

行政院國家科學委員會補助
大專學生參與專題研究計畫研究成果報告

* *****
* 計 畫
* : 林新醫院核子醫學科之環境輻射背景評估
* 名 稱
* *****

執行計畫學生： 蔡思佳
學生計畫編號： NSC 100-2815-C-040-003-E
研究期間： 100年07月01日至101年02月28日止，計8個月
指導教授： 陳健懿

處理方式： 本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

執行單位： 中山醫學大學醫學影像暨放射科學系

中華民國 101年03月15日

林新醫院核子醫學科之環境輻射背景評估

(一)摘要

本次計畫是利用熱發光劑量計(Thermoluminescent dosimeter, TLD)，進行林新醫院核子醫學科長達一個月的 TLD-100H 佈點/普查，當作環境輻射評估，以做為核子醫學科內工作人員及患者的安全性把關，希望能提出問題解釋與討論，輻射安全的評量與改進{1}。在 TLD-100H 經由計讀儀得到的電荷量，於清華大學 Co-60 校正場，測得各 TLD 均勻性及轉換毫西弗劑量的方程式。將未使用過的 TLD-100H 被照射測量後，取用準確性、靈敏度校正誤差在 5%以內的 TLD-100H，利用二維空間分布，表示經過自我屏蔽設備洩漏的光子輻射。而最後的計讀數據分析用在劑量的演算上，可以經由單尾法的最小可測值判斷{2}。

(二)研究動機與目的

惡性腫瘤可以說是國人的健康殺手，在國內也引進各種醫療精密的儀器來進行病灶檢查與治療，正子放射造影(Positron Emission Tomography, PET)是現今，最先進的醫療診斷器材，而其中林新醫院核子醫學科內所使用的儀器為 PET/CT 與 SPECT。正子是帶正電荷的電子，必須由一種可以放射出正子的同位素藥物經 β^+ 衰變的過程而產生。目前在臨床上最常使用的正子同位素藥物是 ^{18}F -FDG(Fluorodeoxyglucose)去氧葡萄糖，正子同位素是可由迴旋加速器產生。而單光子放射斷層掃描，即是利用會放射單一光子 (photon) 的同位素如： $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{123}I 來標誌放射藥物，最終的影像訊號來源就是光子。在核子醫學科內每天都會有患者或檢查者做斷層掃描，而在掃描的過程中會發生輻射且患者也需要注射放射性藥物，對於核子醫學科內的工作人員本身的輻射安全需加以防護以符合 ALARA 的原則，以此做為實驗的研究動機。

林新醫院核子醫學科內的儀器分別為西門子的 BioGraph16 型 PET/CT 與 Symbia T 型 SPECT。BioGraph16 型 PET/CT(PET+16 切 CT)的最大產生功率為 60kW，管電流為 28~500mA，管電壓為 80kV, 120 kV, 140kV，直覺式的工作程序：CT 斷層攝影，螺旋 CT，PET，全由單一協定取得；適合用在頭頸部淋巴瘤、心血管疾病、腦部疾病、卵巢癌、皮膚癌和腎臟癌治療。Symbia T 型 SPECT 結合單光子射出電腦斷層攝影及高品質的螺旋式電腦斷層攝影，可進行衰減校正和身體結構對位；此系統也可作為一般目的、全身和單光子射出電腦斷層之臨床用單光子射出電腦斷層系統。

由 TLD-100H 在這研究所測得的環境劑量值，經過統計偏差 95%信賴區間 (confidence level) 演算後得到的最小可測值 (minimum detectable limit, MDL)，每個偵測點的輻射值與信賴區間的關連性，以 TLD-100H 方法測量，並以 MDL 的觀念解釋。

本論文以工作人員的輻射安全，當為研究目的。在核子醫學科內進行環境輻射評估，以工作範圍的輻射劑量變化，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，期可當為工作人員的安全，更確實的保護。

(三) 文獻回顧與探討

本計畫進行與文獻都是屬於空間劑量評估{1}，對於中山醫大附設醫院的迴旋加速器與本計畫在林新醫院核子醫學科，同樣都是利用 TLD 檢驗對一個空間做評估，文獻進行校正場的輻射均勻性等特性進行觀察{1}，本計畫則是對核子醫學科周圍進行環境輻射評估，另外得到數值進行統計分析解釋說明{3}。

(四) 材料與方法

利用熱發光劑量計 (TLD-100H) 進行輻射劑量度量，乃由於 TLD 在環測上的方便性是最常被使用。氟化鋰系列之 TLD 包括 TLD-100H、TLD-600 及 TLD-700 三種為加入的活化雜質不同的氟化鋰系列 TLD，具高靈敏度之特性，較適合用來作為低劑量之度量工具。本計畫利用 TLD-100H (LiF:Mg, Cu, P) 進行實驗，在林新醫院核醫科內以 TLD-100H 佈點，計量核醫科內不同地方的輻射劑量。為了精確得知輻射劑量值，100 顆 TLD，0.9 mm×3.2 mm×3.2 mm 進行品質選擇與校正的過程，經由清華大學原科中心同位素組的輻射偵檢校正實驗室，以 Co-60 標準射源作為校正工具。

清華大學 Co-60 照射場，具有兩支 Co-60 射源棒(兩者強度比約為 30)，射源為地下乾式儲存，可以分別以氣體方式升降，具有照射轉盤(如圖 1)，轉盤上刻有等劑量曲線並具有自轉之轉子，經由不同的射源升降及樣品於不同等劑量曲線上的放置，照射樣品可接受 5kGy/h 至 1Gy/h 間的劑量率暴露，而得到精確的照射劑量。

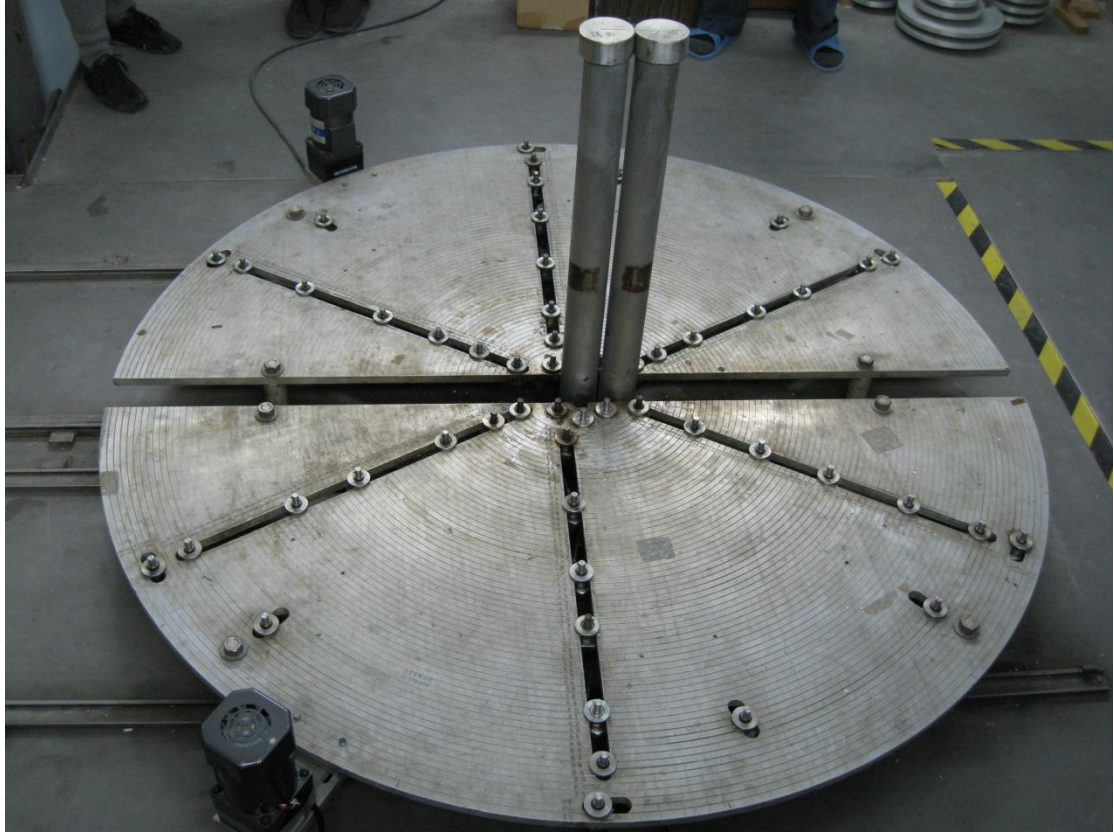


圖 1：照射轉盤

TLD 經過精確度篩選後，可被使用於劑量量測，在量測輻射劑量時，輻射激發墊子後，電子將被電子陷阱捕獲，而保存在 TLD 中。計讀時經過加熱而產生熱發光電子，經光電倍增管轉換成光電子，最後經計讀一得到電量(nC)讀值，為得知該 輻射劑量與計讀所得電量值關係，須有一校正方程式。

校正由清華大學原子科學中心同位素館的 Co-60 標準照射場給予 250 μ Sv、500 μ Sv、750 μ Sv、1mSv、1.25 mSv、2.5 mSv、5 mSv、10 mSv、12.5 mSv、25 mSv 得到，其射源強度在剛置入時(1996 年 7 月)為 1000Ci，現已衰減至 138.5 Ci，經過校正後所得出的方程式為 $Y(\text{劑量, mSv}) = -0.27078 + 0.00357 * X(\text{電量, nC})$ 圖 2 為電量與劑量校正方程式。

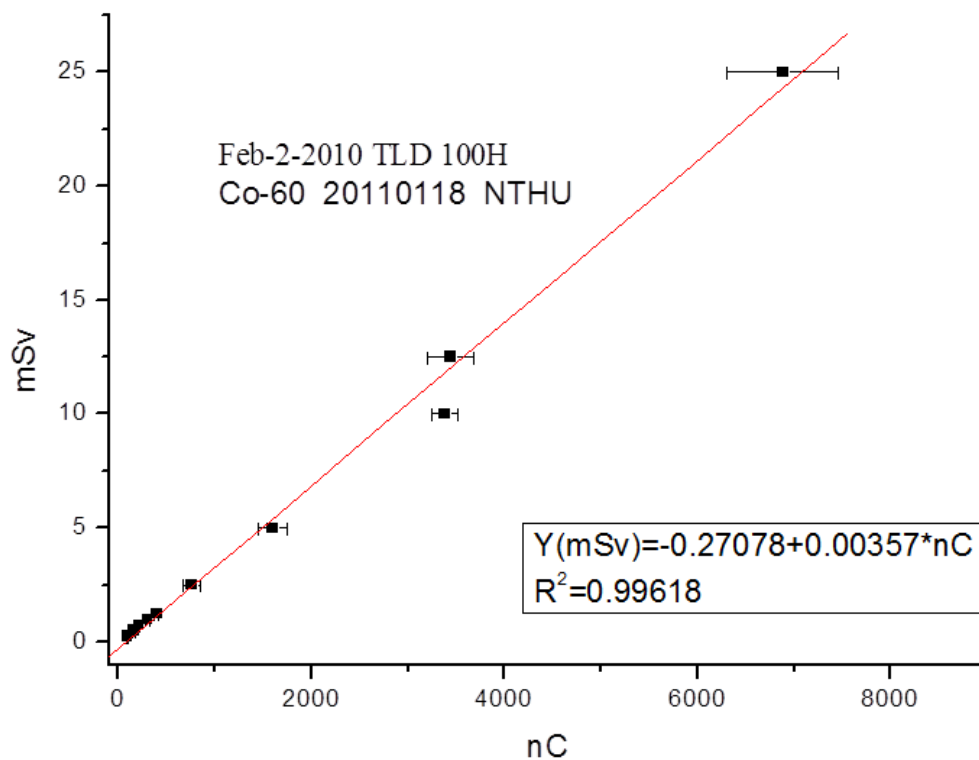


圖 2: 電量(nC)與劑量(mSv)的校正曲線與校正方程式

圖 3 為林新醫院核子醫學科的配置圖，最外圍為土方，土方之外無建築物；造影室(Symbia T)周圍圍 30 公分厚的水泥牆，而在電腦控制室(佈點 34~36)與造影室(Symbia T) (佈點 31~33)之間還隔著 3mm 的鉛屏風；PET/CT 檢查室(佈點 44~47)周圍也是以 30 公分厚的水泥牆作區隔，與控制室間有一 5mm 厚的鉛玻璃，另外此檢查室內還有一 3mm 的鉛屏風；而在攝取室(佈點 19, 20)及注射室(佈點 51~56)的周圍是以 50 公分厚的水泥做阻隔；門診室(佈點 3, 4)與候診區(佈點 1, 2)之間以 3mm 鉛板阻隔，櫃檯(佈點 5, 6)旁的牆壁及候診區與走廊亦是以 3mm 鉛板阻隔；除了以上有敘述的之外，林新醫院核醫科內其餘的牆壁皆以 30 公分厚水泥建成，樓與樓之間的天花板與地面也是以 30 公分厚水泥建成；平均每天會有約 2 位患者做診療，約 10 位檢查者，會在此接觸患者和檢查者的醫生、護士及工作人員共為 6 人。

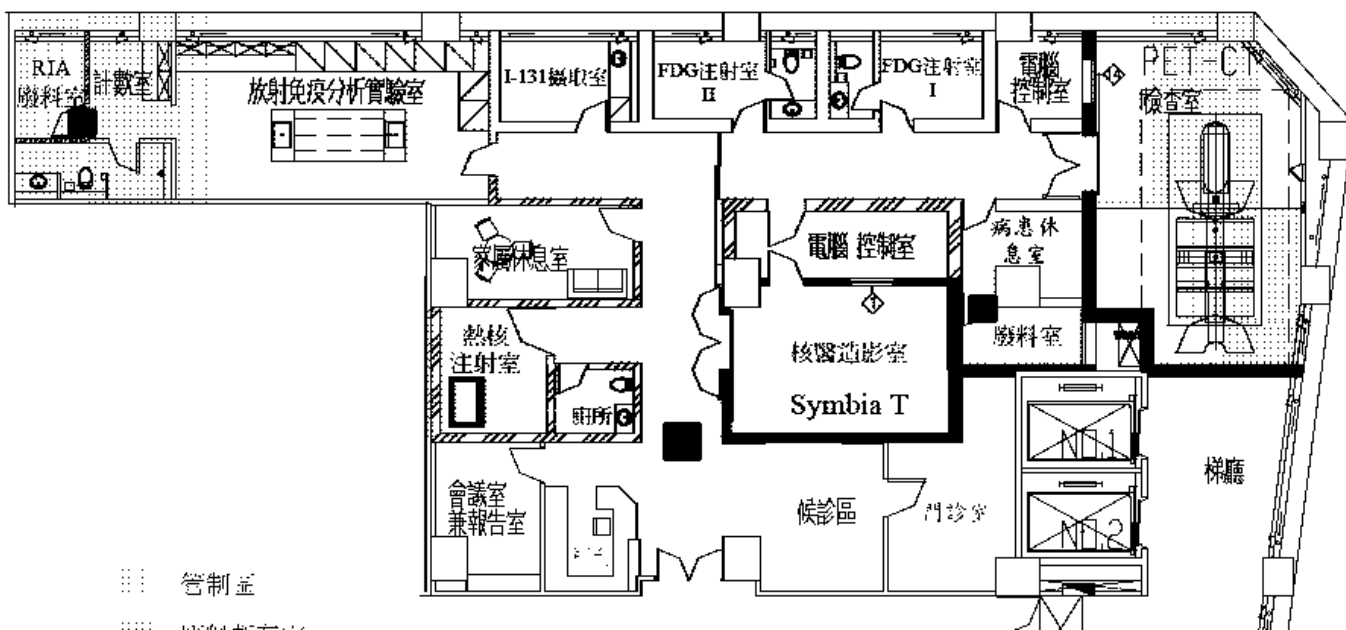


圖 3: 林新醫院核子醫學科作業場所配置圖

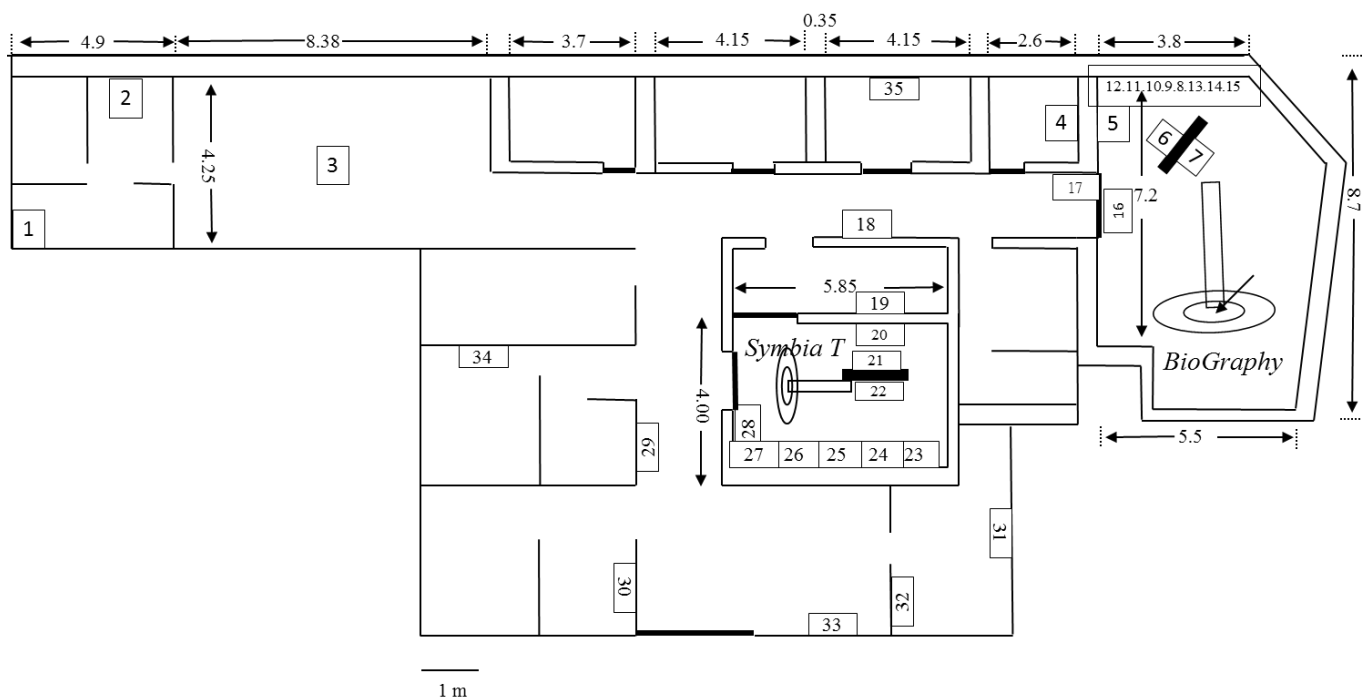


圖 4: 林新醫院核子醫學科作業場所 TLD 佈點配置平面圖

表 1:TLD 佈點處，另外有兩組當台中市背景值

1. 工作人員洗手間(背景)	19. SPECT 控制室 (鉛玻璃)
2. RIA(γ -counter)	20. SPECT 控制室 (鉛玻璃)
3. RIA(操作台)	21. SPECT (鉛屏風後方)
4. PET 控制室 (鉛玻璃)	22. SPECT (鉛屏風前方)
5. PET 控制室 (鉛玻璃)	23. SPECT (牆面)
6. PET (鉛屏風後方)	24. SPECT (牆面)
7. PET (鉛屏風前方)	25. SPECT (牆面)
8. PET (牆面)	26. SPECT (牆面)
9. PET (牆面)	27. SPECT (牆面)
10. PET (牆面)	28. SPECT (牆面)
11. PET (牆面)	29. SPECT 走道
12. PET (牆面)	30. 櫃台
13. PET (牆面)	31. 報告室兼診間(報告區)
14. PET (牆面)	32. 報告室兼診間(白板區)
15. PET (牆面)	33. 病患候診區(座椅區)
16. PET (門上)	34. SPECT 注射室(注射椅牆面)
17. PET (門後. 走道)	35. 注射室二 (病床)
18. PET 走道	36 & 37. 背景值

除了以上佈點，另外增加了林新醫院核子醫學科主任家及組長家的 TLD 測量以做為背景值的參考資料。佈下 37 袋的 TLD-100H(每一袋有兩顆 TLD-100H 當為加權平均用)，時間預計為期一個月。

經過一個月佈點測量後，進行 TLD-100H 計讀，熱發光劑量劑計讀儀(TLD reader)為本系自有高階設備，為美國 HARSHAW 公司出產的 Model3500 TLD 計讀儀(如圖 5)。利用熱電耦極反饋電路控制加熱板加熱 TLD-100H 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 6)，並選取目標區域(region of interest, ROI)，分為 ROI 1、ROI 2、ROI 3 及 ROI 4，為了提高計讀的精確性，本研究選擇以最穩定的 ROI 3 當作主要計讀。此回收的 TLD-100H 要進行迴火的手續，以 Furnace 47900 型(如圖 7)加熱爐加熱 240 度十分鐘藉以消除殘留的背景值。



圖 5: HARSHAW 13500 TLD Reader

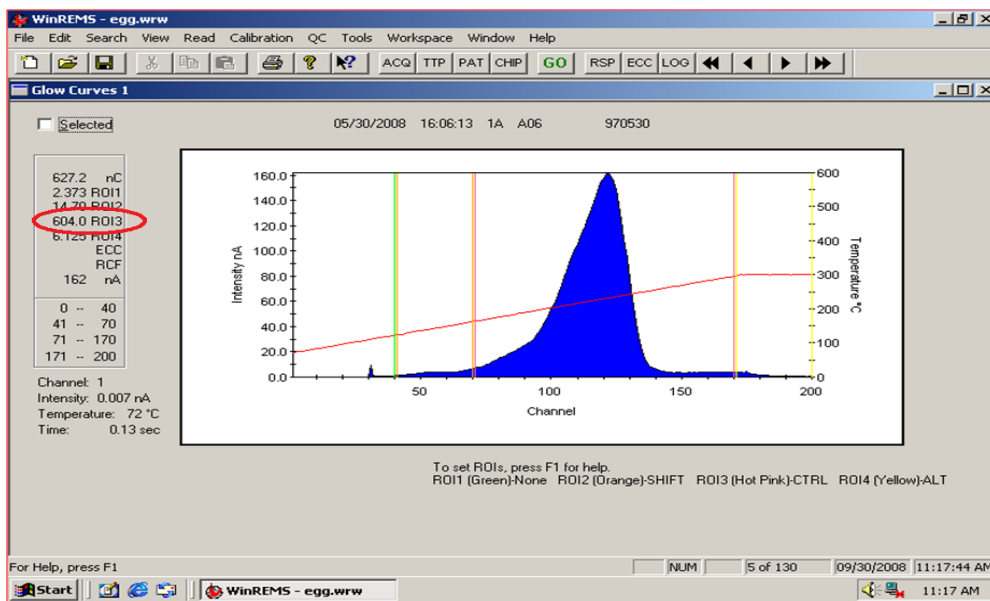


圖 6: WinREMS 系統



圖 7: Thermolyne Furnace 47900

在劑量演算上，得到的計讀數據分析可以經由單尾法之最小可測值判斷，對於在加速器中心各地點得到的 TLD 劑量值以下圖 8 表示最小可偵測的輻射劑量。

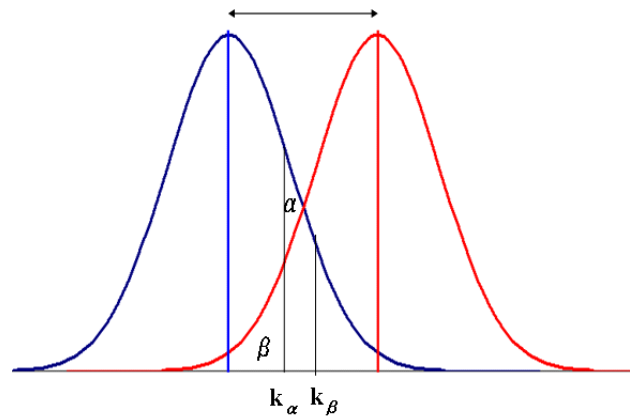


圖 8：最小可偵測的輻射劑量

核子醫學科量測的輻射劑量(每袋兩個 TLD 的平均電量)，如圖 8 中表示由背景輻射(Background, B)之劑量值下，得到一個單尾面積 α ，可以由圖 7 的樣本(Sample, S)下，得到一個單尾面積 β ，在整個數據判斷中，得到 α 值會取得的不同信賴區間，最小可偵測輻射劑量公式，來評估由每 TLD 監測這個月，各佈點的環境輻射與背景輻射在統計偏差上是否有顯著上的不同(significant difference)，如下式：

$$\Delta_{nt} = \sqrt{B} \left(k_{\alpha} + \frac{k_{\beta}^2}{2\sqrt{B}} + k_{\beta} \sqrt{1 + \frac{k_{\alpha}}{\sqrt{B}} + \frac{k_{\beta}^2}{4B}} \right) \dots\dots (1)$$

上式中 Δ_{nt} 表示每一袋佈值 TLD 的淨電量(nC)，此值可由 1 式計算出，其中 k_{α} 表示圖 3 中背景輻射的標準誤差， k_{β} 表示圖 8 中樣本的輻射劑量的標準誤差，並取 95%信賴區。

(五)結果與討論

2011/3/8~2011/4/9 於林新醫院核醫科做 TLD 的佈點後，將 TLD 收回做計讀，經過換算之後，可以發現在 PET/CT 室、注射室，以及等候室皆測量到較高的輻射劑量值，分別為 4.12 ± 0.62 mSv/mo、 1.92 ± 0.29 mSv/mo、 0.62 ± 0.10 mSv/mo；而背景值範圍約在 0.13 ± 0.03 mSv/mo 到 0.16 ± 0.03 mSv/mo，除了上述

三個地方有測量到較明顯的輻射劑量外，核醫科內的其他佈點所測得的輻射值均在背景值的範圍內，包括櫃台、門診室、攝取室、控制室、計數室、走廊，以及放射免疫分析室，測得之輻射值範圍在 0.13 ± 0.02 mSv/mo 到 0.19 ± 0.03 mSv/mo；此外，SPECT 室所測量的輻射值為 0.21 ± 0.03 mSv/mo，亦在背景值範圍(三倍)內。

圖 9：林新醫院核醫科作業場所平面圖

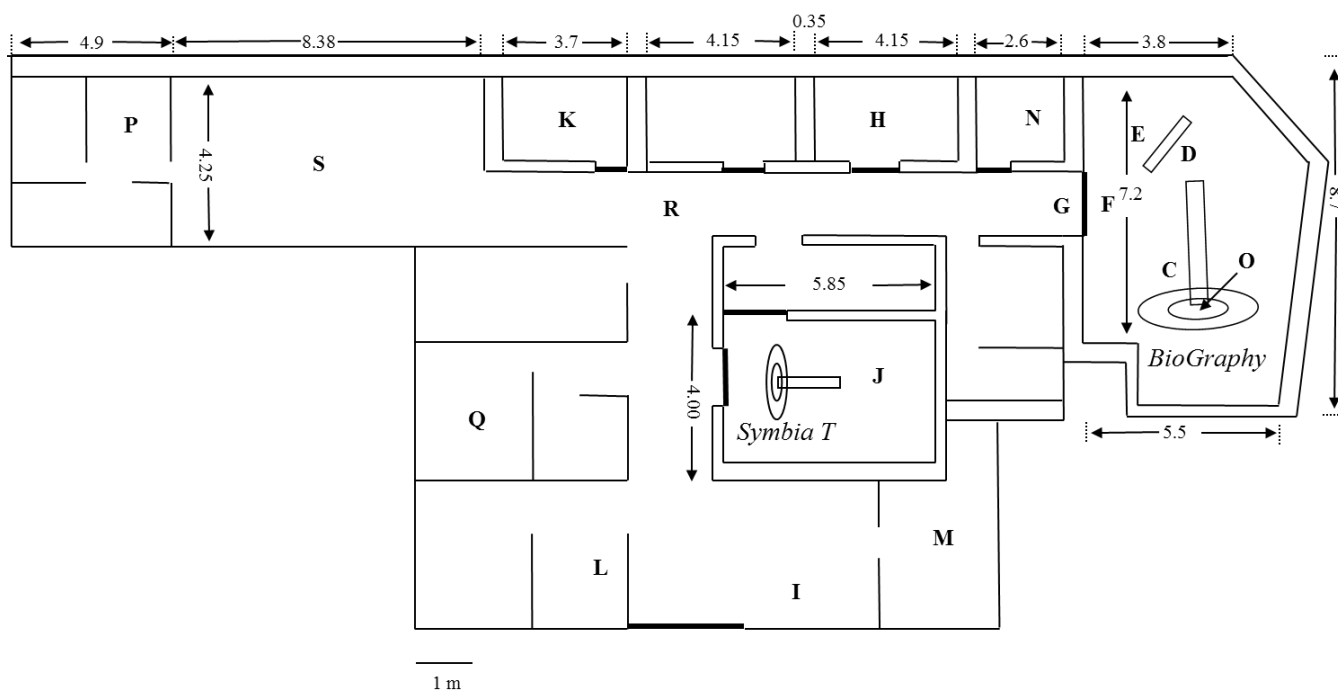


表 2：2011/3/8~2011/4/9 林新醫院核醫科所測得之輻射量

位置	測量之輻射量 (mSv/mo)	位置	測量之輻射量 (mSv/mo)
台中(背景值 A)	0.16 ± 0.03	SPECT 室(J)	0.21 ± 0.03
台中(背景值 B)	0.13 ± 0.03	攝取室(K)	0.19 ± 0.03
PET/CT 室(C)	4.12 ± 0.62	櫃台(L)	0.16 ± 0.04
鉛玻璃前(D)	1.84 ± 0.31	門診室(M)	0.15 ± 0.03
鉛玻璃後(E)	0.46 ± 0.07	控制室(N)	0.15 ± 0.02
PET/CT 室門內(F)	1.70 ± 0.22	計數室(P)	0.14 ± 0.03
PET/CT 室門外(G)	0.16 ± 0.04	注射室(Q)	0.14 ± 0.02
注射室(H)	1.92 ± 0.29	走廊(R)	0.13 ± 0.02
等候室(I)	0.62 ± 0.10	放射免疫分析室(S)	0.13 ± 0.02

由實驗所得之數據結果可得知，在 PET/CT 室測量到最高的輻射劑量值，而在注射室及等候室也測量到較高的輻射劑量值，因此，可以推測出林新核醫科的環境背景輻射主要導因於 PET/CT 在做病人檢查時所產生輻射散逸，與身上帶有放射性藥物的病患。¹⁸F-FDG 藥物在做 PET/CT 掃描時，會產生正子互毀而產生高能輻射，能量為 511keV，有此可得知相關人員或維修人員在 PET/CT 運作時必須非常小心地避免曝露於輻射中。而在 SPECT 室內與其他地方所量到的輻射劑量值範圍在 0.13~0.21mSv/mo，輻射量相對不高，在背景值的範圍內，導因於 ^{99m}Tc-MDP 及其他藥物的低能輻射。

此外，從數據中還得知 PTC/CT 室內的鉛玻璃前所量到的劑量值為 1.84±0.31 mSv/mo，而鉛玻璃後所量到的劑量值為 0.46±0.07mSv/mo，可以看出鉛玻璃擋掉了原來的 3/4 的輻射劑量，顯示鉛玻璃發揮了明顯的阻擋作用。同樣地，從實驗結果也可發現，在 PET/CT 室控制門內量到的劑量值為 1.70±0.22 mSv/mo，而在控制門外為 0.16±0.04 mSv/mo，同樣顯示了控制門發揮了有效的阻擋作用，減少 PET/CT 室外的輻射劑量到與背景值相當。

最後，針對在我們所量到高劑量值的 PET/CT 室與注射室的中央位置，也就是控制室，做一個討論。在控制室量到 0.15±0.02 mSv/mo 的輻射值，假設一位放射師每天在控制室內工作八小時，那可以算出每一年放射師可能會接受到的輻射計量值為 0.15 mSv/mo × 12 mo/yr = 1.8 mSv，此劑量值遠小於 ICRP 60 報告的限定及輻射工作人員職業暴露之劑量限度，顯示控制室的屏蔽對工作人員有相當大的防護。

(六)結論

利用 TLD-100H 為林新醫院核醫科做環境輻射評估，由測量結果發現在 PET/CT 室、注射室，以及等候室劑量值遠高於背景值，其餘地點的輻射劑量值均在背景值範圍內，顯示輻射劑量值導因於 PET/CT 在做病人檢查時所產生輻射散逸，與身上帶有放射性藥物的病患，因此相關人員或維修人員在 PET/CT 運作時必須非常小心地避免曝露於輻射中，而工作人員也應盡量與患者保持一定距離、縮短接觸時間，避免接受到額外的輻射劑量。而為了提出輻射安全問題與改進，也為工作人員、病患及家屬做安全性的把關，因此有必要的定期為工作環境進行評估，以提供最適化的安排，依據合理抑低原則，盡可能降低輻射的暴露至最低，達到輻射安全的效果。

(七) 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，中華放射線技術學雜誌 C J Radiologic Tech 2010;34(2):95-100
2. 朱鐵吉譯，原子、輻射、與輻射防護，台北市民全書局，2000；409-494
3. Chiyo Kawaura, Takanhiko Aoyama, Shuji Koyama. Organ and effective dose evaluation in diagnostic radiology based on in-phantom dose measurements with novel photodiode dosimeters. Radiation Protection Dosimetry. 2006; 118(4):421-430