Mu-An Chang1, Hsin-Yi Chu3, Hsin-Yu Chen1,2 Hsien-Chun Tseng 1,3,4 and Chien-Yi Chen 1,* ” Evaluating Effective Dose for Rando and 70 kg PMMA phantoms Undergoing VMAT Lung Cancer Treatment” The 47th Annual Meeting of TWSRT and International Conference of Medical Imaging. Chia-Yi, Taiwan, O-RT-03, p. 78, 2014, March 09.
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	2. 有關進行 VMAT 治療室環境輻射分 布發表於 ” SPATIAL DISTRIBUTIONS OF

							ENVIRONMENTAL RADIATIONS AT MEDICAL LINAC UNDERGOING TREATMENT OF VMAT USING TAGUCHI METHOD ” Accepted Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (ISSN 0236-5731, impact factor: 1.034, 15/34= 44.2%, refer to SCI '14 report Cat: Nuclear science and technology)
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
專利		申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
技術移轉		件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
參與計畫人力 (外國籍)		碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)		無					
	成果項目	量化			名稱或內容性質簡述		
科 教 處 計 畫	測驗工具(含質性與量性)	0					
	課程/模組	0					
	電腦及網路系統或工具	0					
	教材	0					
	舉辦之活動/競賽	0					

加 填 項 目	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與（閱聽）人數	0	

科技部補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）