

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

評估國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式
Evaluation of calibration models for dose calibrator in nuclear
medicine.

計畫編號：NL1070683

受委託機關(構)：國立陽明大學

計畫主持人：許世明

聯絡電話：02-28267971

E-mail address：smhsu@ym.edu.tw

研究期程：中華民國 107 年 6 月至 107 年 12 月

研究經費：新臺幣 56.9 萬元

核研所聯絡人員：王思文

報告日期：107 年 11 月 30 日

目 錄

目 錄.....	I
中文摘要.....	3
英文摘要.....	4
壹、計畫緣起與目的.....	5
一、研究背景.....	5
二、研究目的.....	9
三、研究重要性.....	10
貳、研究方法與過程.....	12
一、資料分析.....	13
(一) 統計報告.....	13
(二) 問卷調查.....	13
二、臨床實測.....	15
(一) 校正射源.....	15
(二) 射源置放附件.....	16
(三) 測試項目.....	17
參、主要發現與結論.....	22
一、資料分析.....	22
(一) 統計報告.....	22
(二) 問卷調查.....	25

二、臨床實測.....	31
(一) 物理檢查.....	32
(二) 背景值.....	32
(三) 準確度.....	32
(四) 精確度.....	35
(五) 幾何偵測試驗.....	37
三、結論.....	41
肆、參考文獻	42

中文摘要

核子醫學近年來隨著精準醫學與個人預防醫學的演進，不論是在設備、核醫藥物及造影技術皆有所發展。核子醫學透過身體的新陳代謝，使細胞攝入核醫藥物後，進行體外攝影，而獲得功能性影像；核子醫學亦可藉由核醫藥物進行放射治療，因此核醫藥物其活度度量的準確性，將影響接受診療者之輻射劑量。本計畫評估調查國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式，調查醫院所使用之核種活度測量情況，及劑量器校驗項目，並執行臨床量測數據之分析比較。

Abstract

Along with the progression of precision medicine and personalized prevention medicine, there has good development on the equipment, drugs and imaging technique in nuclear medicine. Nuclear medicine can have functional image through the cell metabolism after radionuclide drugs admitted to a patient. Radionuclide drugs also can be used in radiotherapy. The accuracy of drug activity measurement will affect the radiation dose exposure in patient. In this study, we evaluated the quality control (QC) of dose calibrator in our country. We will check out the activity measurement performance and the QC testing of the calibrator in clinical condition. The experiment will recruit several dose calibrator models in the hospitals, and compare the QC testing results to the reference model in standard laboratory. This study will improve the advancing standards for radiation safety in diagnostic and therapeutic nuclear medicine.

壹、計畫緣起與目的

一、研究背景

近年來隨著精準醫學(precision medicine)與個人預防醫學(personalized medicine)的演進，功能性影像所扮演之角色重要性更趨於顯著。核子醫學(nuclear medicine)藉由標記放射性核種之核醫藥物進入人體，經過細胞攝取等代謝作用，沉積於目標器官中。再藉由體外攝影機，偵測藥物核種所放出之輻射能，經電腦計算轉換成體內分布之功能性影像(functional imaging)。現有核醫技術依照藥物類型，可分為單光子電腦斷層(single photon emission computer tomography, SPECT)與正子斷層造影(positron emission tomography, PET)。

近年來因診斷參考層級(diagnostic reference level, DRL)的概念，對於醫療檢查的輻射曝露量，需建立參數監測、及流程標準化之必要性[1]。病人在執行核醫檢查後，仍有放射性藥物留存在體內代謝，致使其接收剩餘之衰變輻射，造成個人劑量的累積。因此注射藥物之放射核種活性多寡，將影響病人輻射劑量，及造影之影像品質[2]。核子醫學在藥品配置前的總放射活性須加以分配管制，而活性的量，是由劑量校正儀(dose

calibrator)所測定的值決定[3]。劑量校正儀屬於井型游離腔(well-type chamber)(如圖 1.)，以高壓填充氬氣和微量鹵素於圓筒狀密封腔室中，並具有兩個同軸圓柱體電極，用以產生操作電壓差，待測核種所釋放之輻射與腔內氣體作用，收集產生之離子對電流訊號，進而轉換成活度顯示(圖 2.)。即使是相同活性之相異核種，因其輻射和能量的形式的特定性，會導致不同的游離量產生。因此會透過同位素選擇器(isotopes selector)，調整劑量校正儀內部之可變電阻，補償相對應核種產生的電流差異，使相同活性核種能獲得相同讀數。對於一般常用之放射性核種，操作介面會附以按鍵式直接做設定，其他核種需經由連續設定程序，來決定其校正因素之調整[4]。



© Capintec Inc.

圖 1. 劑量校正儀。

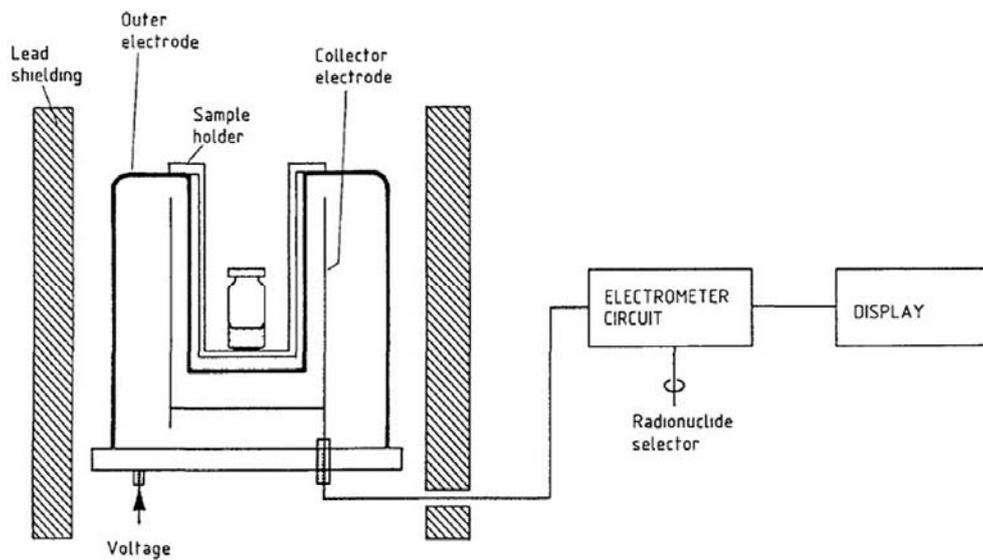


圖 2. 劑量校正儀原理概要圖[4]。

劑量校正儀是核子醫學臨床單位必備儀器之一，透過該儀器的準確量測，可得知核醫檢查其所注射之藥物活性。劑量校正儀，必須執行定期性的品質控管(quality control, QC)，以確認藥物活性計讀能否持續維持其可信度。常規 QC 檢查項目與建議執行頻率，如表 1.所示[5]。物理檢查(physical inspection)以目視方式確認整個劑量校正儀，與週邊配件系統的安全性。精確度(precision)及準確度(accuracy)需以標準射源的活性測量讀數來確定。直線性(linearity)是指在一個較大的活性範圍內能夠準確測量，可透過射源衰變法或遮蔽法進行。背景值(background)是對校正器在低能量核種模式下，量測機器周圍

之背景輻射反應。穩定性(reproducibility)以專用之長半衰期射源進行測試。幾何性(geometry)是檢測臨床使用的幾何條件與原廠校正幾何條件的關係[4]。

表 1. 常規 QC 檢查項目與執行頻率建議。

Test	Frequency in routing testing			
	Acceptance	Reference	Daily	Annually
Physical inspection	✓		✓	✓
Precision	✓	✓		✓
Accuracy	✓	✓		✓
Linearity	✓	✓		✓
Background	✓		✓	✓
Reproducibility	✓		✓	✓
Geometry	✓	✓		✓

國內由全國認證基金會(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)規劃之劑量校正儀測試項目，僅使用長半衰期參考射源(Co-57、Ba-133、Cs-137)進行劑量校正儀的穩定性評估測試。然核醫學學會所建議之相關 QC 項目程序書，實際情況可能是

各醫療單位依照自行規定的頻率執行，且在藥物量測方面，尚忽略了藥物的擺放位置、藥物樣本容器形狀(圖 3.)、大小等人為操作一致性確認[6]。關於劑量校正儀 QC 情況調查之研究發表中提出[7,8]，可透過問卷統計或實地訪查的型式，對當地機構之劑量校正儀進行 QC 調查記錄。

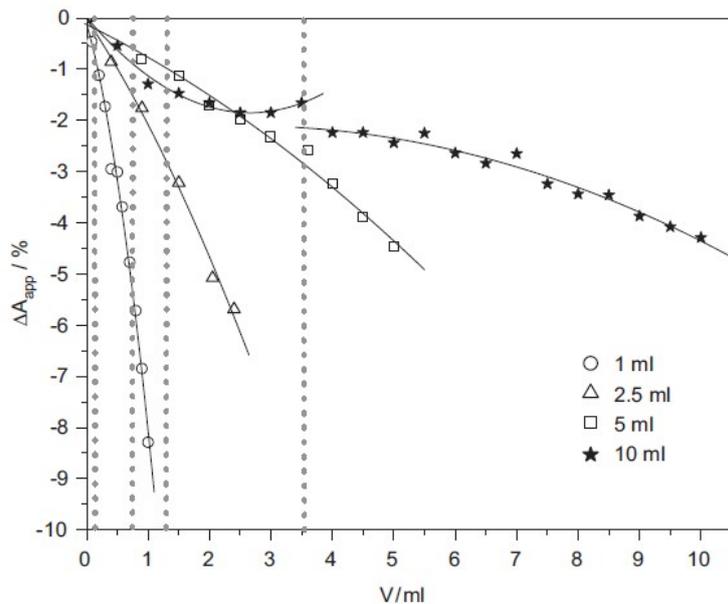


圖 3. 不同容量之藥物針筒，其活性量測值對應容積增加的變化呈現[6]。

二、研究目的

因 ICRP 103 號報告將醫療輻射曝露納入考量，核醫藥物後續在人體內所造成之輻射劑量效應，其重要性亦逐漸獲得更

多的關注。核醫醫療輻射劑量的模擬(medical internal radiation dose, MIRD)需要藥物核種之活性，作為初始參數計算。該數值是透過劑量校正儀的測量獲得，故儀器本身的正確性亦是核醫劑量控管的重要環節。然國內現況對於核醫藥物活度品保作業的執行，並無相對應的規範措施，致使在量測結果之不確定度，會依存於人為操作等因素，而有增加的可能性。

因此，本計畫之目的是將各醫療院所之劑量校正儀，透過問卷形式，調查其品保項目與執行狀況等資料，評估醫院核子醫學活度測量模式，及其校正器校驗項目之執行情況調查。再藉由計畫設計之統制規格輔助器件，以標準射源進行測量臨床醫院之校驗項目。

三、研究重要性

本計畫除問卷得到機器廠牌型號等基本資訊紀錄外，將規劃常規檢驗項目，進行醫院量測。針對藥物初始活性測量方面，各醫療院所皆能透過統一性的操作過程確定之，進而有效管理臨床核醫診斷的藥物劑量品質，減低病人對非必要輻射之攝取。

本計畫將會以國家標準實驗室之劑量校正儀模型，建立射源讀值參考標準。進行射源活度測量時，在操作上依照各機器型號，搭配對應之統制規格輔助器件，可排除射源樣本位置上的不準確性。另外附加規劃各型號校正儀之間，其射源在儀器空間內幾何放置的偵測效率比較，以協助後續制定全國適用的品報作業程序，並推廣診斷參考劑量的規範。

貳、研究方法與過程

本計畫評估調查國內核子醫學劑量校正儀之校驗模式，調查醫院所使用之核種活度測量情況，及校正儀校驗項目。研究成果將可協助相關單位、進行核醫醫學之輻防劑量評估，與建立輻安管制標準，進而提升國內核醫醫學相關診療之醫療品質與輻射安全。

本計畫透過發放問卷形式，對國內相關醫療院所之劑量校正儀，調查其品保項目與執行狀況等資料，進行統計彙整。再依照計畫選定之校正器型號，設計對應其空間尺寸之樣本乘載輔助器件。亦於國家游離輻射標準實驗室，進行校正儀射源活度量測，並以其測量結果，作為之後臨床量測時，所需對照的標準參考值。訪查內容包含標準射源之物理檢查、背景值、精確度、準確度測試，及標準射源於校正器腔內位置之幾何偵測效率實驗。最終將前述結果紀錄整理，分析各地區品保項目實施頻率、操作狀況，以及校正儀對於偵測位置點改變所造成的活度值偏差。

一、資料分析

(一) 統計報告

針對各家醫院或其他單位持有最新劑量校正儀之資料，統計以下項目個數：

- 醫院地區分布。
- 儀器廠牌及型號。
- 校正射源種類。

(二) 問卷調查

發送調查問卷至國內各醫療機構之核醫部門，問卷內容包含兩部分：劑量校正儀設備資料，與劑量校正儀品保測試現況資料(如表 2.及表 3.)。

表 2. 調查問卷第一部分：劑量校正儀設備資料。

Dose Calibrator Data Sheet	
醫療單位	
設備類別	活度校正儀
廠牌	
型號	
序號	
使用狀況	
裝設日期(例:20140520)	

表 3. 調查問卷第二部分：劑量校正儀器保測試現況資料。

A. 物理檢查						
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

B. 穩定度						
使用之測試射源						
量測holder的使用	是			否		
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

C. 背景值						
使用之測試射源						
量測holder的使用	是			否		
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

D. 準確度						
使用之測試射源						
量測holder的使用	是			否		
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

F. 線性度						
使用之測試射源						
測試方式	衰變法			屏蔽法 (with Calibration kit)		
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

G. 幾何偵測效率						
使用之測試射源						
執行頻率	每日	每月	每年	剛裝機時	送修後	沒有執行
(備註欄)						

二、臨床實測

(一) 校正射源

臨床測試所使用到的射源資料如下：

- 放射性鈷-57 (Co-57) ，半衰期 271.26 天，主釋放能量 122.06 keV，射源幾何為圓盤型(圖 4.a)。
- 放射性鋇-133 (Ba-133) ，半衰期 10.51 年，主釋放能量 355.95 keV，射源幾何分別為圓盤型與試瓶膠體型(圖 4.b)兩類。
- 放射性銫-137 (Cs-137)，半衰期 30.08 年，主釋放能量 661.65 keV，射源幾何為圓盤型。



圖 4. 射源幾何型態。(a)圓盤型、(b)試瓶膠體型。

(二) 射源置放附件

本計畫自製之射源盛放附件，如圖 5.所示。材質為壓克力(PMMA)所製作，射源位於底部置放盤，頂部告於校正器井口；調整高度方式是以外加支架擺放於井口，支架分別以 1 cm 及 5 cm 個別製作(圖 6.)，調整支架分配，即可將支架移動至其他高度位置點。

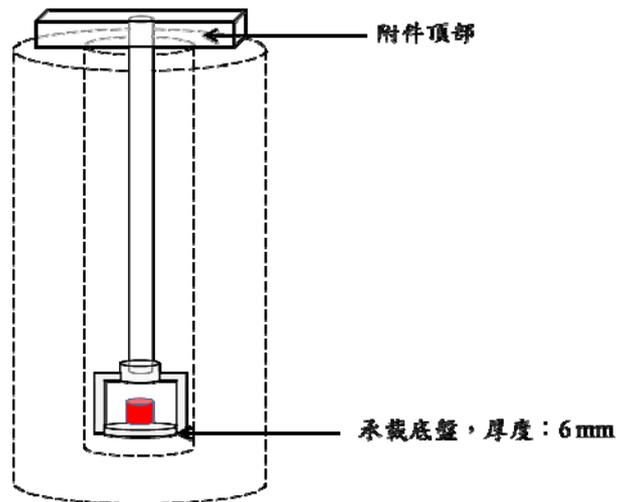


圖 5. 射源盛放附件結構設計圖。

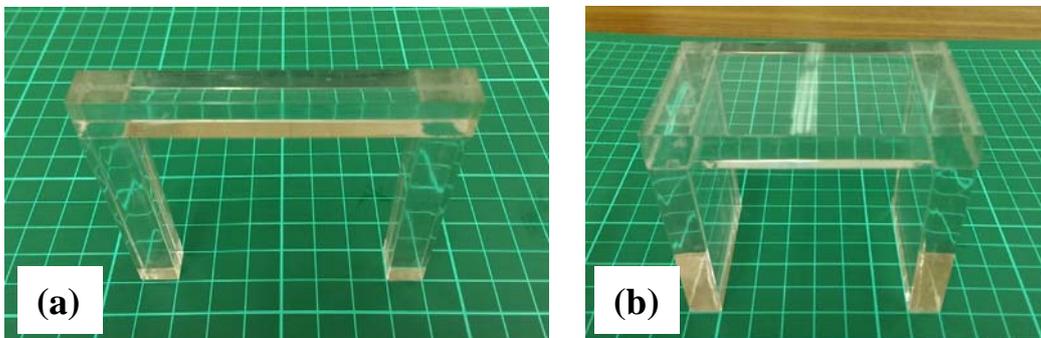


圖 6. 外加支架；(a)1 cm，(b)5 cm。

各醫院之校正器型號各有所異，於附件製作前會先以調查結果，對應該儀器內部的空間規格，決定附件支架的長度，並以最大效率偵測點作為射源量測初始固定位置。

(三) 測試項目

1. 物理檢查(Physical inspection)，以目視方式確認整個劑量校正儀系統的安全性。內容包含：
 - 劑量校正儀本體。
 - 儀表面版、按鍵燈號、數字顯示等所有指示燈功能。
 - 測試電腦連線功能。
 - 效能判定準則：各項檢查功能都正常。
2. 背景值(Background)，記錄劑量校正儀在無射源情況下之背景值是否穩定。
 - 移去劑量校正儀附近可能影響背景之射源。
 - 記錄無放置任何射源情況下，常用臨床核種(Tc-99m, Ga-67, I-131, Tl-201)測量按鍵檔位之計測值。各射源條件皆量測5次，計算其變異度。
 - 效能判定準則：背景值的變異度不超過 $\pm 5\%$ 。

3. 精確度(Precision)，檢視儀器讀數的精密度。

➤ 將儀器依據標準射源(Co-57、Ba-133、Cs-137)之核種設定適當的量測條件重複量測其淨讀值 10 次 (A_i)，並計算此次量測之平均值(\bar{A})。

➤ 效能判定準則：

$$Precision = \frac{(A_i - \bar{A})}{\bar{A}} \times 100\% \leq 5\%$$

4. 準確度(Accuracy)，檢視儀器讀數的準確度。

➤ 將儀器依據標準射源(Co-57、Ba-133、Cs-137)之核種設定適當的量測條件重複量測其淨讀值 10 次 (A_c)，並計算此次量測之平均值(\bar{A})。

➤ 效能判定準則：

$$Accuracy = \frac{(\bar{A} - A_c)}{A_c} \times 100\% \leq 10\%$$

5. 射源幾何偵測試驗，探討射源在校正器內擺放位置的改變，對於計讀值的影響。

➤ 上下方向：將 Ba-133 試瓶型標準射源置於腔內底部，量測其活度值(圖 7.)。之後逐步外加附件支架的位置(每一間隔為 1 cm)，分別量測校正器底部至最大效率偵測點，及該點至井口與各觀察點之活度值(圖 8.)。

- 左右方向：於最大效率點放置 Ba-133 射源在盛放盤中央，隨後分別向左右移動射源中心(每一間隔為 0.5 cm，見圖 9.)，量測各點之活度值變化(圖 10.)。
- 每一量測點皆重複 5 次計讀結果，計算平均值與標準差。並以射源位置為 X 軸，活度量測值為 Y 軸，作對應關係分布圖。

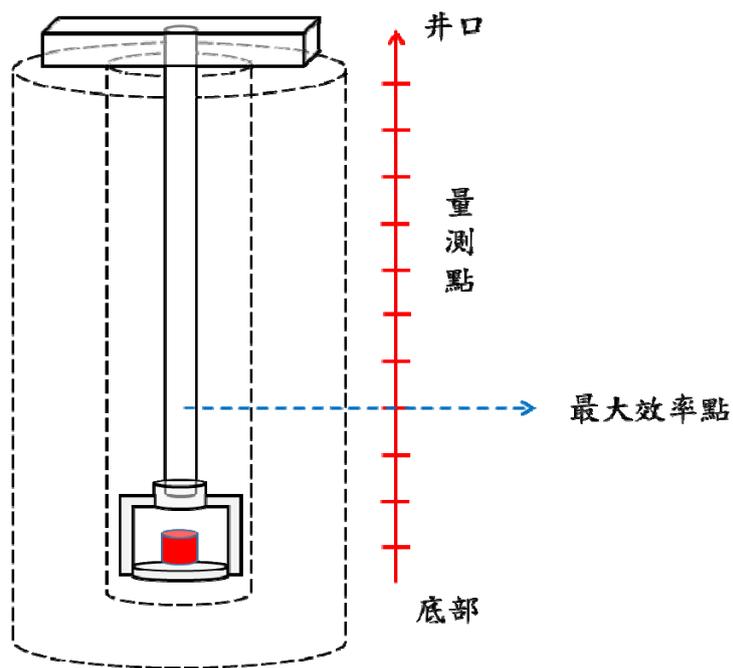


圖 7. 幾何偵測測試之量測點示意圖(上下方向)。

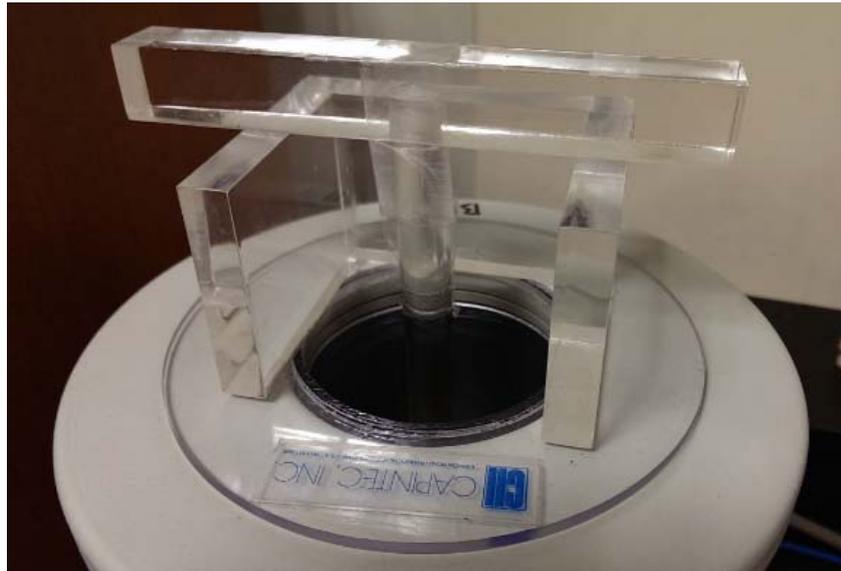


圖 8. 外加支架高度調整示範(5 cm)。

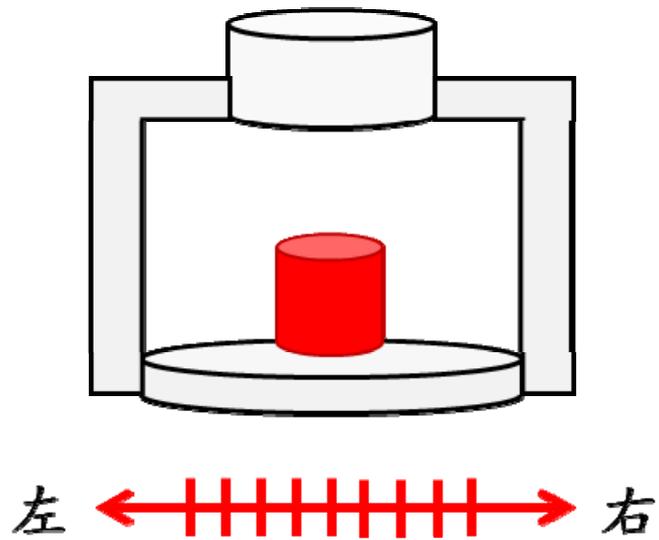


圖 9. 幾何偵測測試之量測點示意圖(左右方向)。

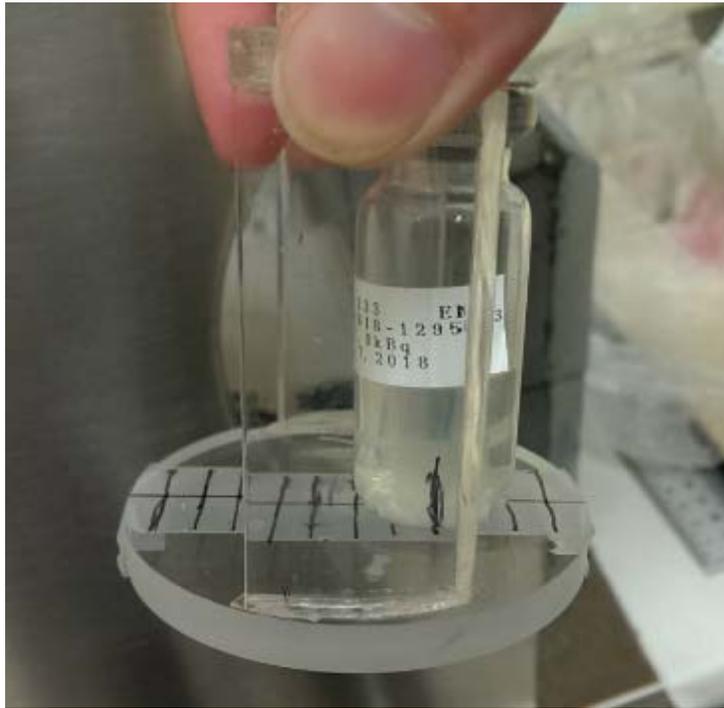


圖 10. 左右方向中心調整示範(± 1 cm)。

由醫院獲得的量測數據，會與參考標準之校正器量測結果進行比較，包含設施間及相異型號分類組別，計算差異性並統計分析。

以國家游離輻射標準實驗室之劑量校正儀進行標準射源參考量測之建立。再以標準射源執行劑量校正儀物理檢查、背景值、精確度、準確度及射源幾何偵測之測試內容，分別紀錄各項目之實驗結果。

參、主要發現與結論

一、資料分析

(一) 統計報告

本研究已分析我國近年之劑量校正儀之統計報告，共計 153 台儀器。圖 11.為地區分布統計，以北部地區為最多。圖 12.為製造廠牌占有數，主要使用廠牌為 Capintec 及 BIODEX 為代表。圖 13.、圖 14.分別為前述兩廠牌之型號個數統計。圖 15.為年度校驗所用射源種類與數量，大多數之儀器以標準之 Co-57、Ba-133 及 Cs-137 作使用。

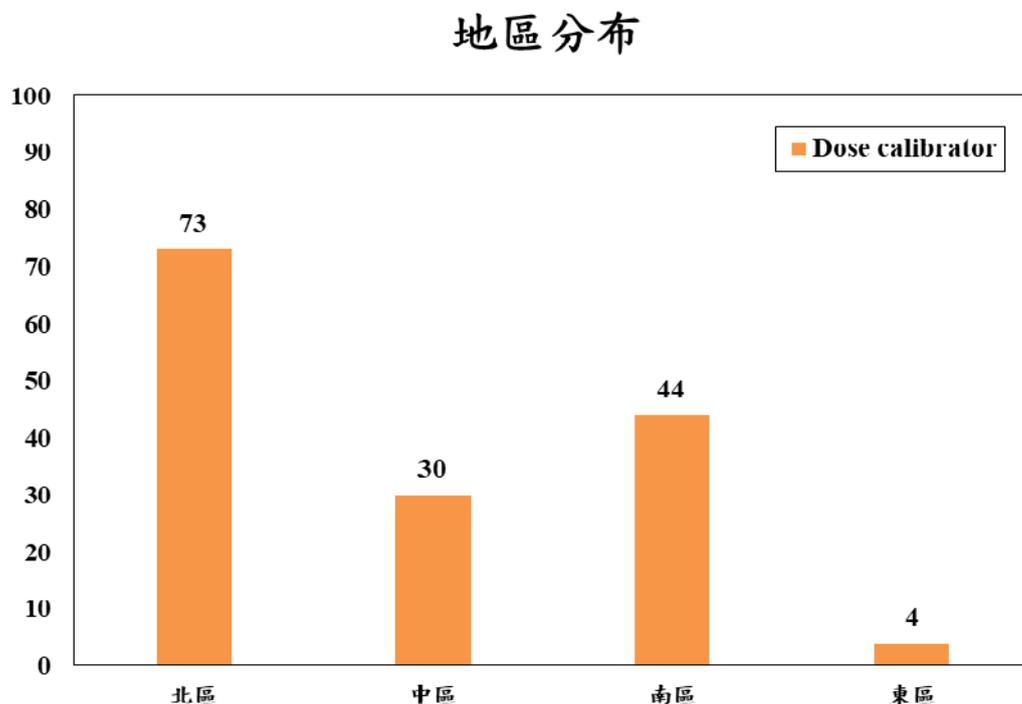


圖 11. 劑量校正儀地區分布統計 (單位：台)。

機器廠牌

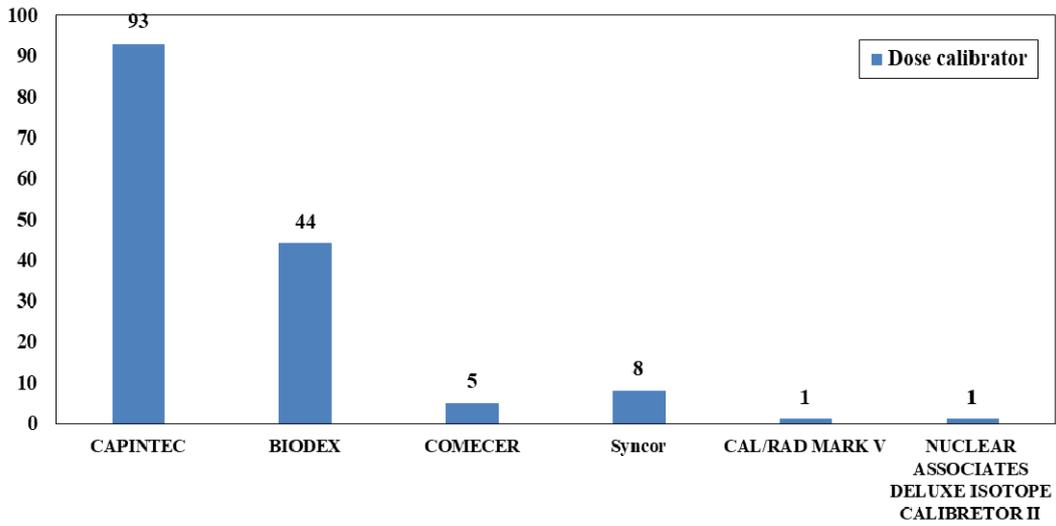


圖 12. 劑量校正儀之各製造廠牌占有數(單位：台)。

Capintec

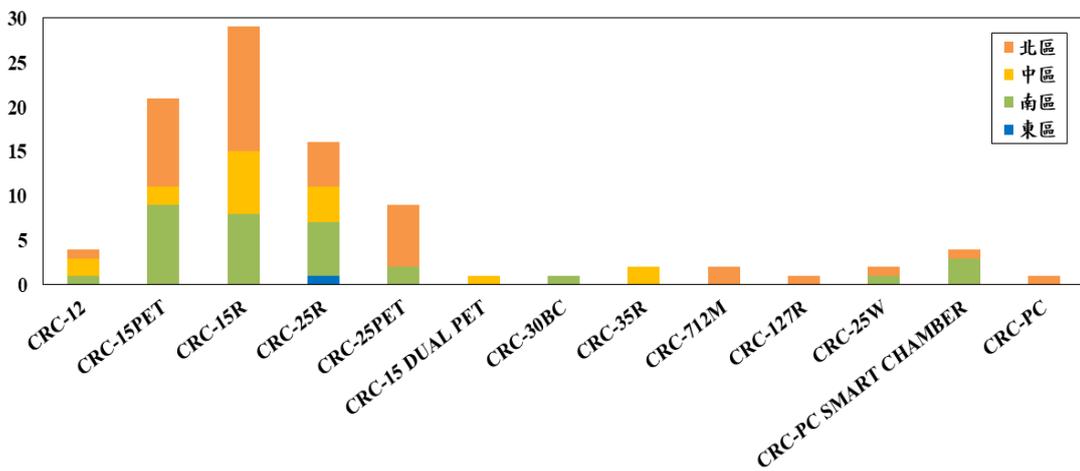


圖 13. Capintec 廠牌之型號個數統計(單位：台)。

BIODEX

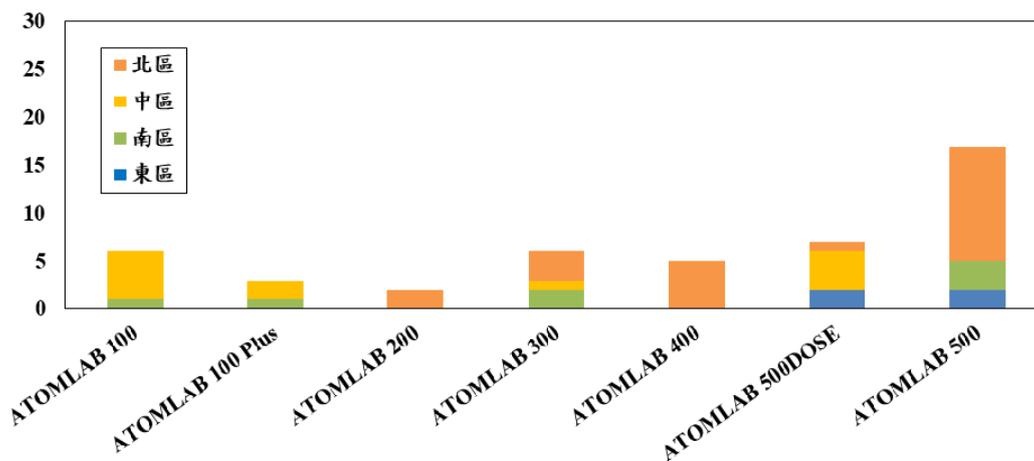


圖 14. BIODEX 廠牌之型號個數統計(單位：台)。

校正射源

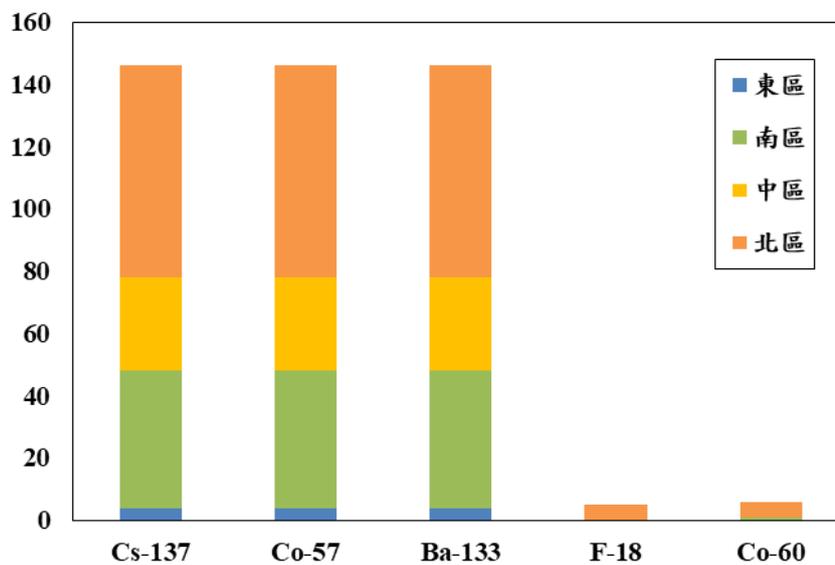


圖 15. 各劑量校正儀使用之校正射源種類(單位：台)。

(二) 問卷調查

本次發放 64 間醫療單位，回收問卷 18 間，共 36 台機器資料。圖 16.為問卷回收單位與機器之地區統計，以北部地區占多數；圖 17.、圖 18.為各廠牌型號占有數，以 Capintec 最多，其次是 BIODEX 及其他廠牌。

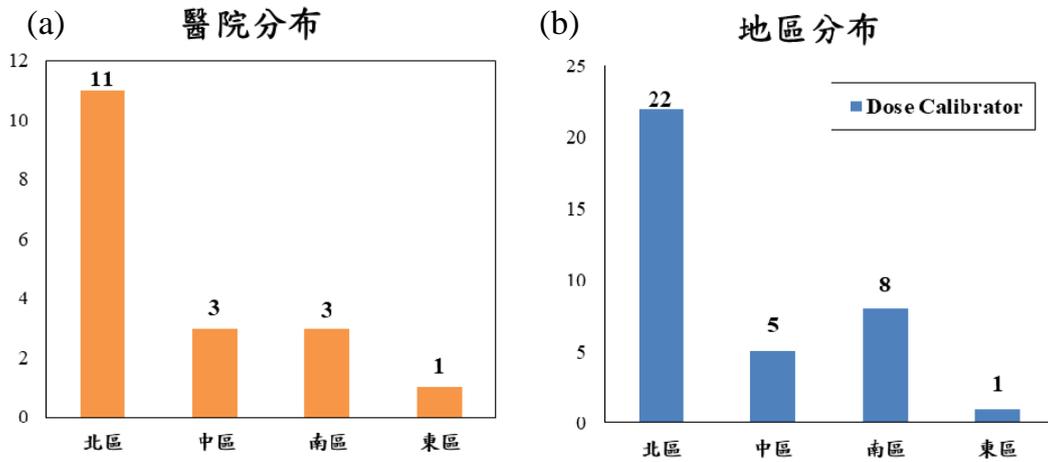


圖 16. (a)問卷回收之醫院，與(b)機器地區分布統計。

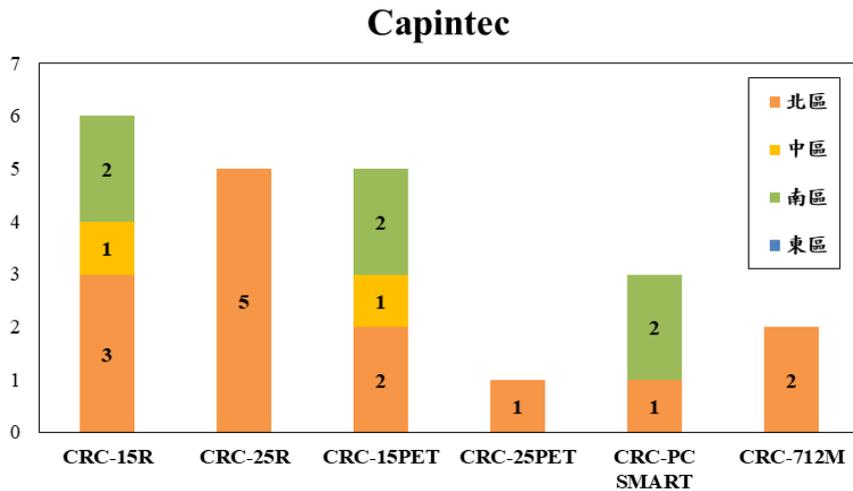


圖 17. Capintec 廠牌之型號數量(單位：台)。

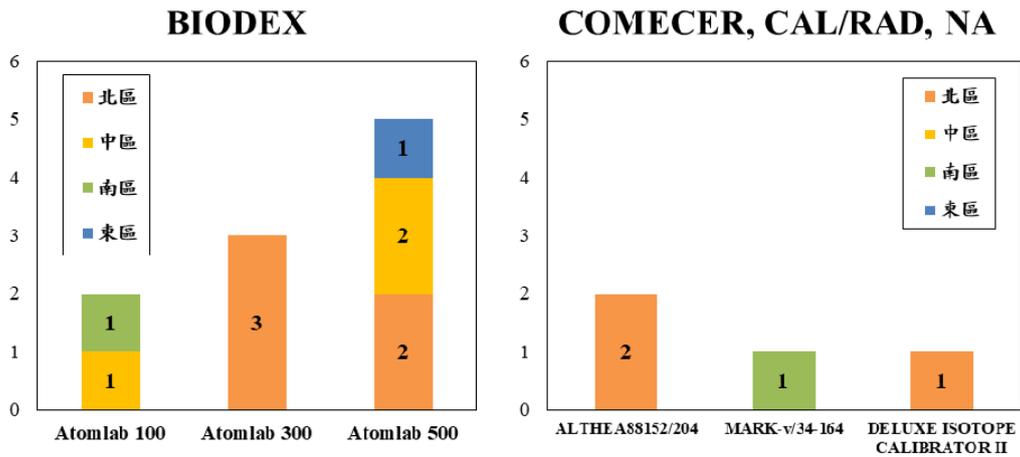


圖 18. BIODEX 及其他廠牌之型號數量(單位：台)。

圖 19.及圖 20.是機器使用年份及最近校驗年份數量。較多數之儀器年齡為 10 年至 15 年間，而大部分之機器已於今年進行定期校驗。

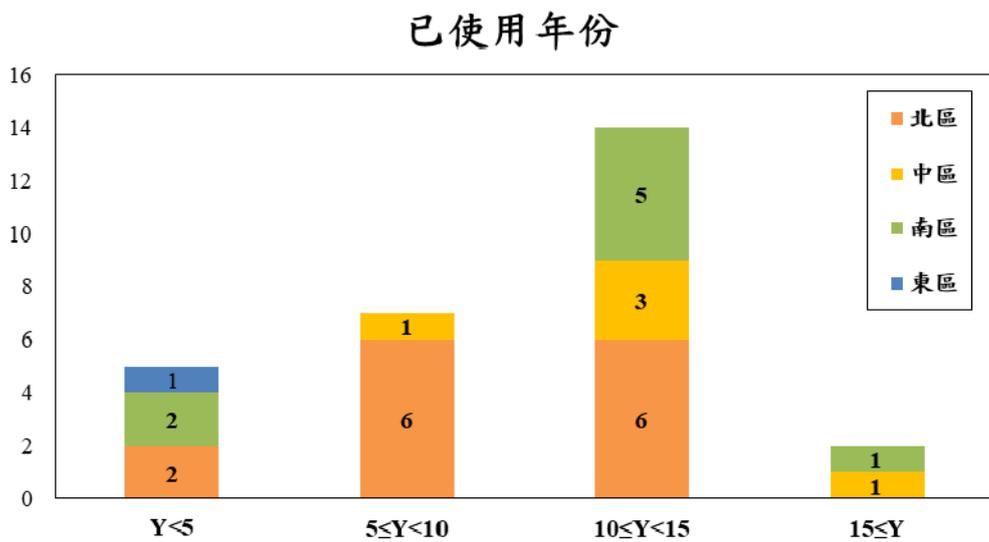


圖 19. 問卷回收之機器已使用年份(單位：台)。

最近校驗年份

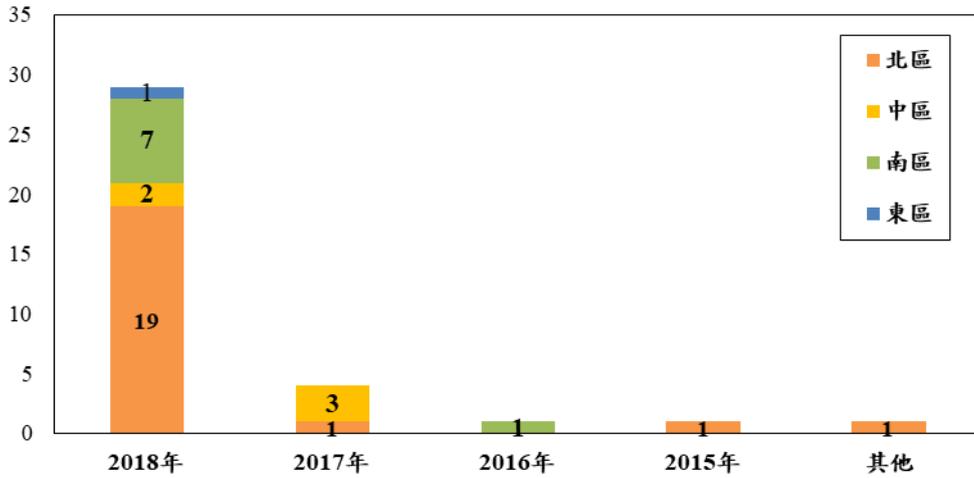


圖 20. 問卷回收之最近校驗年份統計(單位：台)。

各機器之品保項目執行頻率統計於圖 21.至圖 27. 所示。每日執行建議之項目(物理檢查、背景值及穩定度)於多數單位有預期頻率之呈現。

物理檢查

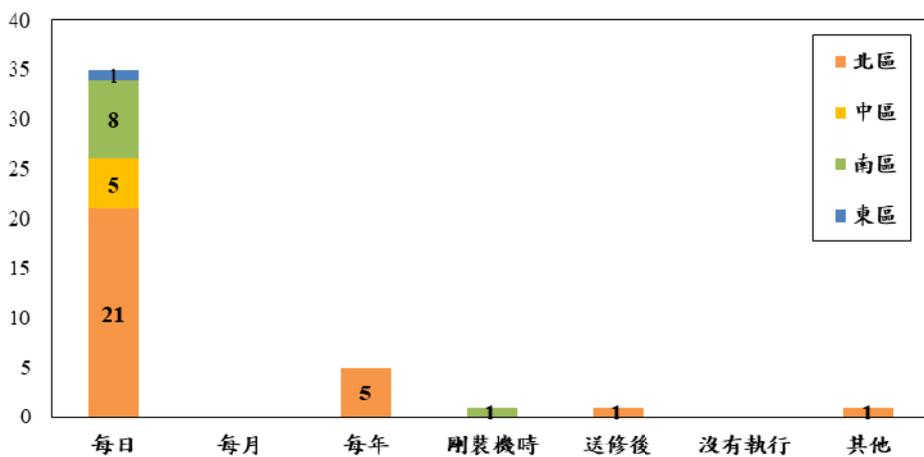


圖 21. 物理檢查項目執行頻率對應(單位：台)。

背景值

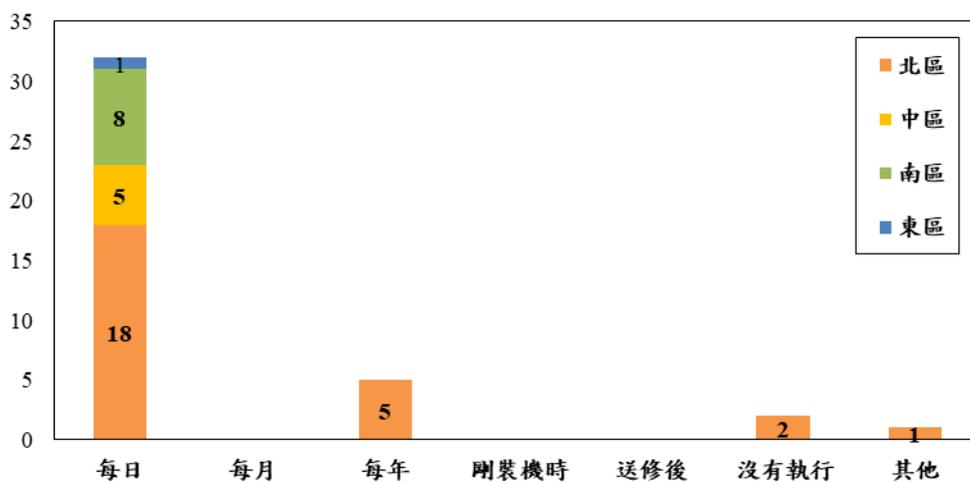


圖 22. 背景值項目執行頻率對應(單位：台)。

穩定度

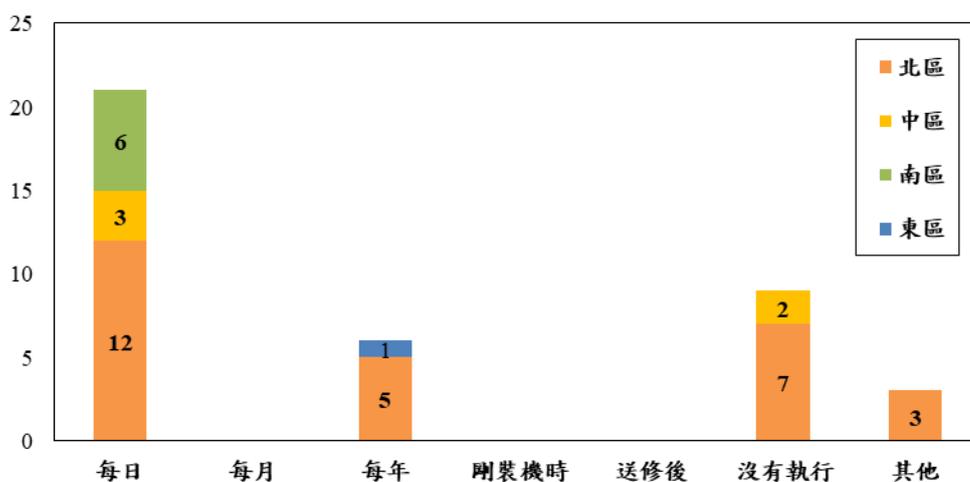


圖 23. 穩定度項目執行頻率對應(單位：台)。

每年建議之準確度、精確度於各醫院單位，有較不一的執行情況；而同樣是每年建議的線性度與幾何偵測效率則是以沒有執行為顯著。

準確度

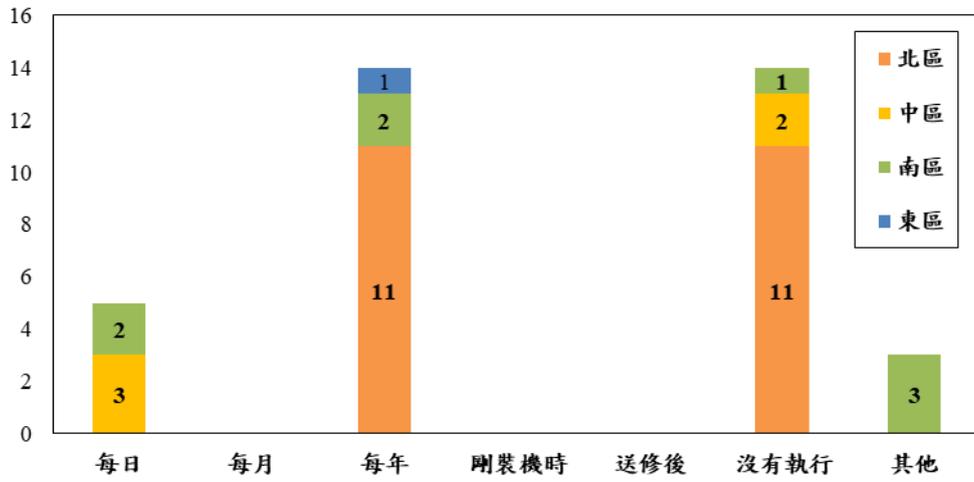


圖 24 準確度項目執行頻率對應(單位：台)。

精確度

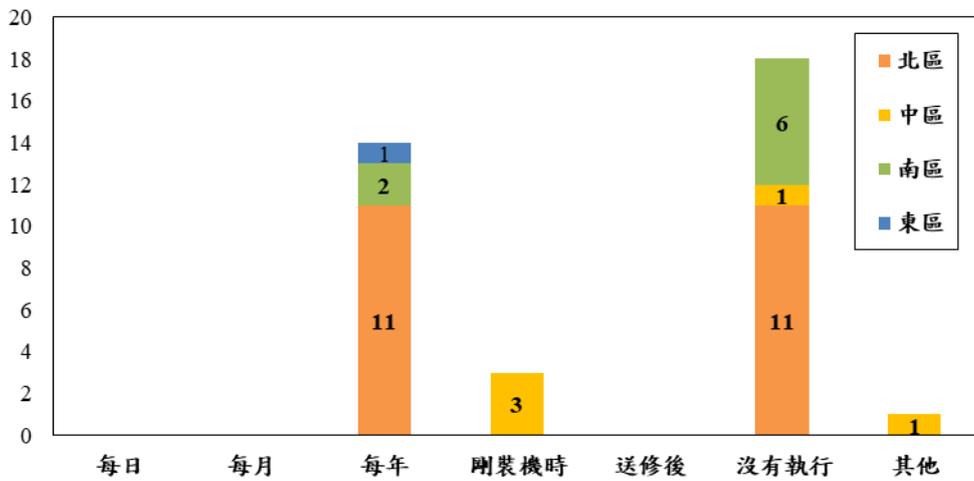


圖 25. 精確度項目執行頻率對應(單位：台)。

線性度

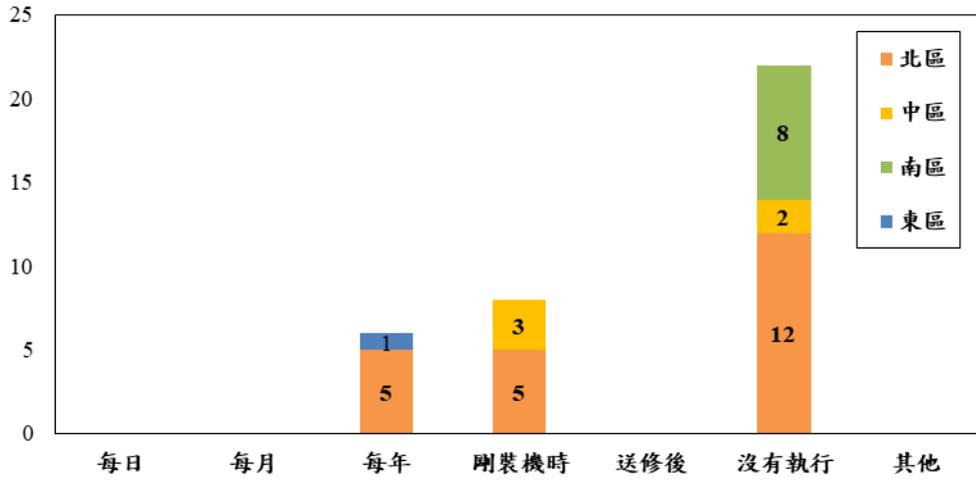


圖 26. 線性度項目執行頻率對應。(單位：台)

幾何偵測效率

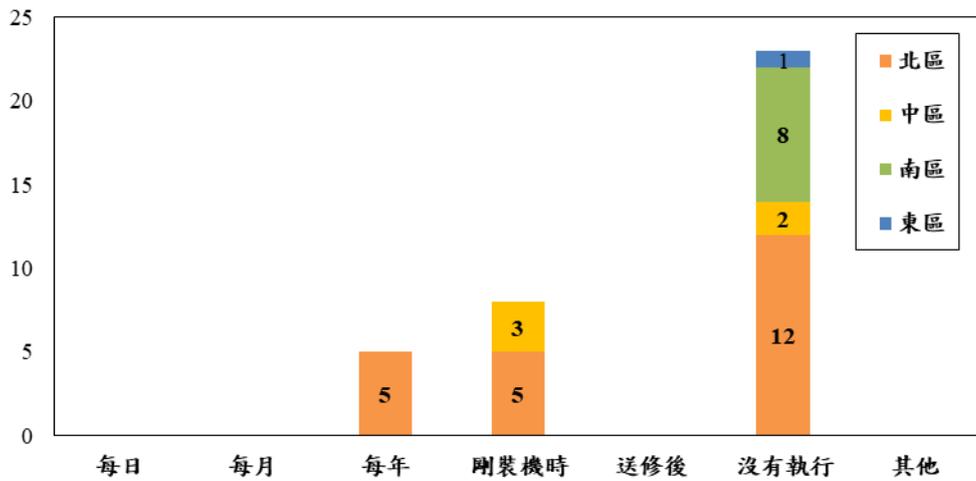


圖 27. 幾何偵測效率執行頻率對應。(單位：台)

三、臨床實測

臨床實測除國家游離輻射標準實驗室外，另外實測 7 間臨床核醫單位。國家游離輻射標準實驗室與各醫院所使用之劑量校正儀型號、以及對應之已使用年份如表 4.所示。

表 4. 標準實驗室與實測醫院之劑量校正儀型號及已使用年份。

單位	機器型號	已使用年份
INER	CRC-15R	—
A	CRC-PC	3
B	CRC-25R	9
C	CRC-15R	—
D	Atomlab 500	5
E	CRC-25R	8
F	CRC-25R	9
G	CRC-25R	—

(一) 物理檢查

所有臨床單位之劑量校正儀功能皆可正常使用。

(二) 背景值

所有單位之劑量校正儀對應臨床核種(Tc-99m, Ga-67, I-131, Tl-201)，及背景值變異度皆呈現於 5% 以內。

(三) 準確度

圖 28. 至圖 31. 為 7 間實測醫院單位之準確度統計結果，分別對應 4 種射源於 10 次量測下之計算呈現。紅色虛線標示出校能判定準則($\pm 10\%$)的範圍。在 Co-57 的量測情況下(圖 28.)，單位 C、E、F 及 G 有最穩定之表現；於兩種 Ba-133 射源(圖 29.及圖 31.)則是全體皆有穩定呈現；而在 Cs-137 射源的量測(圖 30.)除單位 D 及 G 外，其它皆有較大之誤差呈現，

此偏差表現，可能受到低活度射源在機器最大精度顯示限制、環境背景值及內在電流雜訊；另用於臨床實測之校正射源其活性較低，亦將影響測量準確度。

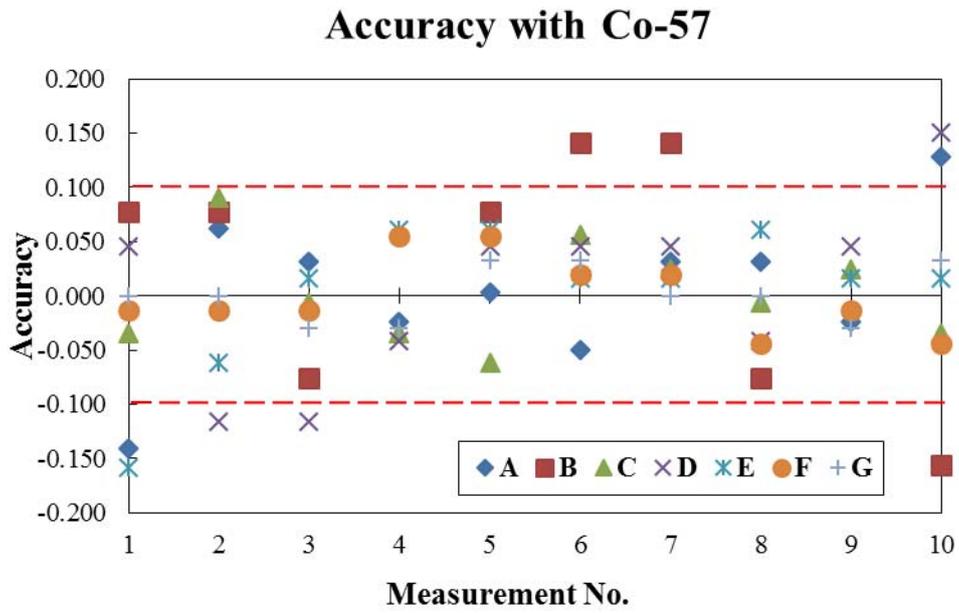


圖 28. 各單位使用 Co-57 射源進行 10 次量測之準確度統計。

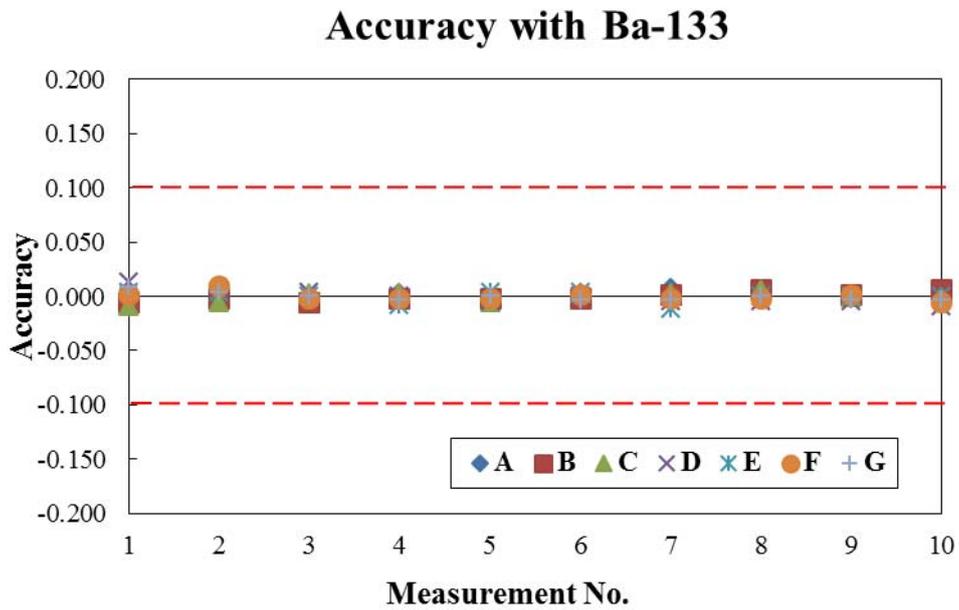


圖 29. 各單位使用 Ba-133 射源進行 10 次量測之準確度統計。

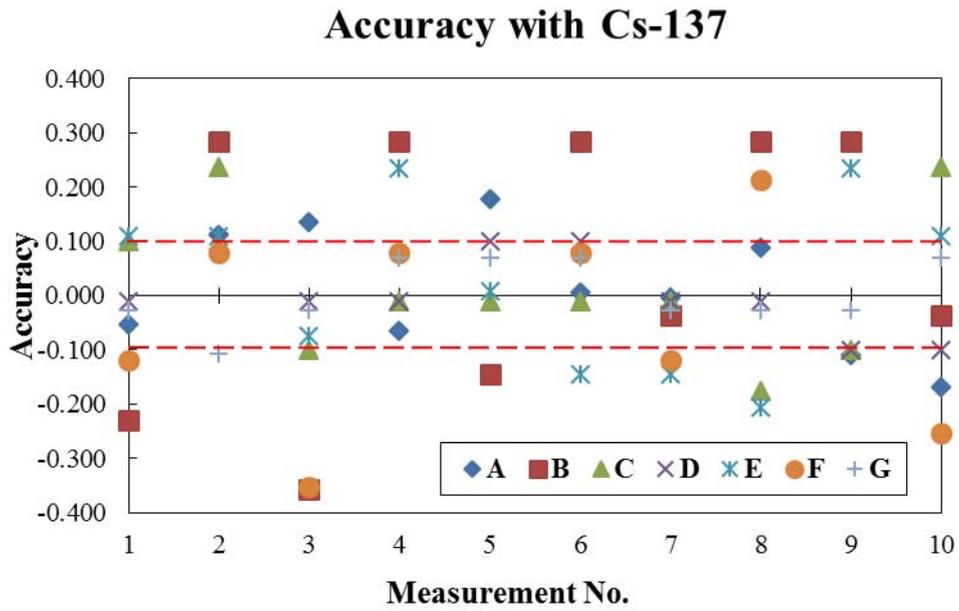


圖 30. 各單位使用 Cs-137 射源進行 10 次量測之準確度統計。

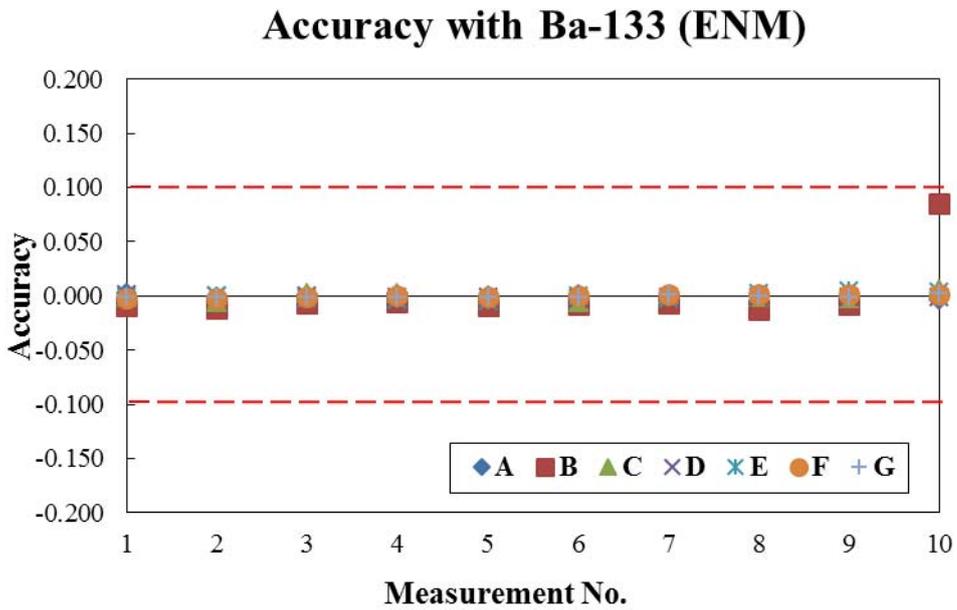


圖 31. 各單位使用 Ba-133 (試瓶型)射源進行 10 次量測之準確度統計。

(四) 精準度

圖 32. 至圖 35. 為 7 間實測醫院單位之精準度統計結果，分別對應 4 種射源於 10 次量測下之計算呈現。紅色虛線標示出校能判定準則($\pm 5\%$)的範圍。在 Co-57 的量測情況下(圖 32.)，單位 B 有最穩定之表現；於兩種 Ba-133 射源(圖 33.及圖 35.)則是全體皆有穩定呈現(除單位 B 單次偏大)。而在 Cs-137 射源的量測(圖 34.)全體皆有較大之誤差呈現。

此較大誤差之影響因子，包含環境背景值及內在散射電流雜訊。

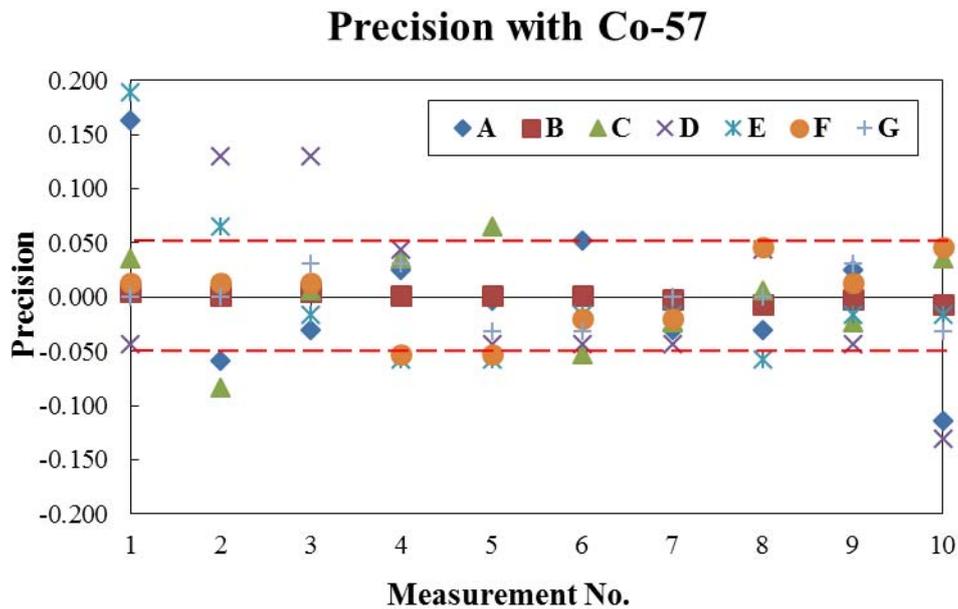


圖 32. 各單位使用 Co-57 射源進行 10 次量測之精準度統計。

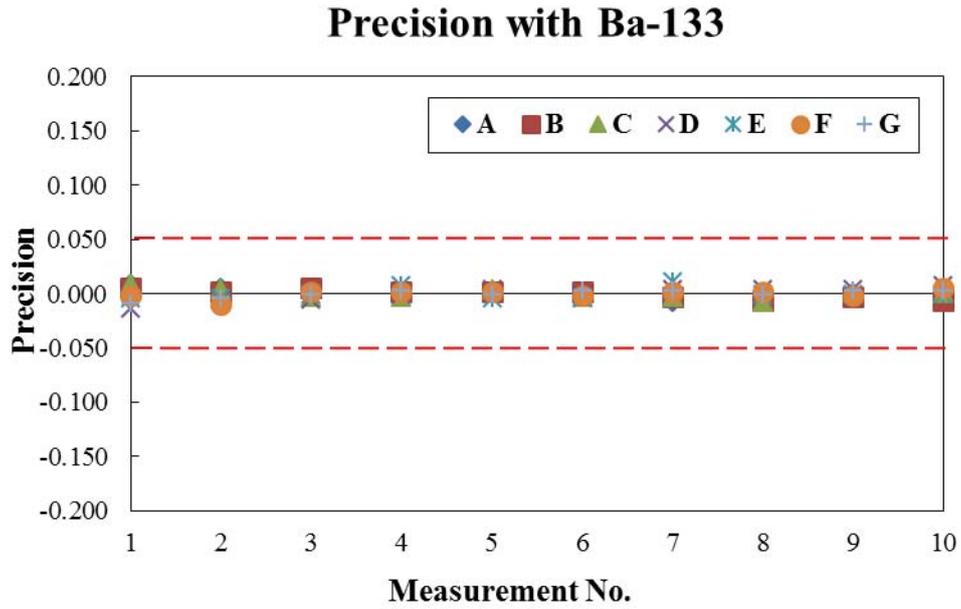


圖 33. 各單位使用 Ba-133 射源進行 10 次量測之精準度統計。

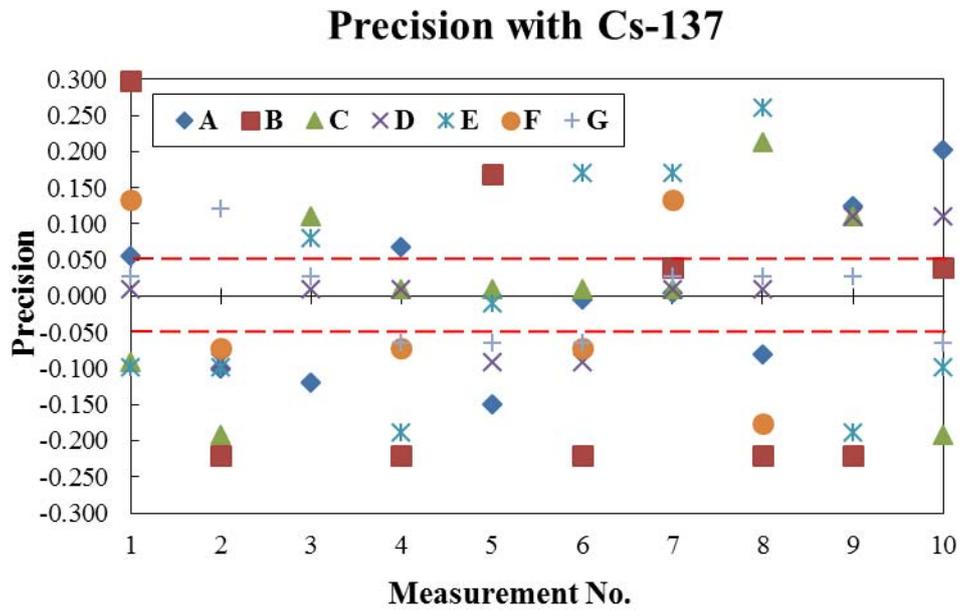


圖 34. 各單位使用 Cs-137 射源進行 10 次量測之精準度統計。

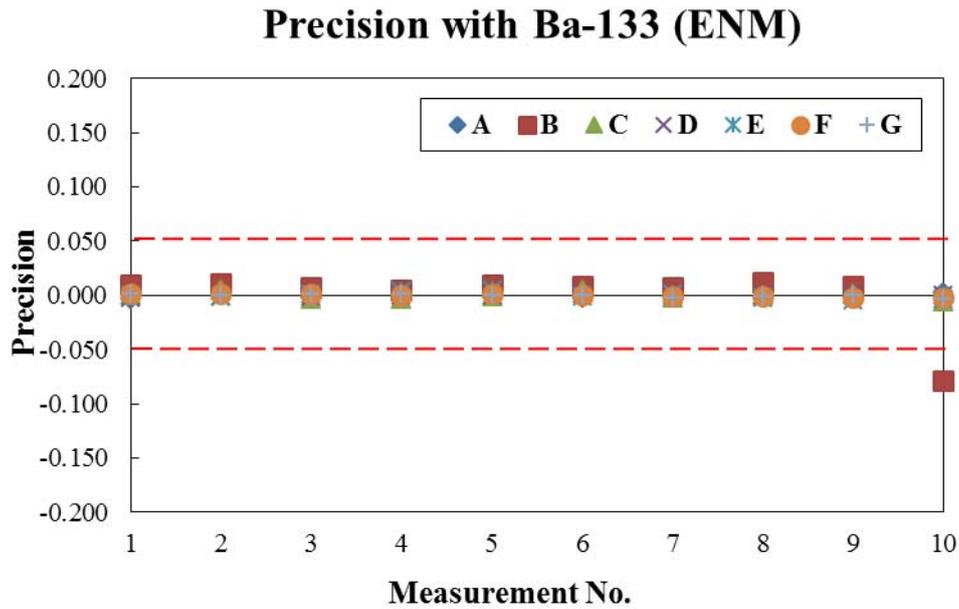


圖 35. 各單位使用 Ba-133 (試瓶型)射源進行 10 次量測之精準度統計。

(五) 幾何偵測試驗

圖 36.及圖 37.是以廠牌為分別之標準實驗室及其他 7 間臨床單位劑量校正儀於上下方向幾何偵測試驗結果，皆對自身最大量測點進行歸一化計算。標準實驗室、單位 C(相同型號者)、單位 F 及單位 G、之校正器有相近之效率變化曲線；單位 A、單位 B 及單位 E (相異型號)則是在井身中間(外加 12 cm)至井口有對應之差異表現，單位 D (相異廠牌)之亦具有同樣明顯變化。

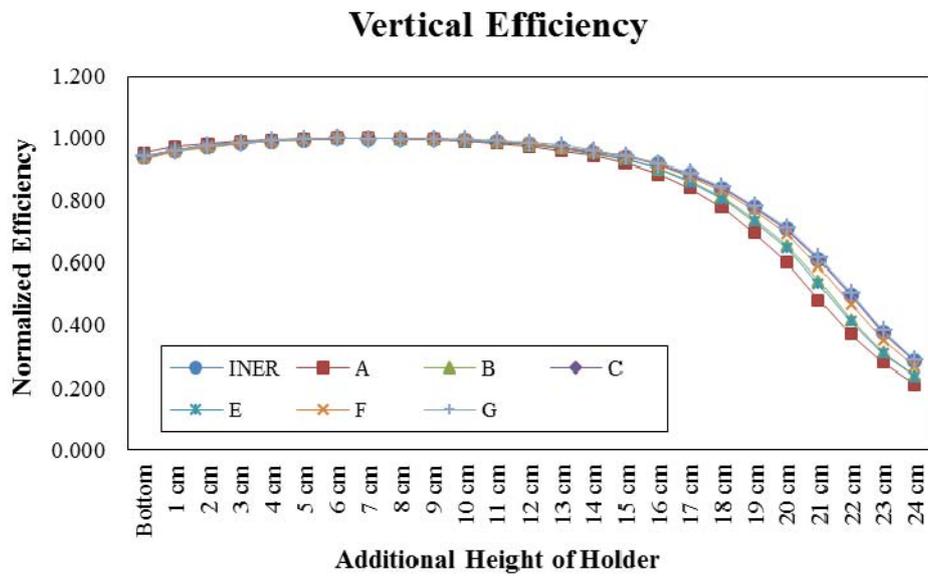


圖 36. Capintec 儀器外加支架高度與幾何偵測效率之對應曲線。

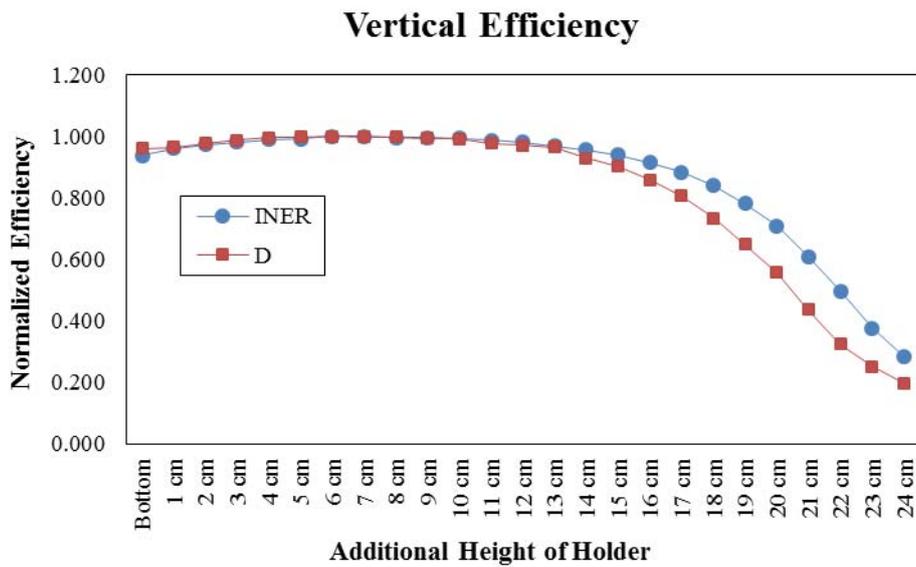


圖 37. BIODEX 儀器外加支架高度與幾何偵測效率之對應曲線。

圖 38.及圖 39.是以廠牌為分別之標準實驗室及其他 5 間臨床單位劑量校正儀於左右方向幾何偵測試驗結果，皆對中央量測點進行歸一化計算。僅單位 G 有兩側對稱的變化呈現，其他的儀器皆有單側之偵測效率偏高的情形，其中標準實驗室、單位 A(相異型號)與單位 C 之校正器有相似之效率變化，而單位 B、單位 E 及單位 F(相同型號)卻有各自的偏向曲線，相異廠牌(單位 D)有相反之偏差表現。

影響此結果之可能因子，包含儀器兩側電壓偏差，導致內部氣體游離程度非均勻性，另外尚有射源本體的非均勻性與其形狀所引起之體積效應，但整體誤差皆在 $\pm 2\%$ 內。

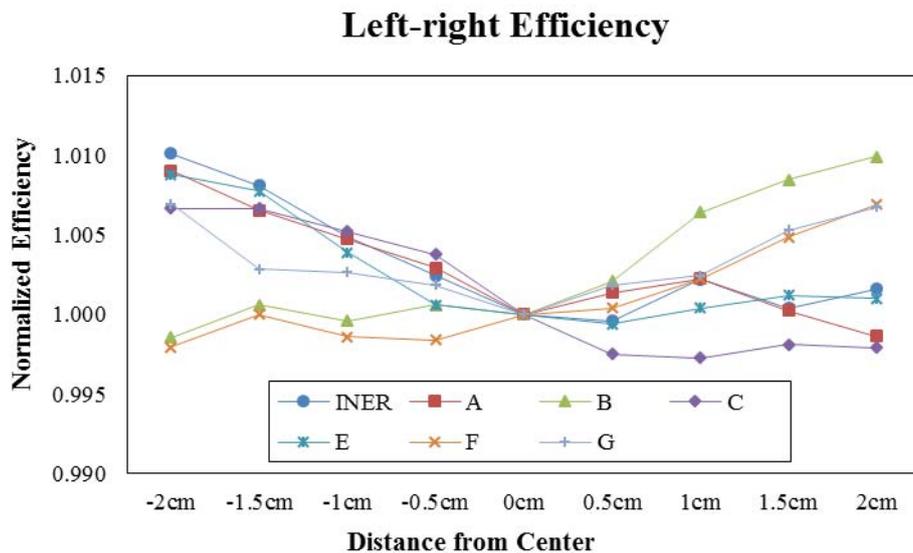


圖 38. Capintec 儀器外加支架高度與幾何偵測效率之對應曲線。

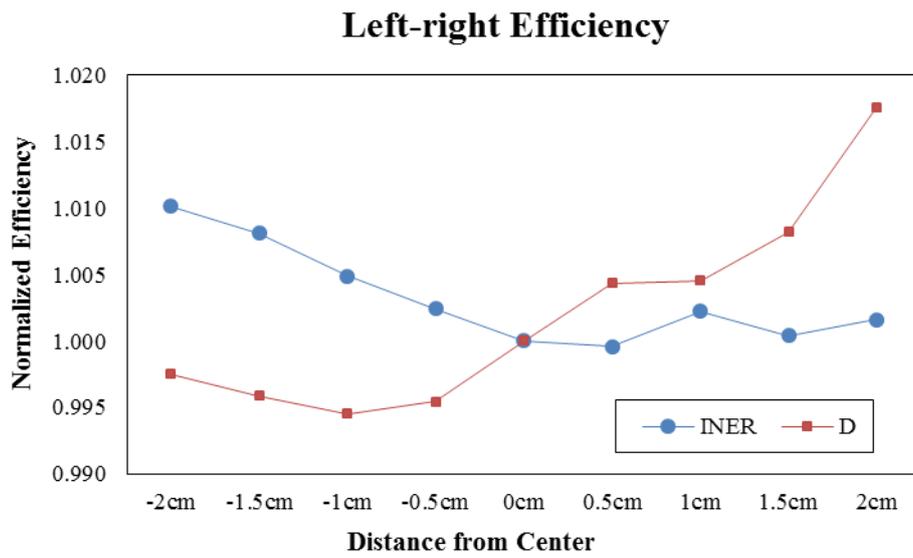


圖 39. BIODEX 儀器外加支架高度與幾何偵測效率之對應曲線。

三、結論

本研究統計醫院劑量校正儀的使用狀態，以及定期品保項目之執行現況，統計資料顯示，部分項目(線性度、幾何偵測效率)的品質校驗執行頻率，有低於預期的情形。對此結果，初步建議可再加強品保管理，包含每項測試之定義與正確之執行方式；且可針對部分醫院之儀器特有之校驗工具進行使用指導。

而臨床實測結果，雖然呈現各單位劑量校正儀在準確度與精確度上具差別表現，建議選用測試的射源為 Ba-133，亦需規範參考活度，以提高鑑別能力；而幾何偵測效率的測試，呈現隨射源位置的改變，相異廠牌型號之間，有其相對應之偵測變化模式。本研究所建立之測試方法可作為定期品質校驗模式，其操作時間短，可迅速找出劑量校正儀的最佳測量點，以提升核醫藥物放射活性之測量準確性。

肆、參考文獻

1. Radiological Protection and Safety in Medicine. ICRP Publication 73. Annals of the ICRP 26(2), 1996.
2. Quality Assurance for Radioactivity Measurements in Nuclear Medicine. Technical Report Series No.454. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency (IAEA), 2006.
3. Gopal B. Saha 著, 丁慧枝編譯, 葉錫溶校訂, 放射藥品學 (第四版), p. 33-34, p. 174-176.
4. Quality Control of Nuclear Medicine Instruments. Technical Document No.317 Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency (IAEA), 1984.
5. 中華民國核醫學學會, 輻射劑量校正儀品質控管執执行程序書。
6. Santos J.A. et al. Syringe shape and positioning relative to efficiency volume inside dose calibrators and its role in nuclear medicine quality assurance programs. Appl Radiat Isot, 2009. 67(6): p. 1104-9
7. Bessa A.C.M. et al. Survey on quality control of radiopharmaceutical dose calibrators in nuclear medicine units in the city of São Paulo, SP, Brazil. Radio Bras, 2008. 41(2): p. 115-8.
8. Matsumoto N. et al. Evaluation of Measurement Accuracy and Inter-institutional Comparison for Dose Calibrators. Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi. 2016. 72(5): p. 410-5.

9. The Selection, Use, Calibration, and Quality Assurance of Radionuclide Calibrators Used in Nuclear Medicine. Report of AAPM TG-181, 2012.
10. Bochud et al. Usefulness of specific calibration coefficients for gamma-emitting sources measured by radionuclide calibrators in nuclear medicine. *Med Phys*, 2011. 38(7): p. 4073-80.