

行政院原子能委員會  
委託研究計畫 108 年度期末報告

動物輻射診療作業之人員劑量評估與輻防管制研究  
(勞務採購案)

Personnel dose assessment and radiation control research on practices of  
radiation diagnosis and treatment in Veterinary

計畫編號： AEC10711048L

受委託機關(構)：國立清華大學

計畫主持人：許芳裕

聯絡電話：(03)5715131 分機 62096

計畫參與人員：周芳瑜、陳永泰、劉欣瑋、吳孟勳、馬鈺婷

報 告 日 期 ： 1 0 8 年 1 2 月 1 日



## 目 錄

目 錄 .....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
壹、前言(計畫緣起).....	1
貳、研究目標.....	2
參、研究方法與過程.....	2
肆、主要發現與討論.....	12
一、執行進度說明.....	12
二、檢查結果統計.....	14
三、現場訪查輻射測試結果.....	15
四、國際動物診療輻防管制趨勢.....	21
五、利用程式模擬計算動物核子醫學作業可能造成之人員 劑量及動物外釋標準.....	24
六、國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範及相 關管制建議.....	37
七、具體成果產出量化值.....	38
伍、結論.....	39
陸、參考文獻.....	41
附錄一、108 年動物診斷用 X 光機檢測紀錄表列資料.....	43
附錄二、NCRP 148 報告關於動物核子醫學診療作業之輻射安全 管制規定彙整.....	45
附錄三、澳洲 RPS-17 報告關於動物核子醫學診療作業之輻射安 全管制規定彙整.....	46
附錄四、美國 NRC 之 NUREG-1556 (Volume 7, Rev. 1)報告關於 動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整.....	50
附錄五、2018 年 IAEA 之獸醫的輻射防護與安全安全報告(草案) 關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整.....	55
附錄六、MicroShield 程式計算之輻射劑量結果.....	57
附錄七、動物輻射診療作業之輻射安全規範(草案).....	79
附錄八、動物核子醫學診療外釋標準規範(草案).....	90
附錄九、受診療動物外釋出院後之飼主的輻射安全指南.....	91

## 中文摘要

國際間對動物用 X 光機的檢測要求，大多比照人員醫療 X 光機之規定。我國目前針對動物用診斷 X 光機的輻射安全管制，採用與非醫用可發生游離輻射設備相同之輻射管制規定，本計畫擬依國際間動物用 X 光機之檢測要求，進行現場調查與分析國內動物用 X 光機設備之特性，並研析國內動物用 X 光機檢測項目調整之必要性。此外，國內動物醫療發展趨勢亦與國際同步，陸續推動動物核子醫學與放射治療等輻射作業，其對人員或環境之輻射安全評估與輻射安全管制，有深入探討與精進之必要。本計畫透過抽樣方式對國內執行動物用放射診斷、核子醫學及放射治療等動物醫療院所進行輻射診療作業現場之輻射安全與劑量調查，以及利用模擬計算模式評估輻射劑量及輻射安全風險分析，並蒐集與參考國際相關現行管制規定及作法，提出相關管制建議與建立我國動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範。

關鍵詞：動物用 X 光機、動物核子醫學、動物放射治療、人員劑量評估、輻射防護、輻射安全檢查、輻射安全規範

## 英文摘要

The international requirements for the detection of animal (veterinary) X-ray machines are mostly in accordance with the regulations of medical X-ray machines for human diagnostic. At present, in Taiwan, radiation safety control for veterinary diagnostic X-ray machines applied the non-medical use requirements. This project plans to conduct on-site radiation safety investigations according to the requirements of international veterinary X-ray machines. The characteristics of domestic veterinary X-ray equipment and the necessity of adjustment of domestic veterinary X-ray machine inspection items will be analyzed and discussed. In addition, the domestic development trend of veterinary medical is also in line with the international, and has gradually promoted radiation practices such as nuclear medicine and radiation therapy. In domestic, it has the need for in-depth assessment and improvement of veterinary radiation safety and control for its affects to the personnel or the environment. This project conducted on-site radiation dose surveys at veterinary hospitals or medical institutions performing radiodiagnosis, nuclear medicine and radiation therapy. Simulation and calculation models will be also used to evaluate radiation doses and compared with measured results. Relevant international regulations and practices will be collected and referred to, and relevant safety control recommendations will be proposed. In final, by means of the performance of this project, radiation protection and safety guide for veterinary medical in Taiwan will be established.

keywords : veterinary X-ray machines, veterinary nuclear medicine, veterinary radiation therapy, personnel dose assessment, radiation protection, radiation safety inspection, radiation safety guide

## 壹、前言(計畫緣起)

國際間應用輻射診療技術於動物醫學上已行之有年，歐美等先進國家對動物用輻射診療作業之輻防管制於近年來亦逐漸受到重視，包括動物用之放射診斷、核子醫學藥物檢查與治療以及利用密封射源或加速器進行之放射治療等，在歐美及澳洲等國家均有相關之輻射曝露評估及輻防管制規定。例如美國國家輻射防護與量測委員會(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP)於2004年即提出其第148號報告(NCRP 148)針對動物醫學之輻射防護提出了相關建議，澳洲輻射防護與核安全機構(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)於2009年亦提出動物醫學輻射防護的作業與安全導則，提供動物用醫學診療之輻射作業審核及輻防管制程序指引。

我國目前針對動物用放射診斷 X 光機的輻射安全管制，採用與非醫用可發生游離輻射設備相同之輻射管制規定，以確保管制區外及操作人員之輻射安全為要務，並未特別要求動物用 X 光機的特性；國際間對動物用 X 光機的檢測要求則大多比照人員醫療 X 光機之規定，需檢測距 X 光管球 1 公尺處之滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性。考量在多數情況下，動物飼主會在 X 光室內協助安撫動物進行 X 光照相，此時 X 光機的滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性即可能會影響到檢查室內協助照相者的劑量；因此本計畫擬依國際間動物用 X 光機之檢測要求，調查與分析國內動物用 X 光機設備之檢測項目之結果，以瞭解國內動物用 X 光機特性與國際檢測規範之一致性，並研析國內動物用 X 光機檢測項目調整之必要性。國內動物醫療發展趨勢亦與國際同步，陸續推動動物核子醫學診療與利用加速器或密封射源進行放射治療等輻射作業，其對人員或環境之輻射安全評估與輻射安全管制，實有精進之必要。

對於動物執行放射性治療部分，目前國內已設立並對動物進行診療服務，其設置之加速器與人員醫療之設施無異，惟考量治療室內並無人員居佔，目前輻防安全審查並未如國際規範考量其洩漏輻射、曝露控制裝置、管制區設置要件等項目，且未來亦可能引進放射性物質診療之技術，爰希透過此計畫彙整其他先進國家之管制作法，並檢視國內現有之動物放射治療設施，同時評估相關輻射影響，以研析動物放射治療之輻防管制重點。另因應國內動物醫院設置動物核子醫學診斷與治療之需求，希藉計畫執行探討及評估動物於核子醫學診療期間之相關輻射安全，並藉由模擬計算及比對，以研析動

物診療後外釋之輻射影響及標準，及建立國內動物核子醫學診療輻防安全規範，以保障相關工作人員、飼主及民眾等之輻射安全。

## 貳、 研究目標

本計畫之研究目標如下：

- 一、 執行國內動物放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業之輻射安全及劑量調查，以結合輻射防護及安全管制規範之訂定，並督促設施經營者落實輻射安全自主管理，以強化輻射安全文化。
- 二、 參考國際輻防管制趨勢，評估動物診療輻射作業之人員及環境影響，並檢視與分析管制差異，以精進輻防管制作業。
- 三、 建立符合國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範，並提出相關管制建議，作為原能會後續精進動物用輻射診療作業管制規定之依據，以確保動物醫院從業人員、飼主及環境之輻射安全。

藉由本計畫之執行，詳加評估動物用放射診斷、核子醫學及放射治療等輻射作業的曝露影響，以建立動物診療之輻防管制體制，並透過抽樣方式對國內動物醫療院所執行實際現場診療作業之輻射劑量調查，以及利用模擬計算模式評估輻射劑量及輻射安全風險分析，並蒐集與參考國際相關現行管制規定及作法，提出相關管制建議與建立我國動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範。

## 參、 研究方法與過程

以往國內動物輻射診療作業以 X 光攝影為主，然隨國際動物醫療發展趨勢，我國動物醫院亦陸續推動動物放射治療或核子醫學診療等輻射作業，以提升國內動物醫療環境。惟動物輻射診療作業將衍生包含操作人員、協助者、飼主或環境之輻射影響，且對輻射防護安全管制亦將有所衝擊。本計畫執行動物輻射診療作業之研究，主要標的分為動物 X 光診斷、放射治療、核子醫學等領域，並分別評估個別領域輻射作業對相關人員與環境之影響，如動物用診斷或治療 X 光機規格之輻防規範；放射性物質應用於動物診斷或治療之輻射安全與外釋標準等，以瞭解動物輻射診療作業之輻射安全。本計畫為一年期，將依據計畫目標分成三個工作項目，包括(1)執行國內動物放射診療作業之輻射安全及劑量調查；(2)參考國際輻防管制趨勢，精進國內動物診療輻射作業之輻防管制作業；及(3)建立符合國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範，並提出相關管制建議。詳細工作內容說明如下：

## 一、執行國內動物放射診療作業之輻射安全及劑量調查

輻射診療技術於動物醫學上已行之有年，包括動物用之放射診斷、核子醫學藥物檢查與治療以及利用加速器或密封射源進行之放射治療等，對動物用輻射診療作業之輻防管制於近年來亦逐漸受到重視，本計畫將對動物用之放射診斷、核子醫學與放射治療等三個領域進行其診療作業之輻射安全及劑量調查。

### 1. 動物放射診斷作業之輻射安全及劑量調查

國際間對動物用 X 光機的檢測要求則大多比照人員醫療 X 光機之規定，需檢測距 X 光管球 1 公尺處之滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性。國內目前針對動物用放射診斷 X 光機的輻射安全管制，則採用與非醫用可發生游離輻射設備相同之輻射管制規定，以確保管制區外及操作人員之輻射安全為要務，並未特別要求檢查室內動物用 X 光機的特性；考量在特殊情況下，動物飼主會在 X 光室內協助安撫動物進行 X 光照相，因此本計畫將依國際間普遍對動物用 X 光機之檢測要求，檢測 X 光機的滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性，調查與分析國內動物用 X 光機設備是否符合國際要求之檢測項目規定，以瞭解國內動物用 X 光機特性與國際檢測規範之一致性，並研析國內動物用 X 光機檢測項目調整之必要性。

本計畫將由原能會提供設備檢測及訪查名冊，針對國內使用動物用 X 光檢查儀進行輻射作業現場之輻射安全訪查與劑量調查，現場訪查與調查之方法如下：

#### 1.1 動物放射診斷現場輻射安全檢測及訪查項目

本研究計畫之研究人員於計畫決標後，與原能會溝通、確認進行檢測及訪查項目及訪查人員資格，訪查人員須接受過本計畫之訪查前訓練後始進行現場輻射安全檢測及訪查。現場輻射安全檢測及訪查，包括設備資訊查核、輻射安全測試報告審查及現場實測。

- (1) 設備資訊查核：詳細核對受檢設備之種類、設備規格如廠牌、型號、序號等是否與原能會提供之資料相符。
- (2) 測試報告查核：記錄現場使用單位提出測試報告之編號及其測試單位、測試人員、測試時間及使用偵檢器等資訊。查核 X 光機及 X 光室所在位置與測試報告平面圖所列位置是否相符、X 光室輻射偵測結果與測試報告是否相符。
- (3) X 光機特性調查：依據平常使用之照射條件，對檢查室內 X 光機進行滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性檢測，分析評估國內動物用 X 光機特性與國際檢測規範(比照人員放射診斷 X 光機特性要求)之一致性。

(4) 其它檢測及訪查項目：參考原能會現有之可發生游離輻射設備檢查記錄表之一般規定項目，如連動裝置、警示標誌、管制區內劑量率最高不超過 10  $\mu\text{Sv/h}$ 、監測區之劑量率最高不超過 0.5  $\mu\text{Sv/h}$ ，以及操作人員資格確認等。

## 1.2 X 光機滲漏輻射檢測

檢測人體之診斷 X 光機要求為：其 X 光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 1 毫戈雷(mGy)。

### 1.2.1 動物用一般 X 光機及電腦斷層掃描儀

使用平日最常使用的照射條件(或測試報告之條件)，照野全關，球管中心距離桌面 100 公分，將輻射偵檢器(AT-1121)放置於 X 光管正下方距靶一公尺處，照射後記錄瞬間最大值(若超過標準，則貼上鉛皮再試一次)；其次如 X 光機之 X 光管可旋轉，則再將 X 光管向右旋轉 45 度(AT-1121 位置不變)，照射後記錄瞬間最大值；之後再將 X 光管向左旋轉 45 度，照射後記錄瞬間最大值。(如圖 3.1)



圖 3.1 輻射偵檢器(AT-1121)放置於 X 光管正下方距靶一公尺處檢測滲漏輻射(左)，以及自製可伸縮高度之偵檢器支架(右)

如 X 光機之 X 光管無法旋轉，則以支架將輻射偵檢器(AT-1121)置於 X 光管右側 45 度(距靶一公尺處)，照射後記錄瞬間最大值；之後再將 AT-1121 置於 X 光管左側 45 度(距靶一公尺處)，照射後記錄瞬間最大值。

### 1.2.2 動物用牙科 X 光機(單齒)

使用平日最常使用的照射條件(或測試報告之條件)，照射錐體口要以膠帶貼上鉛皮遮蓋，球管中心距離桌面 100 公分，將 AT-1121 放置於 X 光管正下方，X 光管錐體向右旋轉 45 度，照射後記錄瞬間最大值；再向左旋轉 45 度，照射後記錄瞬間最大值。(依據目前人

員牙科型 X 光機輻射安全審查項目中規定，X 光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 0.25 毫戈雷(mGy)。(如圖 3.2)



圖 3.2 輻射偵檢器(AT-1121)放置於牙科型 X 光管正下方距靶一公尺處檢測滲漏輻射

### 1.3 動物用 X 光機有用射柱永久性有效濾片厚度檢測

檢測人體之診斷 X 光機要求為：其 X 光機有用射柱之全部永久性過濾片，在公稱電壓在七十仟伏(< 70 kVp)以下時，不得少於一·五毫米 (1.5 mm) 鋁厚度當量；公稱電壓超過七十仟伏(> 70 kVp)時，不得少於二·五毫米 (2.5 mm) 鋁厚度當量。

檢測方法一：利用照射有加與未加鋁套筒劑量筆(如圖 3.3)之讀數比( $R_{加 Al}/R_{未加 Al}$ )求得直線衰減係數 $\mu$ (如公式 1)，並進一步評估半質層 HVL(如公式 2)，再依據圖 3.4 半質層 HVL 與有用射柱永久性總有效濾片厚度之關係圖推估永久性過濾片鋁厚當量(Al eq)。



圖 3.3 有加鋁套筒(上)與未加鋁套筒(下)之劑量筆

$$R_{加 Al}/R_{未加 Al} = e^{-\mu \times \text{鋁套筒厚度}} \quad (1)$$

⇒ 求得  $\mu$  ，

$$\Rightarrow \text{HVL} = 0.693/\mu \quad (2)$$

Table: Half-Value Layer as a Function of Total Filtration and Tube Potential For a Single Phase Generator with Full Wave Rectification

Total filtration (mm Al)	Peak tube potential (kV)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
0.5	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
1.0	0.6	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8
1.5	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.4
2.0	0.9	1.2	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9
2.5	1.0	1.4	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3
3.0	-	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7
3.5	-	1.6	2.0	2.3	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7	4.0

Appropriate tables for each generator type are available in various publications, including NCRP Report No. 102 (Medical X-ray, Electron Beam and Gamma-Ray Protection for Energies up to 50 MeV).

圖 3.4 半質層 HVL 與有用射柱永久性總有效濾片厚度之關係圖

檢測方法二：X 光管球中心距離桌面 100 公分，準直儀開 10 cm × 10 cm，將劑量筆 2 支，其中一支套有 2.4 mm 厚鋁套筒、另一支為未加鋁套筒放在照野內（如圖 3.5）請操作者使用手動調整照射條件，不使用自動測試條件，依照選擇照射條件（如 70-80kVp），照射後記錄兩支劑量筆讀數，並計算其比值（加鋁套筒/未加鋁套筒）是否大於 0.5，大於 0.5 為正常。



圖 3.5 劑量筆放置於 X 光管正下方測試有效濾片厚度

#### 1.4 X光機準直儀光闌指示燈光照野誤差檢測

檢測人體之診斷X光機要求為：X光機準直儀光闌指示燈光照射範圍一致。(應小於靶至檯面距離之2%，無光闌指示燈者免實施本項測試。)

##### 1.4.1 動物用一般X光機

X光機球管中心距離桌面100公分，照野大小開10 cm × 10 cm (正好是在測試螢光板紅色框外圍)，若照相時看到螢光板中心有打叉之螢光，是正常的；但看到週圍正方形白色螢光邊框產生螢光，表示準直儀光闌指示燈光照射範圍大於X光機球管中心至桌面距離(100公分)的2%，也就是2公分此為異常。(無光闌指示燈者免查)(如圖3.6)

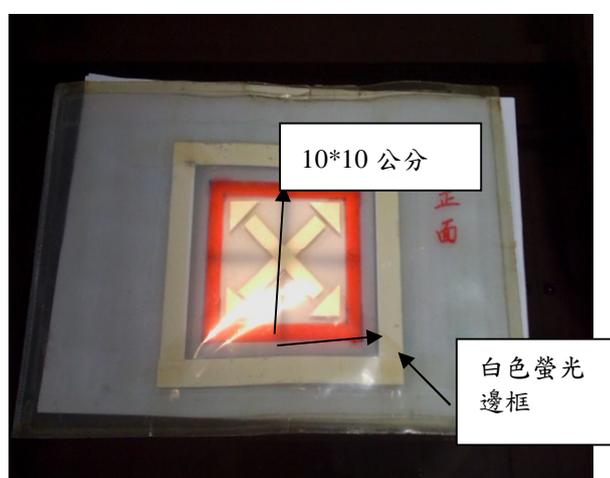


圖 3.6 X光機準直儀光闌指示燈光照野誤差檢測之測試螢光板(左)，及其用於動物用牙科X光機測試之情形

#### 1.5 人員劑量評估

本計畫針對動物用X光檢查儀：

- (a) 在平常常用之操作條件下，以手持式偵檢器測量操作X光機人員之手部、身體(人員居佔)位置之劑量(率)。
- (b) 考量協助者在檢查室內協助動物擺位照相的情形，以手持式偵檢器測量，評估有穿(右)及無穿鉛屏蔽衣之居佔位置劑量(率)，居佔位置則考量距照野中心50公分(協助者居佔位置)(如圖3.7)。此外，亦將以手持式偵檢器放置於照野下方處，評估協助人員之手部可能接受之劑量(率)。



圖3.7 考量動物用X光檢查儀協助者在檢查室內協助動物擺位照相的情形，以手持式偵檢器測量，評估其有穿(右)及無穿(右)鉛屏蔽衣之居佔位置劑量(率)示意圖

## 2. 動物核子醫學作業之輻射安全及劑量調查

國內動物醫院目前設置有動物核子醫學診斷與治療之醫療院所不多，但未來有增加之需求。動物核子醫學可分為診斷與治療二種應用，而核醫診斷主要以正子掃描(PET) 與單光子發射掃描(SPECT)為主，核醫治療則則主要以  $^{131}\text{I}$  治療為主；相關特性列於表 2.1。

表 2.1 動物核子醫學正子掃描(PET)之特性

診療方式	核子醫學檢查主要使用 $^{18}\text{F}$ 放射性藥物進行 PET 正子斷層掃描，以及使用 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 放射性藥物進行 SPECT 單光子發射掃描；核子醫學治療則主要以 $^{131}\text{I}$ 供治療動物甲狀腺疾病使用。
特點	早期發現腫瘤、追蹤腫瘤惡化程度
診療特色	功能性
適應症	一次性全身顯像，腫瘤高代謝特點
掃描時間	30~40 分鐘

為了因應國內動物醫院設置動物核子醫學診斷與治療未來有增加之需求，本計畫執行將探討及評估動物於核子醫學診療期間之相關輻射安全，並藉由模擬計算及透過委託單位(主管機關原能會)之協助安排，至設置有動物核子醫學診斷與治療之醫療院所實際進行現場訪查，了解現場之作業場所規劃後，利用 MicroShield 程式模擬計算動物使用不同核醫藥物情境下，對診療時之工作人員及診療後對飼主可能造成之輻射劑量。

## 2.1 利用程式模擬計算動物核醫之相關人員劑量

本計畫利用 MicroShield 對動物核子醫學作業可能造成之相關人員輻射劑量進行模擬計算，MicroShield 程式軟體之特性說明如下：

MicroShield 程式軟體(如圖 3.8)是基於一光子輻射源發射出 $\gamma$ -ray 輻射後，可模擬計算其經不同幾何形狀與厚度之介質或屏蔽後之劑量，其被廣泛用於輻射防護之屏蔽設計；並可通過輻射測量估算輻射源強度。本研究使用 MicroShield 程式軟體模擬核子醫學藥物如  $^{99m}\text{Tc}$  (主要發射 141 keV  $\gamma$ -ray) 或  $^{18}\text{F}$  ( $\beta^+$  與電子互燬後，主要發射 511 keV  $\gamma$ -ray) 發射之不同能量 $\gamma$ -ray 輻射，計算其從輻射源位置遷移到環境及人員位置的劑量。

除了模擬計算動物受檢查時可能之劑量外，亦依據訪查取得之藥物特性，計算評估檢查後不同時間動物身體周圍附近之劑量變化。

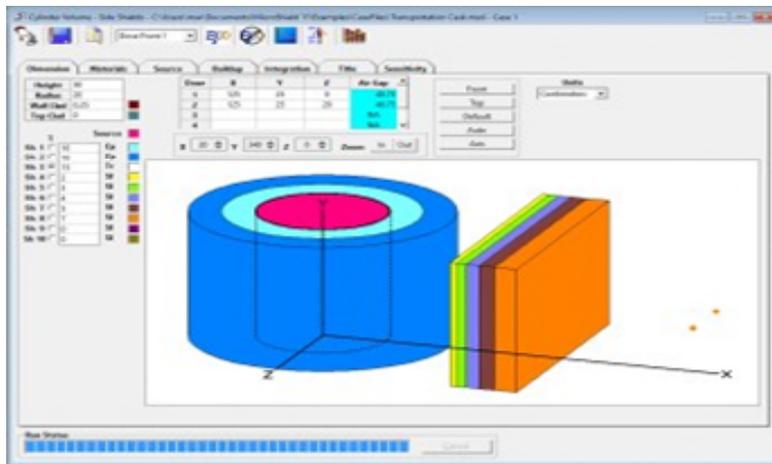


圖 3.8 MicroShield 程式軟體使用介面

## 2.2 動物核子醫學作業現場訪查之人員與環境輻射劑量偵測

本計畫將透過委託單位協助聯繫與安排，至國內動物核子醫學作業現場進行訪查，了結其作業條件及環境幾何等參數條件，並在其使用核醫操作條件下，以手持式偵檢器測量相關人員(操作人員、飼主等)於不同區域(如檢查作業區、等待區等)之人員居佔處之劑量(率)。

除了測量動物受檢查時可能造成之人員與環境輻射劑量外，亦依據訪查取得之藥物特性，計算評估檢查後不同時間動物身體周圍附近之劑量變化。

## 2.3 建立動物核子醫學診療外釋標準及程序

本計畫將依據模擬計算放射性物質(如  $^{18}\text{F}$  及  $^{131}\text{I}$  等核種)應用於動

物輻射診療造成之人員與環境劑量，分別依核種半化期特性及其在距施打核醫藥物動物體 1 公尺處之劑量率，對周圍人員造成之累積劑量不得超過 1 mSv (美國 NRC 10CFR35.7)，蒐集與研析其他國際文獻相關規定並考量合理抑低措施及程序後，建立國內適當之動物核子醫學診療外釋標準及程序。

### 3. 動物放射治療作業之輻射安全及劑量調查

國內動物醫院目前設置有動物放射治療之醫療院所亦不多，未來也有增加之趨勢。而動物放射治療主要以醫用直線加速器進行體外遠隔照射(如圖 3.9)或以密封放射性物質置入動物體內進行近接治療，均以提供高劑量率輻射將動物體內之癌細胞殺死，達到腫瘤治療的效果；也由於其提供高劑量率的輻射劑量，因此其輻射安全管制極為重要，且其可能造成之人員劑量應審慎評估。

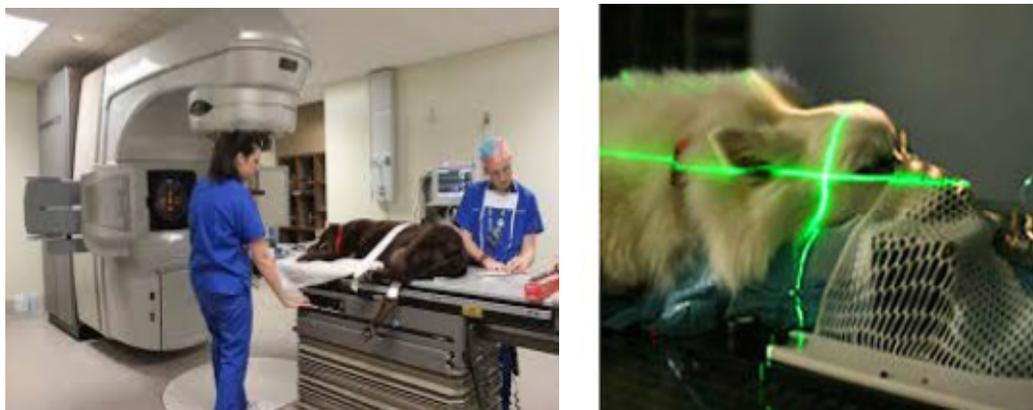


圖 3.9 以醫用直線加速器進行動物體外遠隔照射前之定位情形

本計畫將透過委託單位協助聯繫與安排，至國內動物放射治療作業現場進行訪查，了解其作業條件及治療室之環境幾何等參數條件，並在其使用放射治療操作條件下，以手持式偵檢器(或搭配人員劑量計佩章佈點方式)測量相關人員(操作人員、飼主等)於不同區域(如檢查作業區、等待區等)之人員居佔處之劑量(率)。

### 4. 檢測及訪查數據之統計分析

本計畫針對現場訪查及檢測之數據結果，依現場之查核項目，如動物放射診斷作業之輻射安全及劑量調查之設備資訊查核結果、測試報告查核結果、X 光機特性調查結果及其它檢測及訪查項目等資訊及相符率進行統計分析。透過抽樣方式對國內動物醫療院所執行實際現

場診療作業之輻射劑量調查結果，以及利用模擬計算模式評估之輻射劑量結果，將進行輻射安全風險分析。

#### 5. 規劃現場訪查及檢測數量：

依原能會提供之檢測及訪查名冊為依據，108 年至少完成 50 家動物醫院，包括執行放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業之輻射劑量現場量測調查，並以動物用診斷型 X 光機的特性與狀況是否符合國際使用的檢測要求、動物核子醫學與放射治療造成之人員與環境劑量為重點。

#### 二、 參考國際輻防管制趨勢，精進國內動物診療輻射作業之輻防管制作業

本計畫將廣泛蒐集與研析國際組織或文獻對動物診療(包括執行放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業)之相關輻防管制趨勢、要求及規定等，彙整相關報告之重點，藉以提供做為精進國內動物診療輻射作業之輻防管制之參考。

#### 三、 建立符合國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範，並提出相關管制建議

本計畫將藉由現場訪查之機會，了解實務作業可能面臨之問題，並依據前述彙整之國際輻防管制趨勢、要求及規定等，提出相關輻防管制及風險控管之具體建議，並依據現場訪查實測結果及模擬計算放射性物質應用於動物輻射診療造成之人員與環境劑量，建立動物核子醫學診療外釋標準規範，以及建立符合國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全程序。

#### 四、 完成計畫，並提出結案報告。

依契約書規定之時程，完成計畫規劃之工作項目，並提出結案報告。於 108 年 7 月 15 日前，提送期中報告；於 108 年 12 月 6 日前，提送期末成果報告。

## 肆、 主要發現與討論

### 一、 執行進度說明

- 本計畫於 108 年 2 月 25 日由計畫主持人代表至原能會進行工作方法與進度簡報。
- 3 月 25 日於台中中台科技大學動物醫學中心進行參訪及訪查人員訓練。參與訓練人員包括原能會輻防處吳思穎小姐、黃伽佳小姐及清華大學參與本計畫人員 5 名 (許芳裕、陳永泰、周芳瑜、劉欣瑋及馬鈺婷等)，共計 7 人，藉由參訪中台科技大學動物放射治療研究中心之動物核醫診療及放射治療設施，同時訓練參與計畫人員進行輻射安全訪查之現場偵測訓練。訓練相關照片如圖 4.1。



圖 4.1 | 參訪中台科技大學動物放射治療研究中心之動物核醫及放射治療設施，同時訓練參與計畫人員進行輻射安全訪查之現場偵測訓練照片

- 6月6日至中台科技大學動物放射治療研究中心進行動物放射治療設施之輻射安全現場訪查及檢測。
- 截至6月30日止，已執行完成39家動物醫院X光機現場訪查與檢測，包括38家動物醫院之放射診斷X光設備及1家動物放射治療研究中心之動物放射治療設施。(已超過預定進度：於108年6月30日前完成25台；108年全年至少完成50家動物醫院，包括執行放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業之輻射劑量現場量測調查)。
- 9月4日至台北市陽明大學創譯動影CTAI寵物正子電腦斷層掃描中心參訪，了解其進行動物放射診療(規劃使用F-18)狀況。相關照片如圖4.2。



圖 4.2 | 參訪陽明大學創譯動影CTAI寵物正子電腦斷層掃描中心設施照片

- 108年11月15日由計畫主持人代表至原能會進行第二次工作方法與進度簡報。
- 108年12月6日前，提送期末成果報告。

## 二、檢查結果統計

本計畫為一年期，依據計畫目標分成三個工作項目，包括 1.執行國內動物放射診療作業之輻射安全及劑量調查；2.參考國際輻防管制趨勢，精進國內動物診療輻射作業之輻防管制作業；及 3.建立符合國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範，並提出相關管制建議。

1. 執行國內動物放射診療作業(包括執行放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業)之輻射安全及劑量調查：

### (1)檢查區域分布

本計畫於各縣市執行動物用(獸醫)放射診斷 X 光設備檢測家數之分布列於表 4.1，108 年動物醫院設備檢查件數：動物醫院診斷 X 光機 55 台，(另有複查 4 台)；動物核醫診斷 1 台(陽明大學)、動物核醫/放射治療 1 台(中台科技大學)；總計現場訪查件數：61 台(含放射診斷 X 光設備複查及動物核醫診療院所現場參訪)。

表 4.1. 於各縣市檢測動物用(獸醫)放射診斷 X 光設備家數分布表

縣市別	動物用(獸醫)X 光機	
	證照數	108 年檢測家數
基隆市	10	0
台北市	138	13
新北市	127	10
桃園市	78	6
新竹縣(市)	29	2
苗栗縣	14	1
台中市	108	9
南投縣	8	0
彰化縣	18	0
雲林縣	12	0
嘉義縣(市)	21	3
台南市	55	5
高雄市	76	6
屏東縣	21	0
宜蘭縣	8	0
花蓮縣	9	0
台東縣	1	0
澎湖縣	0	0
金門縣	1	0
連江縣	0	0
合計	734	55

除了動物(獸醫)醫院之放射診斷 X 光設備外，在動物核子醫學作業之輻射安全及劑量調查方面，本計畫研究團隊已參訪了台中中台科技大學放射治療研究中心之動物放射診療設施(包括動物核子醫學及放射治療作業)及對其放射治療設施之現場輻射安全訪查；此外，本計畫研究團隊已參訪了位於陽明大學之創譯動影寵物正子電腦斷層掃描中心，瞭解其進行動物正子掃描(規劃使用 F-18)之作業狀況，因計劃期間未有實際案例，故本計畫研究團隊針對動物核子醫學診療之工作人員及診療後對一般民眾(動物飼主)可能造成之輻射劑量，主要參考國際文獻以及現場訪查之可能動物核醫診療情形，以 MicroShield 程式模擬計算工作人員及診療後外釋動物對一般民眾(動物飼主)可能造成之輻射劑量(評估結果請參考本報告第 25 頁章節：肆之五、利用程式模擬計算動物核子醫學作業可能造成之人員劑量及動物外釋標準)。

(2) 動物(獸醫)醫院之放射診斷 X 光設備現場訪查家數(55 家)分布資料表列如附錄一。

### 三、現場訪查輻射測試結果

#### 1. 動物醫院放射診斷 X 光機現場訪查與檢測

108 年現場訪查及檢測結果，動物醫院放射診斷 X 光機現場訪查與檢測 55 家(台)，檢測結果 51 家(台)均符合規定(一般規定之檢測項目)，共有 4 台 X 光機之安全連鎖裝置異常，請動物醫院限期改善，均於期限內通報改善完畢，經本研究現場訪查人員偕同原能會人員至現場複查後確認完成改善。相關疑似異常之檢測狀況說明列於表 4.2。

表 4.2 目前動物醫院放射診斷 X 光設備一般項檢查異常(4 台)情形彙整列表：

編號	類別編號	單位名稱	檢測日期	異常情形說明	備註
1	V6	長宏動物醫院	108/4/1	連動安全連鎖裝置故障	已於 4 月 29 日偕同原能會人員複查完畢。
2	V28	馬達加斯加動物醫院	108/5/10	連動安全連鎖裝置故障	已於 7 月 18 日偕同原能會人員複查完畢。
3	V35	豐德動物醫院	108/6/21	連動安全連鎖裝置故障	已於 8 月 19 日偕同原能會人員複查完畢。
4	V41	人人動物醫院	108/7/19	連動安全連鎖裝置故障	已於 9 月 03 日偕同原能會人員複查完畢。

檢測 55 台動物用(獸醫)X 光機之劑量率(以 AT1121 檢測)結果彙整分析如下：

(a) 正常使用時，於檢查室外之輻射工作人員劑量率結果

動物用(獸醫)X 光機現場訪查與檢測 55 台，每台 X 光機單次檢查之檢查室外工作人員居佔位置與手部淨劑量率(扣除背景劑量率後)，除了 1 台(編號 V34；為移動型，有規劃管制區，工作人員會在管制區內操作 X 光機)工作人員居佔位置淨劑量率為 1.34  $\mu\text{Sv/h}$ 、工作人員手部淨劑量率為大於 3.20  $\mu\text{Sv/h}$  外，其餘之工作人員居佔位置與手部淨劑量率均小於 0.5  $\mu\text{Sv/h}$ ，如圖 4.3。個別獸醫院動物用 X 光機之每年累積照射秒數統計如圖 4.4 (年累計操作時間最長為 750 秒，為編號 V55 之動物用 X 光機，其每週照射動物數約 100 隻)。考慮每部動物用 X 光機台之每年累積作業時間評估之工作人員之淨年劑量結果均小於 0.1  $\mu\text{Sv}$  (圖 4.5)。

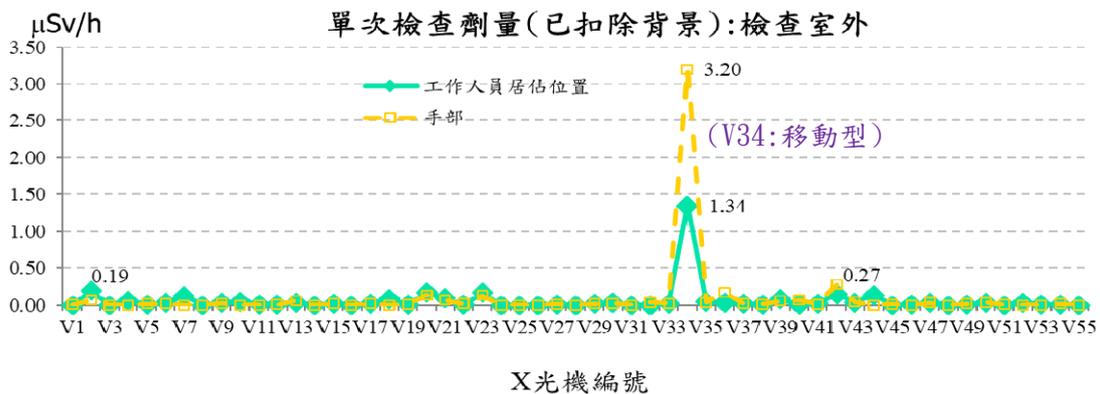


圖 4.3 每台 X 光機單次檢查之檢查室外工作人員居佔位置與手部淨劑量率(已扣除背景)檢測結果

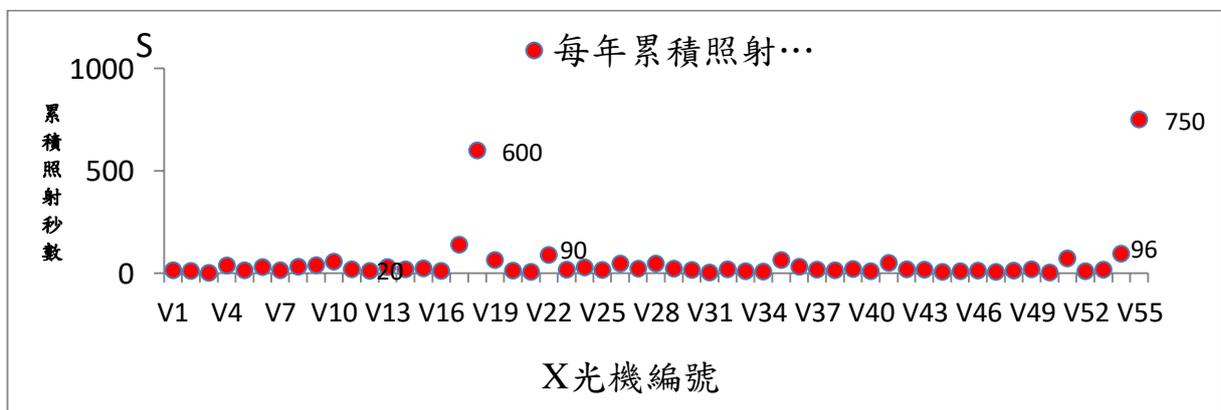


圖 4.4 個別動物用 X 光機每年累積照射秒數

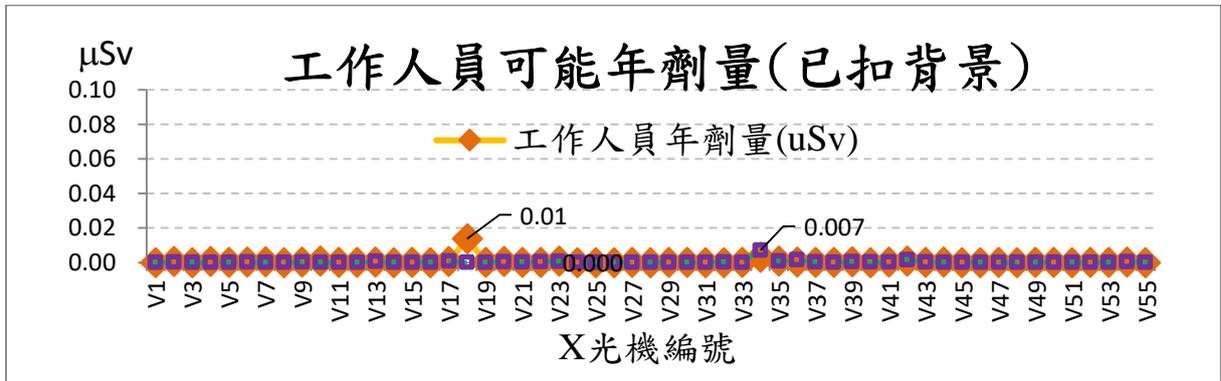


圖 4.5 考慮每部機台之作業時間以及正常作業之劑量率結果後，評估操作動物用(獸醫)X 光機可能造成工作人員之淨年劑量結果(已扣背景)

(b) 考量檢測時，協助照相者在檢查室內有/無穿鉛衣之劑量率結果

本計畫訪查之動物用 X 光機進行單次檢查之檢查室內協助者位置(距照射中心 50 公分處)淨劑量結果示於圖 4.6，考量不同動物醫院對每隻動物檢查之照相次數(每隻照 1~3 次)及每次照相的時間，評估出各動物用 X 光機進行每隻動物照相造成協助者之淨累積劑量結果，示於圖 4.7。協助者如無戴鉛手套之手部最大劑量值為 0.078  $\mu\text{Sv}$ (編號 V42)、如有戴鉛手套之手部最大劑量值為 0.010  $\mu\text{Sv}$ (編號 V42)；協助者居站於距桌面照野中心 50 公分處且有穿鉛衣之身體劑量均在背景劑量範圍，無穿鉛衣之最大身體劑量約為 0.069  $\mu\text{Sv}$ (編號 V54)(遠小於 1  $\mu\text{Sv}$ )。

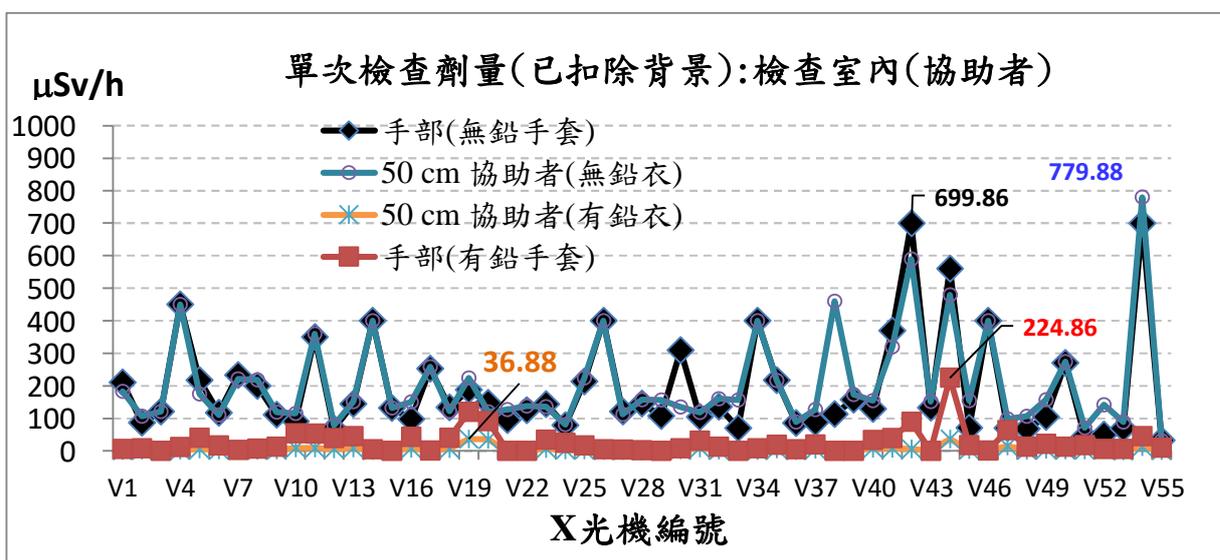


圖 4.6 動物用 X 光機進行單次檢查之檢查室內協助者淨劑量率結果

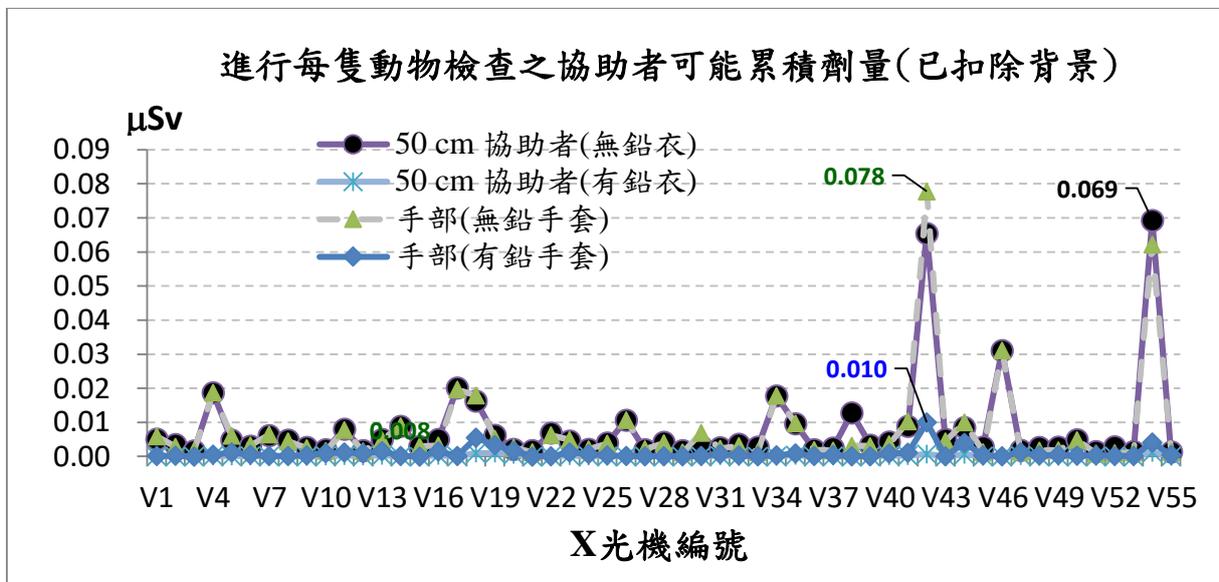


圖 4.7 各動物用 X 光機進行每隻動物照相造成協助者之淨累積年劑量結果

針對各別動物用 X 光機，考量協助者均為同一人及個別動物醫院每年平均照射動物數量，及每次照相的時間，其於檢查室內協助動物照相造成之年累積劑量結果(已扣背景)，示於圖 4.8，協助者如無戴鉛手套之手部最大劑量值為 22.32  $\mu\text{Sv}$ (編號 V18)、如有戴鉛手套之手部最大劑量值為 6.82  $\mu\text{Sv}$ (編號 V18)；協助者居站於距桌面照野中心 50 公分處且有穿鉛衣之身體最大劑量值為 1.23  $\mu\text{Sv}$ (編號 V18)，無穿鉛衣之最大身體劑量約為 20.8  $\mu\text{Sv}$ (編號 V54)(遠小於 1 mSv)。

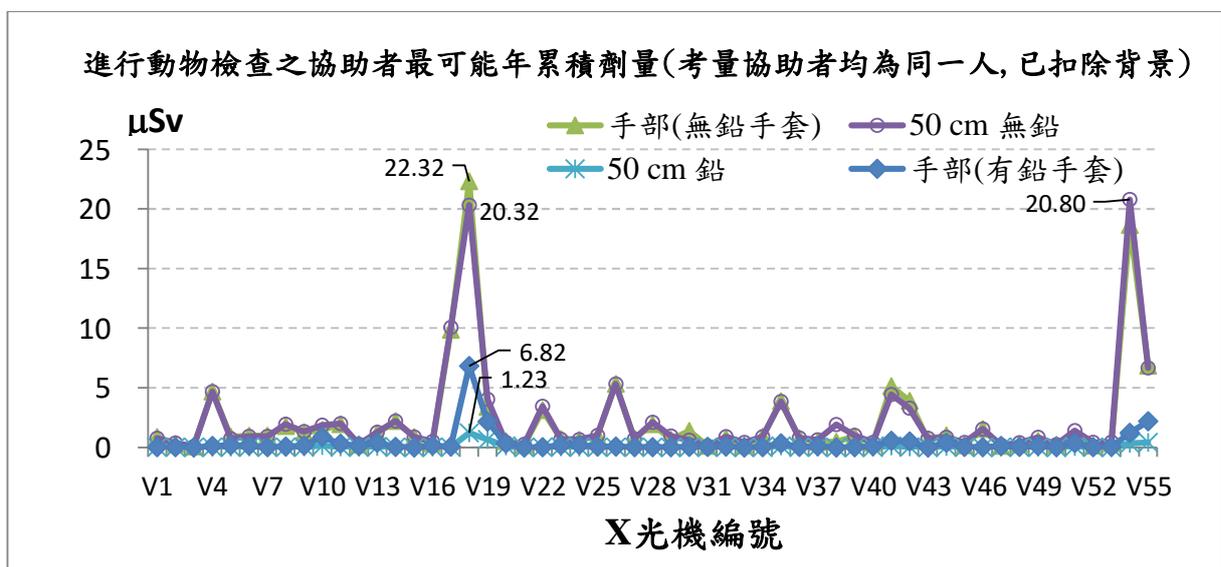


圖 4.8 針對各別動物用 X 光機，考量協助者均為同一人，其於檢查室內協助動物照相造成之年累積劑量結果(已扣背景)

### (c) 輻射安全風險評估結果

(i) 正常使用時，工作人員年劑量均 $<0.1 \mu\text{Sv}$ (在背景劑量範圍)，故不會增加機率效應風險，亦不會發生確定效應。

(ii) 考量檢測時協助照相者在檢查室內有/無穿鉛衣之輻射安全風險：

動物用 X 光機進行一隻動物照相造成協助者之淨累積劑量結果，協助者手部劑量值均小於  $1 \mu\text{Sv}$ (如無戴鉛手套之手部最大劑量值為  $0.078 \mu\text{Sv}$ (編號 V42)、如有戴鉛手套之手部最大劑量值為  $0.010 \mu\text{Sv}$ (編號 V42))；協助者居站於距桌面照野中心 50 公分處且有穿鉛衣之最大身體劑量為背景劑量範圍，無穿鉛衣之最大身體劑量約為  $0.069 \mu\text{Sv}$ (編號 V54)(遠小於  $1 \mu\text{Sv}$ )。(人員接受 1 張胸腔 X 光檢查約累積  $20 \mu\text{Sv}$  之有效劑量)

考量協助者均為同一人及個別動物醫院每年平均照射動物數量，其於檢查室內協助動物照相造成之年累積劑量，協助者手部劑量均小於  $0.1 \text{mSv}$ (如無戴鉛手套之手部最大劑量值為  $22.32 \mu\text{Sv}$ (編號 V18)、如有戴鉛手套之手部最大劑量值為  $6.82 \mu\text{Sv}$ (編號 V18))；協助者居站於距桌面照野中心 50 公分處且有穿鉛衣之最大身體劑量為  $1.23 \mu\text{Sv}$ (編號 V18)，無穿鉛衣之最大身體劑量約為  $20.8 \mu\text{Sv}$ (編號 V54)(遠小於  $1 \text{mSv}$ )。(人員接受 1 張胸腔 X 光檢查約累積  $20 \mu\text{Sv}$  之有效劑量)

依據以上劑量評估結果，協助者在檢查室內協助動物照 X 光，不會增加機率效應風險，亦不會發生確定效應。考量合理抑低的精神，協助者在檢查室內協助動物照相仍應穿戴防護鉛衣及鉛手套，可有效降低人員接受之劑量，達到輻射安全防護的效果。

### (d) 動物放射診斷 X 光機之滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性調查

關於動物放射診斷 X 光機特性調查：依據平常使用之照射條件，對檢查室內 X 光機進行(1)滲漏輻射、(2)有效濾片厚度及(3)光照野誤差等特性檢測，分析評估國內動物用 X 光機特性與國際檢測規範(比照人員放射診斷 X 光機特性要求)之一致性。特性調查檢查異常結果(7 台)數量分布及異常狀況說明彙整，分別列於表 4.3 及表 4.4。以總檢查數 55 台動物用 X 光機做統計，X 光機之滲漏輻射符合人體醫學檢查 X 光機要求的比例約 96.4%(有 2 台異常)、永久性過濾片(有效濾片)厚度符合人體醫學檢查 X 光機要求的

比例約 90.9% (有 5 台異常)、光照野符合人體醫學檢查 X 光機要求的比例約 96.4% (有 2 台異常)。

表 4.3 動物放射診斷 X 光機比照人體醫學檢查 X 光機要求特性調查檢查項目的異常結果數量分布

特性調查檢查項目	異常數量
永久性過濾片(有效濾片)厚度	5 (V17、V22、V29、V30、V31)
光照野	2 (V17、V53)
滲漏輻射	2 (V15、V30)

表 4.4 國內動物用 X 光機特性(滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等)調查檢查異常(7 台)結果彙整表

編號	類別編號	單位名稱	檢測日期	異常情形說明
1	V15	崇愛動物醫院	108/4/18	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 準直儀完全關閉時，X 光機無法操作；</li> <li>● 準直儀微開，貼鉛皮仍無法操作，故該台 X 光機無法量測滲漏輻射。</li> </ul>
2	V17	新生動物醫院	108/4/22	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 準直儀旋鈕故障無法調動。</li> <li>● 永久濾片厚度：使用 52 kVp，量測結果比值為 0.45 (濾片厚度以方法一計算值為 1.74mm)</li> <li>● 照野燈故障，無法量測光照野與照射範圍是否一致。</li> </ul>
3	V22	沐恩動物醫院	108/4/29	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 永久濾片厚度：使用 55kVp，量測結果比值為 0.46 (濾片厚度以方法一計算值為 1.66mm)</li> </ul>
4	V29	台安動物醫院	108/5/10	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 永久濾片厚度：使用 70kVp，量測結果比值為 0.46 (濾片厚度以方法一計算值為 2.09 mm)</li> </ul>
5	V30	信揚動物醫院	108/5/21	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 標籤無法辨識廠牌、型號、序號</li> <li>● 永久濾片厚度：使用 75kVp，量測結果比值為 0.42 (濾片厚度以方法一計算值為 1.426 mm)</li> <li>● 滲漏輻射：準直儀無法完全閉合，故貼鉛皮做量測</li> </ul>
6	V31	長生動物醫院	108/5/21	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 型號與設備登記證不相符，但序號相同，疑為誤填。</li> <li>● 永久濾片厚度：使用 80 kVp，量測結果比值為 0.4 (濾片厚度以方法一計算值為 1.11 mm)</li> </ul>
7	V53	長生動物醫院	108/8/23	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 由於照野燈故障，無法量測光照野與照射範圍是否一致。</li> </ul>

## 2. 動物核子醫學作業場所現場輻射安全及劑量調查

本計畫研究團隊於 108 年 3 月 25 日至台中中台科技大學動物醫學中心進行參訪，藉由參訪中台科技大學動物放射治療研究中心之動物核醫診療及放射治療設施，同時訓練參與計畫人員進行輻射安全訪查之現場偵測訓練(相關照片如圖 4.1)。訪查後了解中台科技大學動物放射治療研究中心目前有不定期進行以直線加速器實施動物放射治療，核醫治療的部分仍在規劃階段。

此外，本計畫研究團隊亦安排於 108 年 9 月 4 日至台北市陽明大學創譯動影 CTAI 寵物正子電腦斷層掃描中心進行訪查，了解其進行動物放射診療(規劃使用 F-18)狀況(相關照片如圖 4.2)。該寵物正子電腦斷層掃描中心，雖已取得使用許可(規劃使用 F-18)進行動物正子斷層掃描檢查作業，但於現場訪查時被告知診療案例不多，計畫執行期間未通知有實際案例。

## 3. 動物放射治療作業之輻射安全及劑量調查

本研究團隊於 108 年 6 月 6 日至中台科技大學動物放射治療研究中心進行動物放射治療設施之輻射安全現場訪查及檢測(如圖 4.9)，檢測結果均符合規定。



圖 4.9 於動物放射治療研究中心進行輻射安全現場訪查及檢測之設施照片

## 四、國際動物診療輻防管制趨勢

本計畫蒐集與研析國際組織或文獻對動物診療(包括執行放射診斷、核子醫學及放射治療等診療作業)之相關輻防管制趨勢、要求及規定等，彙整相關報告之重點，藉以提供做為精進國內動物診療輻射作業之輻防管制之

參考。蒐集之主要文獻包括：

- 美國國家輻射防護與量測委員會(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) 於 2004 年即提出其第 148 號報告(NCRP 148)
- 澳洲輻射防護與核安全機構(Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency)於 2009 提出之輻射防護系列出版物第 17 號報告(Radiation Protection Series, RPS-17)：動物醫學輻射防護的作業與安全導則
- 美國核能管理委員會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)於 2018 年發布之 NUREG-1556 (Volume 7, Rev. 1)報告：Consolidated Guidance About Materials Licenses 有關物質許可的綜合指南
- 國際原能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)於 2018 年提出之 Radiation Protection and Safety in Veterinary Medicine (Draft Safety Report) 獸醫的輻射防護與安全安全報告(草案)

以下就上述所蒐集之主要文獻彙整其重點如下：

國際間對動物用 X 光機的檢測要求，大多一致比照人員醫療 X 光機之規定，需檢測距 X 光管球 1 公尺處之滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性。比照之診斷 X 光機要求為：

- X 光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 1 毫戈雷(mGy)。
- 牙科型 X 光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過 0.25 毫戈雷(mGy)。
- X 光機有用射柱之全部永久性過濾片，在公稱電壓 < 70 kVp 以下時，不得少於 1.5 mm 鋁厚度當量；公稱電壓超過 > 70 kVp 時，不得少於 2.5 mm 鋁厚度當量。
- X 光機準直儀光闌指示燈光照射範圍一致。(應小於靶至檯面距離之 2%。)

關於動物放射治療如以加速器進行動物腫瘤放射治療(目前國內僅一家動物醫院)，因進行治療時，動物均以麻醉後固定處理，再以加速器之照射；因治療時人員不會進入治療室內，治療結束、停止照射後亦不會有輻射殘留問題，因此僅需依一般許可類輻射源管理即可，對動物照射治療的輻射安全問題，無需特別要求。

然而國際間對於使用放射性物質進行動物核子醫學診療作業，因涉及非密封放射性物質之作業，輻射安全需多加小心留意；且又因治療結束後，仍會有放射性物質殘留於動物患者體內，何時將治療後之動物患者外釋出院，應加以評估其輻射影響，特別是仍具放射性物質在體內的動物患者隨動物飼主返家後，其對飼主及飼主家人之影響應予評估，國際亦對此問題特別重視，建議比照人類患者進行核子醫學診療的規定處理。彙整國際文獻對動物核子醫學診療作業後之動物患者外釋標準管制規定：

● 對動物外釋標準之建議為：

- (i) 外釋動物對其飼主造成輻射劑量累積之年劑量不超過 1 mSv；
- (ii) 建議之外釋劑量率標準為在 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$  (NCRP 148)；
- (iii) 建議之外釋劑量率標準劑量率在 15 公分處小於  $10 \mu\text{Sv/h}$  或在 30 公分處小於  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  (NUREG-1556)；
- (iv) 針對 I-131，動物服藥後至少要滿 4 天[96 小時]收容留置在醫院內；
- (v) 獸醫釋放動物後，碘 131 的排泄將持續一段時間。因此，污染和碘 131 的加馬射線都將引起關注，獸醫院應向動物飼主提供明確的書面說明，並告知動物飼主，釋放後一定時間不要抱動物；
- (vi) 在任何一小時內，公眾不會從動物身上接受到超過 0.02 mSv 的劑量，或者一年內不會收到 1 mSv 的劑量；
- (vii) 施用 I-131 後釋放動物的政策必須符合當地的法定要求。
- (viii) 施用 I-131 後動物的釋放需要考慮到動物飼主和飼主家屬的情況。例如，這可能包括任何孩子的年齡，任何懷孕，任何其他寵物，以及房主清理房屋或後院的限制區域並正確處置垃圾箱或清理嘔吐物、尿液和糞便的能力。

國際文獻對相關動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定，分別彙整說明於附錄二至附錄五。附錄二為 NCRP 148 報告關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整；附錄三為澳洲 RPS-17 報告關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整；附錄四為美國 NRC 之 NUREG-1556 (Volume 7, Rev. 1) 報告關於動物核子醫學診療作業之輻射安

全管制規定彙整；附錄五則為 2018 年 IAEA 提出之獸醫的輻射防護與安全安全報告(草案)關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整。

## 五、 利用程式模擬計算動物核子醫學作業可能造成之人員劑量及動物外釋標準

本計畫利用 MicroShield 對動物核子醫學作業可能造成之相關人員輻射劑量進行模擬計算， MicroShield 程式軟體之特性說明如下：

### 1. 以 $^{131}\text{I}$ 供治療動物甲狀腺核醫治療之相關人員劑量評估

甲狀腺功能亢進是最常見的貓科動物內分泌疾病，常見的治療方式包括外科手術或 I-131 治療，使用 I-131 的優勢在於可以破壞功能亢進的組織而不傷害正常功能的甲狀腺組織，治癒成功率高。在動物進行核醫學診療時，相關人員也可能受到不同程度的輻射照射，特別是動物飼養者，可能在診療期間及出院後也一直陪伴在動物身邊。故本計畫針對包括獸醫師、放射師、輔助者及飼主等人員，評估其於獸醫院內動物接受核子醫學診療時可能接受的劑量，以及動物出院時，對飼主造成的相關劑量規範及輻射防護之建議。

依據 NCRP 148 指出，動物甲狀腺亢進之治療，使用 I-131(半化期: 8.04 天)之活度一般為： 148 MBq (4 mCi)，一般利用 2.0 cm 厚鉛製屏蔽容器運送 I-131 藥物。其治療過程為：將動物帶入治療室後，利用不織布捲紙包覆，再進行投藥，治療結束後，進入病房休養並進行管制；通常動物治療後將在醫院留置休養至少要滿 4 天，且劑量率在 15 公分處小於 10  $\mu\text{Sv/h}$  或在 30 公分處小於 2.5  $\mu\text{Sv/h}$  (美國 NUREG-1556)。

#### (a) 動物留置天數與飼主接受之輻射劑量管制

##### (i) I-131 治療

若每隻動物接受甲狀腺亢進之治療，使用 I-131 之活度為 148 MBq (4 mCi)，則以 MicroShield 程式，模擬身長為 40~64 公分範圍中型動物體型，以高 45 公分，半徑 6 公分圓柱動物假體進行模擬計算，I-131 分布在動物體內，分別模擬計算動物在治療後 10 至 13 天，距離動物飼主身體 15 公分、30 公分及 1 公尺處之輻射劑量率，以及以 15 公分處劑量率計算之可能累積年劑量(結果列於表 4.5)。

表 4.5 動物在接受 4 mCi 之 I-131 治療後 10 至 13 天，距離動物飼主身體 15 公分、30 公分及 1 公尺處之輻射劑量率；以及以 15 公分處劑量率計算之可能累積年劑量

動物治療後天數	10 天	11 天	12 天	13 天
I-131 活度(mCi)	1.69	1.55	1.42	1.30
I-131 生物代謝殘留體內(約 20%)之活度(mCi)	0.34	0.31	0.28	0.26
距動物體表 15 公分處之劑量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	11.41	10.40	9.40	8.05
距動物體表 30 公分處之劑量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	4.50	4.10	3.70	3.17
距動物體表 1 公尺處之劑量率( $\mu\text{Sv/h}$ )	0.57	0.52	0.47	0.40
距動物體表 15 公分處之累積年劑量(mSv/y)	1.06	0.97	0.87	0.75

由表 4.5 之計算結果可知，若考慮 I-131 物理衰變及其在動物體內生物代謝殘留體內(約 20%)之活度[22]，以及 NUREG-1556 建議在 15 公分處劑量率小於  $10 \mu\text{Sv/h}$  之外釋條件，則在治療後第 12 天時，在 15 公分處劑量率約為  $9.40 \mu\text{Sv/h}$ ，可符合 NUREG-1556 外釋動物的條件，外釋後動物飼主距動物體表 15 公分處之累積年劑量可以下式計算：

$$D = \int (R_0 * e^{-\lambda t}) dt \quad (3)$$

$$R_0 = \frac{\lambda \times D}{(1 - e^{-\lambda t})}, t = 1y \quad (4)$$

其中  $R_0$  可設為外釋當日距動物體表 15 公分處之劑量率(= $9.40 \mu\text{Sv/h}$ )；將半化期 8.04 天( $\lambda = 0.693/\text{半化期}$ )及時間  $t=1$  年代入公式(3)，積分後結果乘以  $8/24$ (假設一天照顧 8 小時)，可得年劑量 =  $0.87 \text{ mSv}$ 。將公式(3)整理後可得公式(4)  $R_0$  與年劑量  $D$  之關係。如考慮假設一天照顧 8 小時的情形，則公式(4)將修正為下式：

$$R_0 = \frac{\lambda \times D}{(1 - e^{-\lambda t})} \times 3, t = 1y \quad (5)$$

經計算後發現(表 4.5)，於第 11 天外釋時，在 15 公分處劑量率為  $10.4 \mu\text{Sv/h}$ ，雖超過 NUREG-1556 外釋動物的條件，但計算其年劑量仍小於  $1 \text{ mSv}$  且最接近  $1 \text{ mSv}$ ；若以  $D=1 \text{ mSv}$  回推計算，則  $R_0 = 10.77 \mu\text{Sv/h}$ 。考慮偵檢器的量測誤差等可能因素，一般取保守值  $10 \mu\text{Sv/h}$  作為外釋動物之劑量率依據，而此劑量率量測位置，NUREG-1556 建議測量距動物表面 15 公分處位置之劑量率(考慮 I-131 物理衰變及其在動物體內生物代謝殘留體內(約 20%)之活度)。亦即，以 I-131 治療後，外釋動物時之動物表面 15 公分處之劑量率  $R_0 = 10.77 \mu\text{Sv/h}$ ，將使後續動物外釋後對其飼主之累積輻射劑量等於  $1 \text{ mSv}$ ，因此建議(取整數)  $R_0 = 10 \mu\text{Sv/h}$  可做為外釋時動物表面 15 公分處之劑量率標準，將可確保動物外釋後對其飼主累積輻射劑量將小於  $1 \text{ mSv}$ 。

如依循 2004 年 NCRP 148 之要求為在距動物體表 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$  為國際目前主要使用之外釋標準(僅考慮 I-131 物理衰變之活度, 不考慮其在動物體內生物代謝殘留體內之比率); 使用 I-131 之活度一般為 148 MBq (4 mCi), 在動物治療後第 4 天時, 僅考慮 I-131 物理衰變之動物體內活度變為 2.83 mCi, 距動物體表 1 m 處之劑量率為  $4.73 \mu\text{Sv/h}$ , 符合其動物外釋標準; 因此可知, 其建議動物 I-131 治療後將在醫院留置休養至少要滿 4 天(以 1m 處之劑量率評估之年劑量也會小於 1 mSv)。

綜合而言如以上續計算為例, 依據 NCRP 148 之要求在距動物體表 1 m 處之劑量率在第 4 天為  $4.73 \mu\text{Sv/h}$ , 可符合其外釋標準進行動物外釋; 但如依據 NUREG-1556 外釋動物的條件(在動物體表 15 公分處劑量率小於  $10 \mu\text{Sv/h}$ ), 則考慮 I-131 物理衰變及其在動物體內生物代謝殘留體內(約 20%)之活度衰減, 在治療後第 12 天時, 在 15 公分處劑量率約為  $9.40 \mu\text{Sv/h}$ , 才可符合 NUREG-1556 外釋動物的條件。因此 NUREG-1556 之標準似乎較 NCRP 148 之要求嚴格。

#### (ii) F-18 PET 檢查

F-18(半化期為 110 分鐘)用在獸醫院當中, 主要是用來進行 PET 的檢查, 在考慮診療後動物外釋時, 外釋動物對其飼主造成輻射劑量累積之年劑量不超過 1mSv, 參考公式(5)及 F-18 半化期, 若以  $D=1 \text{ mSv}$  回推計算, 則  $R_0 = 1134 \mu\text{Sv/h}$ 。此劑量率量測位置, NUREG-1556 建議測量距動物表面 15 公分處位置之劑量率。亦即, 以 F-18 PET 檢查後, 外釋動物時之動物表面 15 公分處之劑量率  $R_0 = 1134 \mu\text{Sv/h}$ , 將使後續動物外釋後對其飼主之累積輻射劑量等於 1 mSv, 如取整數  $R_0 = 1000 \mu\text{Sv/h}$  做為保守之外釋時動物表面 15 公分處之劑量率標準, 可確保動物外釋後對其飼主累積輻射劑量將小於 1 mSv。依據目前臨床上使用 F-18 的劑量範圍約為 4.5 至 9 mCi, 以最大值 9 mCi 計算 PET 造影結束後不同時間的殘餘活度、距動物體表 15 cm、30 cm 及 1 m 處的劑量率, 結果示於表 4.6。

表 4.6 注射活度為 9 mCi 之 F-18 進行動物 PET 造影, 於不同時間時的殘餘活度, 以及距動物體表 15 cm、30 cm 及 1 m 處的劑量率結果

經過時間 (自注射後起算)	殘餘活度 (mCi)	15 cm 處劑量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	30 cm 處劑量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	1 m 處劑量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )
120 min	4.23	937.5	234.4	21.08
180 min	2.90	642.7	160.7	14.45
240 min	1.98	438.8	109.7	9.868
300 min	1.36	301.4	75.35	6.778
349 min	1.00	221.4	55.35	4.979
360 min	0.93	205.8	51.52	4.635
1937 min	$4.51 \times 10^{-5}$	10.0	2.50	0.225

2004 年 NCRP 148 之要求為在 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$ ，若以此標準，則自給藥注射後 349 分鐘時可達外釋動物標準；如考慮外釋後之年劑量不超過 1 mSv，則在 15 公分處劑量率小於  $1000 \mu\text{Sv/h}$  之外釋條件亦可符合動物外釋後對飼主造成之年劑量  $< 1 \text{ mSv}$  之標準，以此標準估計，在自注射起算第 120 分鐘(PET 造影結束後 30 分鐘)時即可達外釋動物標準(15 公分處劑量率  $= 937.5 \mu\text{Sv/h} < 1000 \mu\text{Sv/h}$ )。但因 F-18 之半化期短，因此劑量影響期間較短，故以年劑量評估雖不會超過 1 mSv，但短時間內如考慮第 1 天的累積劑量，如  $R_0 = 1000 \mu\text{Sv/h}$ ，則第 1 天的累積劑量即接近 1 mSv；此亦為 NUREG-1556 建議所有放射性藥物在 15 cm 處劑量率最大不可大於  $20 \mu\text{Sv/h}$  之原因。如  $R_0 = 937.5 \mu\text{Sv/h}$ (自注射起算第 120 分鐘時即外釋，15 cm 處劑量率)，則第 1 天的累積劑量  $= 826.6 \mu\text{Sv}$ ；如  $R_0 = 234.4 \mu\text{Sv/h}$ (自注射起算第 120 分鐘時即外釋，30 cm 處劑量率)，則第 1 天的累積劑量  $= 206.7 \mu\text{Sv}$ ；如  $R_0 = 21.08 \mu\text{Sv/h}$ (自注射起算第 120 分鐘時即外釋，1 m 處劑量率)，則第 1 天的累積劑量  $= 18.59 \mu\text{Sv}$ ；如於注射後 1937 分鐘時(約 32 小時又 17 分鐘)外釋，此時 15 cm 處  $R_0 = 10 \mu\text{Sv/h}$ ，則外釋動物後第 1 天的累積劑量  $= 8.9 \mu\text{Sv}$ (考量距動物 15 cm 處之累積劑量；如  $R_0 = 5 \mu\text{Sv/h}$ (在 1 m 處)，則第 1 天的累積劑量  $= 4.4 \mu\text{Sv}$ (在 1 m 處)(在 15 cm 處累積劑量  $= 195.2 \mu\text{Sv}$ )，如表 4.7。

表 4.7 活度為 9 mCi 之 F-18 PET 造影結束後以不同外釋標準外釋後第一天，造成飼主之最大累積劑量，分別以距動物體表 15 cm、30 cm 及 1 m 處的劑量率計算之結果

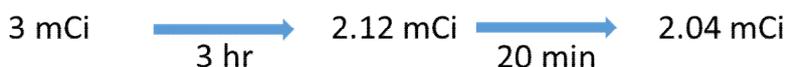
外釋標準 $R_0$	外釋第一天造成飼主最大累積劑量( $\mu\text{Sv}$ )		
	以 15 cm 處計算	以 30 cm 處計算	以 1 m 處計算
15 cm 處 $= 937.5 \mu\text{Sv/h}$	826.6	206.7	18.6
15 cm 處 $= 10 \mu\text{Sv/h}$	8.9	2.2	0.2
1 m 處 $= 5 \mu\text{Sv/h}$	195.3	48.8	4.4

綜合而言如以上述計算為例，依據 NCRP 148 之要求在距動物體表 1 m 處之劑量率在自給藥注射後 349 分鐘(PET 造影結束後 259 分鐘)時可符合外釋動物標準進行動物外釋；但如依據 NUREG-1556 外釋動物的條件(在動物體表 15 公分處劑量率小於  $10 \mu\text{Sv/h}$ )，則在僅考慮 F-18 物理衰變時，在注射後 1937 分鐘時，動物體表 15 公分處劑量率可達  $10 \mu\text{Sv/h}$  之外釋標準；如在考慮及其在動物體內生物代謝殘留體內(約 20%)之活度變化，則在自注射後起算 388 分鐘時，動物體表 15 公分處劑量率可達  $10 \mu\text{Sv/h}$  之外釋標

準，與 NCRP 148 之要求在注射後 349 分鐘差異較接近。NUREG-1556 之標準似乎較 NCRP 148 之要求嚴格。

### (iii) Tc-99m SPECT 檢查

Tc-99m(半化期為 6.02 小時)其臨床動物核醫檢查，一般使用活度約 110 MBq (3 mCi)，檢查過程因為打藥後需較長的等待時間才可開始照影，因此一般希望早上即接動物案例進行診療，下午不另外接診療案例，只做上午照影的部分。所以考量到等待時間以及照射時間，一般一天最多做 3 個動物案例。一個案例包含等待時間、照射時間前置作業及準備工作等等，約估需要 200 min，前置作業及準備工作等等約需 30 min，因此每次照影檢查時間相隔 30 min。採用保守估計，等待時間假設為 3 hr，照射時間為 20 min，其照射時程如下：



照影檢查過程結束後經 200 min，剩餘活度為 2.04 mCi，1 m 劑量率為 2.04  $\mu\text{Sv/h}$ ，已低於 2004 年 NCRP 148 之要求(在 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$ )，可外釋動物出院；而此時 15 cm 劑量率為 27.4  $\mu\text{Sv/h}$ ，30 cm 劑量率為 9.68  $\mu\text{Sv/h}$ 。在考慮診療後動物外釋時，外釋動物對其飼主造成輻射劑量累積之年劑量不超過 1mSv，參考公式(5)及 Tc-99m 半化期，若以  $D=1 \text{ mSv}$  回推計算，則  $R_0=345.3 \mu\text{Sv/h}$ 。此劑量率量測位置，如考慮以 NUREG-1556 建議測量距動物表面 15 公分處位置之劑量率。亦即，以 Tc-99m SPECT 檢查後，外釋動物時之動物表面 15 公分處之劑量率  $R_0=345.3 \mu\text{Sv/h}$ ，將使後續動物外釋後對其飼主之累積輻射劑量等於 1 mSv，若取整數  $R_0=300 \mu\text{Sv/h}$  做為保守之外釋時動物表面 15 公分處之劑量率標準，將可確保動物外釋後對其飼主累積輻射劑量將小於 1 mSv。如要達到 2018 年美國 NUREG-1556 建議在 15 公分處劑量率小於 10  $\mu\text{Sv/h}$  之外釋條件，則造影過程結束後經 726 min(約 12.1 小時)後，在 15 公分處劑量率小於 10  $\mu\text{Sv/h}$ ，符合 2018 年美國 NUREG-1556 建議之外釋標準。

因 Tc-99m 之半化期為 6.02 小時，因此劑量影響期間亦較短，故以年劑量評估雖不會超過 1 mSv，但短時間內如考慮第 1 天的累積劑量，如  $R_0=300 \mu\text{Sv/h}$ ，則第 1 天的累積劑量即=813.9  $\mu\text{Sv}$ ；如  $R_0=10 \mu\text{Sv/h}$ ，則第 1 天的累積劑量=27.2  $\mu\text{Sv}$ ；如  $R_0=5 \mu\text{Sv/h}$ ，則第 1 天的累積劑量=13.6  $\mu\text{Sv}$ 。以保守作法而言，建議依循 2004 年 NCRP 148 之要求為在 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$  作為標準；或 NUREG-1556 建議距動物表面 15 公分處位置之劑量率 10  $\mu\text{Sv/h}$  作為外釋動物之劑量率依據均可。綜合而論，NUREG-1556 之

標準似乎較 NCRP 148 之要求嚴格。

(b) 動物核醫 I-131 治療之工作人員劑量

若每隻動物進行治療使用之 I-131 藥劑活度為 148 MBq (4 mCi)，在 I-131 治療室/檢查室注射；動物進行注射後，留置在 I-131 病房治療/休養，動物在醫院留置接受照護天數以前述之 12 天評估。

在計算作業人員劑量的部分，模擬中型動物為圓柱假體，高 45 公分，半徑 6 公分，I-131 廢棄物為點射源，分別模擬計算作業人員身體(距離動物表面 30 公分)及手部(距離動物表面 5 公分)。每隻動物進行核醫 I-131 治療時，各作業程序之工作人員劑量計算與評估結果如下：

(i) 給藥注射作業工作人員

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射 I-131 活度：4 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 92.64  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。每隻動物注射給藥時間約為 1 分鐘，則此作業之工作人員接受之有效劑量為：

$$92.64 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 1 \text{ min}/\text{次} = 1.544 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射 I-131 活度：4 mCi) 工作人員手部之劑量率為 4018  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。每隻動物給藥時間約為 1 分鐘，則此作業之工作人員之手部劑量為：

$$4018 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 1 \text{ min}/\text{次} = 66.967 \mu\text{Sv}$$

(ii) 動物留置照護作業(餵食+清理)工作人員

- 身體劑量(餵食)：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射 I-131 活度：4 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 57.73  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每隻動物總計餵食 24 次(每隻動物住院 12 天，每天餵食 2 次)，一次餵食約 5 min。則此作業之工作人員身體有效劑量為：

$$57.73 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 5 \text{ min}/\text{次} \times 24 \text{ 次}/\text{隻} = 115.460 \mu\text{Sv}$$

- 身體劑量(清理廢棄物)：評估距廢棄物桶 30 公分處之工作人員身體劑量。假設每天清理一次(1 隻動物廢棄物)，每次約 5 min，**生理代謝 80%**，活度估算：4 (mCi/隻)  $\times$  0.8 = 3.2 mCi；第一天清理時為 3.2 mCi，後 11 天清理活度加總約為 1.6 mCi，則每隻清理排泄性廢棄物之總活度為 3.2+1.6= 4.8 mCi。評估 1 隻動物 12 天每天清理其廢棄物之工作人員劑量，可以此活度(4.8 mCi)之一次性清理，

作為清理其廢棄物之工作人員劑量。利用 Microshield 計算(廢棄物桶 I-131 活度:4.8 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 111.16  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。則 1 隻動物置留 12 天, 每天清理其廢棄物之工作人員劑量劑量為:

$$111.2 \mu\text{Sv}/\text{h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 5 \text{ min}/\text{次} = 9.267 \mu\text{Sv}$$

- 每隻動物留置照護作業將造成工作人員之全身有效劑量為:

$$115.460 \mu\text{Sv} + 9.267 \mu\text{Sv} = 124.727 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量(餵食): 評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射 I-131 活度:4 mCi) 工作人員手部之劑量率為 469.7  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每隻動物總計餵食 24 次(每隻動物住院 12 天, 每天餵食 2 次), 一次餵食約 5 min, )。則此作業之工作人員手部劑量為:

$$469.7 \mu\text{Sv}/\text{h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 5 \text{ min}/\text{次} \times 24 \text{ 次}/\text{隻} = 939.400 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量(清理廢棄物): 評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。假設每天清理一次(1 隻動物廢棄物), 每次約 5 min, 生理代謝 80%, 活度估算: 4 (mCi/隻)  $\times$  0.8 = 3.2 mCi; 第一天清理時為 3.2 mCi, 後 11 天清理活度加總約為 1.6 mCi, 則每隻清理排泄性廢棄物之總活度為 3.2+1.6= 4.8 mCi。評估 1 隻動物 12 天每天清理其廢棄物之工作人員劑量, 可以此活度(4.8 mCi)之一次性清理, 作為清理其廢棄物之工作人員劑量。以 Microshield 計算(廢棄物桶 I-131 活度:4.8 mCi) 工作人員手部之劑量率為 4821  $\mu\text{Sv}/\text{h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。則此作業之工作人員手部劑量為:

$$4821 \mu\text{Sv}/\text{h} \times 1 \text{ h}/60 \text{ min} \times 5 \text{ min}/\text{次} = 401.750 \mu\text{Sv}$$

- 每隻動物留置照護作業將造成工作人員之手部劑量為:

$$939.400 \mu\text{Sv} + 401.750 \mu\text{Sv} = 1341.15 \mu\text{Sv}$$

每隻動物接受核醫 I-131 治療之工作人員劑量計算與評估結果彙整如表 4.8, 給藥注射作業將造成工作人員全身之有效劑量為 1.544  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量為 66.967  $\mu\text{Sv}$ ; 動物留置照護作業將造成工作人員全身之有效劑量 124.727  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 1341.15  $\mu\text{Sv}$ ; 如工作人員為同一人, 則造成之全身有效劑量為 126.271  $\mu\text{Sv}$  (0.126 mSv)、手部劑量(等價劑量)為 1408.117  $\mu\text{Sv}$  (1.413 mSv)。

表 4.8 每隻動物接受核醫 I-131 治療之工作人員劑量計算結果

作業類別	全身有效劑量	手部等價劑量
給藥注射作業	1.544 $\mu$ Sv	66.967 $\mu$ Sv
動物留置照護作業	124.727 $\mu$ Sv	1341.150 $\mu$ Sv
總計	0.126 mSv	1.408 mSv

(c) 使用  $^{18}\text{F}$  放射性藥物進行 PET 正子斷層掃描之相關人員劑量評估

F-18 用在獸醫院當中，主要是用來進行 PET/CT 的檢查，進行檢查的方式如下：

先將動物移至檢查室內，並進行給藥注射，依照體型給予不同的劑量，目前臨床上使用的劑量，最小為 4.5 mCi，最大為 9 mCi，打藥注射結束後須於檢查床上等待 60 分鐘，之後再進行照影，照影檢查時間約 30 分鐘，因此有關對飼主的影響包括輻射劑量的計算，以及外釋條件標準等，是考慮打藥時間經過 90 分鐘後的殘餘劑量去做計算，也就是照影結束後才開始計算對飼主的影響；而工作人員的劑量影響則是考慮從一開始打藥注射即開始計算。

每隻動物接受核醫 F-18 (9 mCi) PET 正子斷層掃描之工作人員劑量計算：

(i) 給藥注射作業工作人員

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。動物注射 F-18 活度：9 mCi，以 Microshield 計算工作人員身體之有效劑量率為 531.2  $\mu$ Sv/h (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每隻動物給藥注射一次(活度：9 mCi)，每次注射時間約為 5 秒，則此作業之工作人員全身有效劑量為：

$$531.2 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 5 \text{ s/次} = 0.737 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。動物注射 F-18 活度：9 mCi，以 Microshield 計算工作人員手部之劑量率為 22900  $\mu$ Sv/h (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每隻動物給藥注射一次(活度：9 mCi)，每次注射時間約為 5 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：

$$22900 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 5 \text{ s/次} = 31.806 \mu\text{Sv}$$

(ii) 動物造影檢查作業工作人員

- 身體劑量(擺位)：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。動物注射 F-18 活度：9 mCi，以 Microshield 計算工作人員身體之有

效劑量率為 531.2  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次擺位時間約估為 10 秒，造影掃描時控制台操作時間為 30 分鐘。則此作業之工作人員身體有效劑量為：

$$531.2 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} \times 10 \text{ s/次} = 1.476 \mu\text{Sv}$$

- 身體劑量(控制造影掃描)：評估工作人員身體(控制台位置)劑量。依據臨床實務經驗，一般工作人員於檢查室外居站位置之身體劑量率通常背景劑量率，因此控制造影掃描時之工作人員身體有效劑量可忽略不計。
- 每隻動物造影檢查作業(擺位+控制造影掃描)工作人員身體有效劑量為 1.476  $\mu\text{Sv}$ 。
- 手部劑量(擺位)：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。動物注射 F-18 活度：9 mCi，以 Microshield 計算工作人員手部之劑量率為 22900  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次擺位時間約估為 10 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：  
$$22900 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} \times 10 \text{ s/次} = 63.611 \mu\text{Sv}$$
- 手部劑量(控制造影掃描)：評估工作人員身體(控制台位置)劑量。依據臨床實務經驗，一般工作人員於檢查室外居站位置之身體劑量率通常背景劑量率，因此控制造影掃描時之工作人員手部劑量可忽略不計。
- 每隻動物造影檢查作業(擺位+控制造影掃描)工作人員手部劑量為：63.611  $\mu\text{Sv}$ 。

### (iii) 動物移置作業工作人員

考量每隻動物自打藥注射(9 mCi)後於檢查床上等待 60 分鐘，再進行 30 分鐘照影檢查，造影檢查程序結束後(此時之動物體內 F-18 活度估計約剩餘 5.08 mCi，工作人員將動物移開 PET 檢查床於他處病房留置，移動動物時間約估算 20 秒。

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射 F-18 活度：9 mCi，移置動物時之活度為 5.08 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 299.8  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次移動動物時間約估算 20 秒，則此作業之工作人員身體有效劑量為：  
$$299.8 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h} / 3600 \text{ s} \times 20 \text{ s/次} = 1.666 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射 F-18 活度：9 mCi，移置動物時之活度為 5.08 mCi) 工作人員手部之劑量率為 12930  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次移動動物時間約估算 20 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：

$$12930 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 20 \text{ s/次} = 71.833 \mu\text{Sv}$$

(iv) 動物外釋後清理廢棄物作業之工作人員

動物移置至病房後留置，**假設**以 0.5 cm 厚之鉛屏蔽，如自給藥注射後約 349~388 分鐘後動物可外釋，一般會稍晚於自給藥注射後約 4 個半化期(約為  $4 \times 110$  分鐘=440 分鐘)的時間，再行清理含放射性之廢棄物。每次清理廢棄物時間估計約為 1 分鐘。

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射 F-18 活度：9 mCi，清理時間約為給藥注射後約 4 個半化期(440 分鐘)) 工作人員身體之有效劑量率為 18.313  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次清理廢棄物時間約為 1 分鐘。則此作業之工作人員身體有效劑量為：

$$18.313 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 60 \text{ s/次} = 0.305 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射 F-18 活度：9 mCi，清理時間約為給藥注射後約 4 個半化期(440 分鐘)) 工作人員手部之劑量率為 786.25  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次清理廢棄物時間約為 1 分鐘。則此作業之工作人員手部劑量為：

$$786.25 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 60 \text{ s/次} = 13.104 \mu\text{Sv}$$

表 4.9 每隻動物進行 F-18 PET 造影檢查之工作人員劑量計算結果

作業類別	全身有效劑量	手部等價劑量
給藥注射作業	0.737 $\mu\text{Sv}$	63.61 $\mu\text{Sv}$
動物造影作業	1.417 $\mu\text{Sv}$	48.86 $\mu\text{Sv}$
動物移置作業	1.666 $\mu\text{Sv}$	71.83 $\mu\text{Sv}$
清理廢棄物作業	0.305 $\mu\text{Sv}$	13.14 $\mu\text{Sv}$
總計	13.104 $\mu\text{Sv}$	161.49 $\mu\text{Sv}$

每隻動物進行 F-18 PET 造影檢查之工作人員劑量計算結果彙整如表 4.9，給藥注射作業將造成全身有效劑量 0.737  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 31.806  $\mu\text{Sv}$ ；動物造影作業將造成全身有效劑量 1.476  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 63.611  $\mu\text{Sv}$ ；

動物移置作業將造成全身有效劑量 1.666  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 71.833  $\mu\text{Sv}$ ；清理廢棄物作業將造成全身有效劑量 0.305  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 13.14  $\mu\text{Sv}$ ；如工作人員為同一人，則造成之全身有效劑量為 13.104  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量(等價劑量)為 161.49  $\mu\text{Sv}$ 。

(d) 使用  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  放射性藥物進行 SPECT 掃描之相關人員劑量評估

$\text{Tc-}^{99\text{m}}$ (半化期為 6.02 小時)其臨床動物核醫檢查，一般使用活度約 3 mCi 進行動物 SPECT 造影掃描檢查。一個動物 SPECT 檢查包含等待時間、照射時間前置作業及準備工作等等，約估需要 200 min。每隻動物進行核醫  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  SPECT 掃描造影檢查之工作人員劑量計算如下：

(i) 給藥注射作業工作人員

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 23.59  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次注射時間約為 5 秒，則此作業之工作人員身體有效劑量為：

$$23.59 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 5 \text{ s/次} = 0.033 \mu\text{Sv}$$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員手部之劑量率為 1131  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次注射時間約為 5 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：

$$1131 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 5 \text{ s/次} = 1.571 \mu\text{Sv}$$

(ii) 動物造影作業工作人員

- 身體劑量(擺位)：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 23.59  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次擺位時間約估為 10 秒，則此作業之工作人員身體有效劑量為：

$$23.59 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 10 \text{ s/次} = 0.066 \mu\text{Sv}$$

- 身體劑量(控制造影掃描)：評估工作人員身體(控制台位置)劑量。依據臨床實務經驗，一般工作人員於檢查室外居站位置之身體劑量率通常背景劑量率，因此控制造影掃描時之工作人員身體有效劑量可忽略不計。

- 動物造影作業(擺位+控制造影掃描)工作人員身體有效劑量為：0.066  $\mu\text{Sv}$ 。

- 手部劑量(擺位)：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99m}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員手部之劑量率為 1131  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次擺位時間約估為 10 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：  
 $1131 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 10 \text{ s/次} = 3.142 \mu\text{Sv}$
- 手部劑量(控制造影掃描)：評估工作人員身體(控制台位置)劑量。依據臨床實務經驗，一般工作人員於檢查室外居站位置之身體劑量率通常背景劑量率，因此控制造影掃描時之工作人員身體有效劑量可忽略不計。
- 動物造影作業(擺位+控制造影掃描)工作人員手部劑量為：3.142  $\mu\text{Sv}$ 。

### (iii) 動物移置作業工作人員

考量每隻動物自給藥注射( $^{99m}\text{Tc}$  活度：3 mCi)後，並於造影檢查程序結束後，工作人員將動物移開 SPECT 檢查床於他處病房留置，移動動物時間約估算 20 秒。

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99m}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員身體之有效劑量率為 90.02  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次移動動物時間約估算 20 秒，則此作業之工作人員身體有效劑量為：  
 $90.02 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 20 \text{ s/次} = 0.500 \mu\text{Sv}$
- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99m}\text{Tc}$  活度：3 mCi) 工作人員手部之劑量率為 4331  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次移動動物時間約估算 20 秒，則此作業之工作人員手部劑量為：  
 $4331 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 20 \text{ s/次} = 24.061 \mu\text{Sv}$

### (iv) 動物外釋後清理廢棄物作業工作人員

動物移置至病房後留置，**假設**以 0.5 cm 厚之鉛屏蔽，如自給藥注射後約 12.1 小時後動物可外釋，外釋後再行清理含放射性之廢棄物。每次清理廢棄物時間估計約為 1 分鐘。

- 身體劑量：評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99m}\text{Tc}$  活度：3 mCi，清理時間約為給藥

注射後約 2 個半化期(12.1 小時)) 工作人員身體之有效劑量率為 55.03  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次清理廢棄物時間約估為 60 秒。則此作業之工作人員身體有效劑量為：  
 $55.03 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 60 \text{ s/次} = 0.917 \mu\text{Sv}$

- 手部劑量：評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。以 Microshield 計算(動物注射  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  活度：3 mCi，清理時間約為給藥注射後約 2 個半化期(12.1 小時)) 工作人員手部之劑量率為 2652  $\mu\text{Sv/h}$  (Microshield 計算結果列於附件六)。假設每次清理廢棄物時間約估為 60 秒。則此作業之工作人員手部劑量為：  
 $2652 \mu\text{Sv/h} \times 1 \text{ h}/3600 \text{ s} \times 60 \text{ s/次} = 44.2 \mu\text{Sv}$

每隻動物進行 Tc-99m SPECT 造影檢查之工作人員劑量計算結果彙整如表 4.10，給藥注射作業將造成全身有效劑量為 0.33  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量為 1.571  $\mu\text{Sv}$ ；動物造影作業將造成全身有效劑量為 0.07  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 3.14  $\mu\text{Sv}$ ；動物移置作業將造成全身年有效劑量 0.50  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 24.061  $\mu\text{Sv}$ ；清理廢棄物作業將造成全身有效劑量 0.92  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量 44.20  $\mu\text{Sv}$ ；如工作人員為同一人，則造成之全身年有效劑量為 1.82  $\mu\text{Sv}$ 、手部劑量(等價劑量)為 72.97  $\mu\text{Sv}$ 。

表 4.10 動物 Tc-99m SPECT 造影檢查之工作人員劑量計算結果

作業類別	全身有效劑量	手部劑量
給藥注射作業	0.33 $\mu\text{Sv}$	1.57 $\mu\text{Sv}$
動物造影作業	0.07 $\mu\text{Sv}$	3.14 $\mu\text{Sv}$
動物移置作業	0.50 $\mu\text{Sv}$	24.06 $\mu\text{Sv}$
清理廢棄物作業	0.92 $\mu\text{Sv}$	44.20 $\mu\text{Sv}$
總計	1.82 $\mu\text{Sv}$	72.97 $\mu\text{Sv}$

在動物核醫輻射防護要求的部分，輻射工作人員應使用人員劑量計、指環劑量計、鉛衣、鉛手套等進行防護，其治療記錄須保存，在管制區劑量限值：檢查室、I-131 病房、廢棄物室、走廊為  $< 10 \mu\text{Sv/h}$ ，監測區(走道)及一般環境  $< 0.5 \mu\text{Sv/h}$ ；人員的部分：工作人員手部劑量  $< 500 \text{ mSv/y}$ ，全身有效劑量  $< 100 \text{ mSv/5y}$  (最大 50  $\text{mSv/y}$ )，一般民眾(動物飼主)全身有效劑量則是  $< 1 \text{ mSv/y}$ 。

## 六、 國內動物用輻射診療作業之輻射防護及安全規範及相關管制建議

本計畫藉由現場訪查之機會，了解實務作業可能面臨之問題。本計畫於各縣市執行 55 家動物用(獸醫)放射診斷 X 光設備現場訪查檢測，檢測結果 55 家(台)中有 51 家(台)符合規定(一般規定之檢測項目)，共有 4 台不符合 X 光機之安全連鎖裝置規定，經複驗結果確認均已完成改善。

在動物用(獸醫)放射診斷 X 光設備之輻防管制建議上，依據本計畫今年度訪查結果發現，現行檢查項目規定中主要異常狀況為 X 光機之安全連鎖裝置故障或失效，異常率約 7.3%。建議未來仍可將動物用診斷 X 光機列為訪查標的，持續訪查可降低異常率的發生，並提升管制效能。

此外，關於國際間多將動物用(獸醫)放射診斷 X 光設備之檢測要求，大多一致比照人員醫療 X 光機之規定，需檢測距 X 光管球 1 公尺處之滲漏輻射、有效濾片厚度及光照野誤差等特性；依據本計畫今年度訪查結果發現，以總檢查數 55 台動物用 X 光機做統計，X 光機之滲漏輻射符合人體醫學檢查 X 光機要求的比例約 96.4%(有 2 台異常)、永久性過濾片(有效濾片)厚度符合人體醫學檢查 X 光機要求的比例約 90.9%(有 5 台異常)、光照野符合人體醫學檢查 X 光機要求的比例約 96.4%(有 2 台異常)。由結果看來，仍有少部分之 X 光機設備未能符合比照人員醫療 X 光機之規定，此部分亦建議未來仍可持續相關訪查項目之檢測，以降低異常率的發生。

除了動物(獸醫)醫院之放射診斷 X 光設備外，在動物核子醫學作業之輻射安全及劑量調查方面，本計畫研究團隊參訪一家放射治療研究中心之動物放射診療設施(包括動物核子醫學及放射治療作業)及對其放射治療設施之現場輻射安全訪查；但現場瞭解其動物核子醫學治療作業(規劃使用 I-131)仍未完成使用程序申請。此外，本計畫研究團隊亦參訪了一家動物正子電腦斷層掃描中心，瞭解其進行動物正子掃描(規劃使用 F-18)之作業狀況，但於現場訪查時被告知短期內暫無動物臨床診療案件。本計畫雖未進一步進行動物核醫治療之現場量測檢測，但仍蒐集、彙整研析了國際主要的幾個重要參考文獻，依據前述彙整之國際輻防管制趨勢、要求及規定等，提出動物輻射診療作業之輻射安全規範(草案)以及動物核子醫學診療外釋標準之輻射防護及安全規範(草案)。動物輻射診療作業之輻射安全規範(草案)建議列於附錄七。動物核子醫學診療外釋標準規範(草案)建議及受診療動物外釋出院後之飼主的輻射安全指南，分別列於附錄八及附錄九。

## 七、 具體成果產出量化值

本計畫規劃 108 年將培育博碩士生 1~2 人、投稿 1 篇論文、完成研究報告 1 篇及規範建議 1 份。今年度計有 3 位清華大學生醫工程與環境科學系碩士生(劉欣瑋、吳孟勳、馬鈺婷)參與此研究，並於 108 年 9 月發表 1 篇論文在國際重要學術研討會：

Y.T. Ma, H.W. Liu, **F.Y. Hsu\*** and C.H. Hsu, Radiation Safety Survey of Veterinary Radiology Diagnosis and Nuclear Medicine in Taiwan, 19<sup>th</sup> International Conference on Solid State Dosimetry, SSD-19, Hiroshima, Japan, 15-20 Sep 2019.

此外，完成研究(成果)報告 1 份及完成動物輻射診療作業之輻射安全規範(草案)、動物核子醫學診療外釋標準規範(草案)建議及受診療動物外釋出院後之飼主的輻射安全指南等 3 份規範(草案)建議；規劃之具體成果產出量化值均已達成。

## 伍、結論

本計畫規劃 108 年全年至少完成 50 家動物醫院，108 年已執行完成 55 家動物醫院放射診斷 X 光機現場訪查與檢測，及 1 家動物放射治療中心之直線加速器動物放射治療等診療作業之輻射劑量現場量測調查；此外尚有參訪了 1 家寵物正子電腦斷層掃描中心及 1 家動物放射治療研究中心之動物放射治療設施。關於動物核子醫學則因目前國內包括動物核子醫學及放射治療作業仍未完成使用程序申請，而寵物正子電腦斷層掃描中心，已規劃使用 F-18 進行動物正子掃描檢查作業，但暫無動物臨床診療案件。前本計畫研究團隊蒐集相關動物核子醫學治療作業之作業程序資料，利用 MicroShield 程式模擬計算動物使用不同核醫藥物診療：I-131 核醫治療、F-18 PET 造影及 Tc-99m SPECT 造影檢查情境下，診療期間對工作人員及診療後對一般民眾(動物飼主)可能造成之輻射劑量；並探討這些不同核醫藥物診療之動物外釋條件。

現場訪查動物醫院放射診斷 X 光機檢測，檢測結果 55 家(台)中有 51 家(台)符合規定(一般規定之檢測項目)，共有 4 台不符合 X 光機之安全連鎖裝置規定，檢查後限期改善，經使用 X 光機單位回報改善完後，本研究團隊訪查人員偕同原能會人員至現場複查，複驗結果確認均已完成改善，符合相關規定。

國際文獻對動物外釋標準之主要建議為：

- 外釋動物對其飼主造成輻射劑量累積之年劑量不超過 1mSv；
- 建議之外釋劑量率標準為在 1 m 處之劑量率  $< 5 \mu\text{Sv/h}$  (NCRP 148)；
- 建議之外釋劑量率標準劑量率在 15 公分處小於  $10 \mu\text{Sv/h}$  或在 30 公分處小於  $2.5 \mu\text{Sv/h}$  (NUREG-1556)；

NUREG-1556 之標準似乎較 NCRP 148 之要求嚴格；如有考慮其在動物體內生物代謝殘留體內之活度變化，則 NUREG-1556 之標準與 NCRP 148 之要求會較接近。

此外，本計畫依據國際文獻之動物核醫診療經驗及資訊，以 MicroShield 分別計算評估一隻動物如進行 I-131 動物治療或 F-18 動物 PET 造影檢查或 Tc-99m 動物 SPECT 造影檢查等，動物核醫診療作業之工作人員可能接受之輻射劑量。

本計畫藉由現場訪查之機會，了解實務作業可能面臨之問題，並提出相

關管制建議。彙整研析了國際主要的幾個重要參考文獻，依據前述彙整之國際輻防管制趨勢、要求及規定等，提出動物核子醫學診療之輻射防護及安全規範(草案)、動物核子醫學診療外釋標準規範(草案)建議及受診療動物外釋出院後之飼主的輻射安全指南等建議資料。規劃之具體成果產出量化值亦均已達成。本計畫主持人許芳裕博士於 108 年 2 月 25 日及 11 月 15 日至原能會進行二次工作方法與進度簡報，並於 12 月 6 日前完成發文提送期末報告至原能會。綜合而言，本計畫依據契約書規訂之方法與要求進行，符合原規劃之進度。

## 陸、参考文献

- [1] Code of Practice & Safety Guide: Radiation protection in veterinary medicine, Radiation protection series publication no.17. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 2009.
- [2] EPA (Final Draft) Radiation Guideline 6: Compliance requirements for ionizing radiation apparatus used in diagnostic imaging (part 6: veterinary science – radiography and fluoroscopy), The NSW Environment Protection Authority (EPA), Sydney, 2016.
- [3] IAEA Safety Standards Series No. GSR-Part3: Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards, general safety requirements. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2014.
- [4] IAEA Draft Safety Report: Radiation protection and safety in veterinary medicine, International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2018
- [5] National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP), Radiation Protection in Veterinary Medicine, NCRP Report no. 148, 2004.
- [6] Radiation Safety relating to veterinary medicine and animal health technology in California, California Veterinary Medical Board, 2012.
- [7] SSI FS 2000:5, The Swedish Radiation Protection Institute's Regulations and General Advice on Practice with X-rays in Veterinary Medicine, Swedish Radiation Protection Institute, 2000.
- [8] STUK GUIDE ST 8.1, Radiation Safety in Veterinary X-ray Examinations, Radiation and Nuclear Safety Authority, Finland, 2012.
- [9] The 1991 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60, 1991.
- [10] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, 2007.
- [11] USNRC 10 CFR Part 35.75, Release of individuals containing unsealed byproduct material or implants containing byproduct material. United States Nuclear Regulatory Commission, 2007.
- [12] USNRC NUREG-1556, Consolidated guidance about materials licenses, NUREG-1556, V7, Rev. 1, 2018.

- [13] 行政院原子能委員會，醫用診斷型 X 光機測試報告。
- [14] 行政院原子能委員會，診斷型 X 光機(含移動型、透視設備)輻射安全審查項目。
- [15] 行政院原子能委員會，醫用電腦斷層掃瞄儀測試報告。
- [16] 行政院原子能委員會，電腦斷層攝影掃描儀輻射安全審查項目。
- [17] 行政院原子能委員會，醫用牙科型 X 光機測試報告。
- [18] 行政院原子能委員會，牙科型 X 光機輻射安全審查項目。
- [19] 行政院原子能委員會，醫用可發生游離輻射設備(許可類)測試報告。
- [20] 行政院原子能委員會，非醫用登記類可發生游離輻射設備輻射安全測試報告。
- [21] 行政院原子能委員會，非醫用許可類可發生游離輻射設備輻射安全測試報告。
- [22] Hung, G., Lee, K., Liao, P. *et al.* The influence of I-131 therapy on FDG uptake in differentiated thyroid cancer. *Ann Nucl Med* **22**, 481–485, 2008.

附錄一、108 年動物診斷用 X 光機檢測紀錄表列資料(動物診斷用 X 光機總計 55 家)

(一)動物用(獸醫)X 光機 Veterinary X-ray (55 台)

編號	日期	單位	區域	證號
V1	108/03/29	日祥動物醫院	新北市	登設字 2010557 號
V2	108/07/22	仁喆動物醫院	新北市	登設字 2008421 號
V3	108/03/29	藍世界動物醫院林口分院	新北市	登設字 2011153 號
V4	108/04/01	恩典動物醫院	台北市	登設字 2009833 號
V5	108/04/01	諾亞動物醫院	台北市	登設字 2001733 號
V6	108/04/01	長宏動物醫院	台北市	登設字 2012606 號
V7	108/04/08	宜家動物醫院	台中市	登設字 2010647 號
V8	108/04/08	彩虹動物醫院	台中市	登設字 1008841 號
V9	108/04/08	森洵動物醫院	台中市	登設字 2013247 號
V10	108/04/12	柏正動物醫院	高雄市	登設字 2011400 號
V11	108/04/12	正耘動物醫院	高雄市	登設字 2009674 號
V12	108/04/12	樂生動物醫院	高雄市	登設字 2007545 號
V13	108/04/15	躍生動物醫院	新北市	登設字 2013477 號
V14	108/04/18	樂咖動物醫院	台南市	登設字 2013807 號
V15	108/04/18	崇愛動物醫院	台南市	登設字 2004489 號
V16	108/04/22	普羅旺斯動物醫院	台中市	登設字 2010310 號
V17	108/04/22	新生動物醫院	台中市	登設字 2002279 號
V18	108/04/22	中泰動物醫院	台中市	登設字 2011341 號
V19	108/04/25	府城動物醫院	台南市	登設字 2011080 號
V20	108/04/25	勝立動物醫院	台南市	登設字 2010814 號
V21	108/04/25	諾亞動物醫院	台南市	登設字 2004309 號
V22	108/04/29	沐恩動物醫院	台北市	登設字 2006543 號
V23	108/04/29	宏成動物醫院	台北市	登設字 2012239 號
V24	108/05/02	上哲動物醫院	嘉義市	登設字 2010553 號
V25	108/05/02	丸三動物醫院	嘉義市	登設字 2007945 號
V26	108/05/02	培安動物醫院	嘉義市	登設字 2014361 號
V27	108/05/10	雙十動物醫院	新北市	登設字 2008597 號
V28	108/05/10	馬達加斯加動物醫院	新北市	登設字 2011184 號
V29	108/05/10	台安動物醫院	新北市	登設字 2002520 號
V30	108/05/21	信揚動物醫院	台中市	登設字 2000398 號
V31	108/05/21	長生動物醫院	台中市	登設字 2002377 號

V32	108/05/21	心美動物醫院	台中市	登設字 1009839 號
V33	108/06/10	依努動物醫院	新北市	登設字 2013759 號
V34	108/06/10	真正動物醫院	新北市	登設字 2013842 號
V35	108/06/21	豐德動物醫院	台北市	登設字 2001497 號
V36	108/06/21	詠欣動物醫院	台北市	登設字 2006269 號
V37	108/06/25	星辰動物醫院	台北市	登設字 1022370 號
V38	108/06/25	欣旺動物醫院	台北市	登設字 2006826 號
V39	108/06/25	松山動物醫院	台北市	登設字 2010819 號
V40	108/07/19	泛亞動物醫院	桃園市	登設字 2010728 號
V41	108/07/19	人人動物醫院	桃園市	登設字 2005293 號
V42	108/07/25	琍生動物醫院	高雄市	登設字 2000909 號
V43	108/07/25	藍天動物醫院	高雄市	登設字 2010644 號
V44	108/07/25	十銓動物醫院	高雄市	登設字 2012821 號
V45	108/07/29	德艾動物醫院	新北市	登設字 2014637 號
V46	108/07/29	芯安動物醫院	新北市	登設字 2014308 號
V47	108/07/29	四季動物醫院	新北市	登設字 2010277 號
V48	108/08/05	安生動物醫院	苗栗縣	登設字 2013346 號
V49	108/08/05	全美動物醫院	新竹市	登設字 2008995 號
V50	108/08/05	中日動物醫院	新竹市	登設字 2009458 號
V51	108/08/16	品湛動物醫院	桃園市	登設字 2013030 號
V52	108/08/16	萌萌家動物醫院	桃園市	登設字 2015714 號
V53	108/08/23	長生動物醫院	桃園市	登設字 2000142 號
V54	108/08/23	綠崧動物醫院	桃園市	登設字 2011222 號
V55	108/09/20	台灣大學農學院附設動物醫院	台北市	登設字 2009029 號

## 附錄二、NCRP 148 報告(2004 年)關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整

NCRP 148建議動物核醫診療操作之注意事項如下：

### (1) 放射性同位素(核醫藥物)在動物中的使用

使用放射性同位素(核醫藥物)在動物診療須受主管機關管制。此外，獸醫院需要向將從事放射性動物常規或緊急護理的人員提供有關動物，放射性同位素(核醫藥物)和所進行活動，護理和餵養，籠子或圍欄清潔以及廢物處置的具體說明。此類說明應為書面形式。

### (2) 釋放經過處理的動物和對飼主的說明

在將動物釋放給其主人時，並在製定書面預防措施以供主人遵循時，應測量外部輻射水平並確定污染的可能性。NCRP(1993)建議公眾連續曝露的年度有效劑量限值為1 mSv，偶爾接觸的年度有效劑量限值為5 mSv。這些建議已被監管機構採用，適用於人體進行核醫診療後釋放人類患者的劑量。釋放動物患者時，亦不得超過這些限制。通常，用I-131治療的動物一旦被釋放，將具有曝露和污染的可能性。獸醫應向飼主提供書面說明，包括警告不要抱動物，該說明應提供足夠的資訊，以避免出現問題，並在合理預防下使飼主/寵物主人保持在公眾的有效劑量限值以下。

決定被治療動物釋放的最常見方法是使用蓋革-穆勒(Geiger-Mueller, GM)計數器測量動物個體的外部曝露/劑量率。釋放標準因不同州或地區而異。NRC建議的釋放標準是在1 m處的曝露率 $\leq 5 \mu\text{Sv/h}$ ，這將確保動物飼主之有效劑量不會超過1 mSv的年劑量限制。放射性藥物給藥後釋放的時間取決於放射性同位素(核醫藥物)的給藥活性和生物清除率。生物清除率因動物而異，因此最好對每隻動物進行實際的外部曝露/劑量率測量。表面曝露/劑量率很大程度上取決於輻射偵檢器的位置，因此建議在1 m處進行測量，因為與表面讀數相比，其變化較小。1m的距離是人與動物的距離的典型值。但是，獸醫仍應諮詢州監管機構以確認該州的適當釋放標準。

放射性碘(I)和放射性鎝(Tc)都可以使用在1 m處 $\leq 5 \mu\text{Sv/h}$ 的釋放標準。例如，大多數接受148 MBq I-131治療甲狀腺亢進的貓都會在一周內達到此曝露/劑量率。使用Tc-99m掃描的動物將在注射後24小時內釋放。獸醫院亦應當警告動物飼主，釋放後一定時間不要抱動物，這要取決於放射性同位素(核醫藥物)的曝露/劑量率和半化期。如果在1 m處曝露/劑量率為 $5 \mu\text{Sv/h}$ ，則合理的等待時間為2到4個半化期。

附錄三、澳洲 RPS-17 報告(2009 年)關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整

對於動物核子醫學診斷和治療的輻射安全管制建議程序與作法：

**(1) 程序和設施**

核醫學涉及將非密封的放射性物質(即液體，氣溶膠或氣態物質)用於診斷或治療目的。在動物準備、給藥和隨後的護理過程中，放射性物質的含量應適當控制，以免引入了更大的危害。

(1.1) 診斷或治療性核醫學獸醫程序只能執行：

- (a)在專門為此目的設計的區域內；和
- (b)須獲得有關監管機關的特別授權。

(1.2) 診斷動物(獸醫)核醫學只能由以下人員進行：

- (a)經過以下方面的專門培訓：
  - (i)輻射物理學；
  - (ii)放射生物學；
  - (iii)輻射危害和防護。
- (b)在以下方面具有實踐(輻射作業)經驗：
  - (i)核醫學儀器；
  - (ii)成像程序；
  - (iii)放射性藥物的質量控制；
  - (iv)處理非密封的放射性物質；
  - (v)熱室實驗室程序和臨床實踐(輻射作業)。
- (c)已由相關監管機構適當授權者。

(1.3) 治療性動物(獸醫)核醫學只能由以下人員進行：

- (a)符合(1.2)條中關於診斷性核醫學的要求；
- (b)在以下方面接受額外的培訓：
  - (i)放射性物質的生物途徑和分佈；
  - (ii)輻射劑量法；
  - (iii)洩漏調解程序方面的經驗；
  - (iv)以治療中遇到的水平處理放射性廢物。

(1.4) 必須為以下方面製定詳細的書面程序：

- (a)除污；
- (b)處置放射性廢物。

(1.5) 專用設施必須用於：

- (a)儲存，安全處理，操縱和分配非密封的放射源；
- (b)向動物施用非密封的放射性物質；

- (c)隨後收容飼養動物；
- (d)對動物體內放射性物質的測量以及隨後的任何調查；
- (e)完成研究後，在出院前收容動物。
- (1.6) 必須在將要收容飼養動物的寢所(窩)，箱子，攤位或其他圍欄上貼上明顯適當的輻射示警標誌和說明。
- (1.7) 在實施程序之前，必須為每種類型的核子醫學作業程序制定書面程序。
- (1.8) 必須作出適當的安排以釋放或處置動物。
- (1.9) 必須保留所有放射性物質的接收，使用和處置記錄。

## **(2)核子醫學程序**

- (2.1)對於使用碘 131 治療貓甲狀腺功能亢進症，必須執行以下要求：
  - (a)必須為以下列項目提供隔離，屏蔽，通風良好的安全區域：
    - (i)管理放射性物質；
    - (ii)服藥後將貓住院至少 5 天，
  - (b)放射性物質必須保存在有屏蔽的容器中，直到即將給藥之前；
  - (c)如果放射性碘通過靜脈內或皮下注射：
    - (i)在手術過程中必須戴一次性手套；
    - (ii)在手術過程中必須將一次性手套，注射器針筒和任何其他可能被污染的物品或材料作為放射性廢棄物存放。
  - (d)必須有通風良好的屏蔽區域以儲存放射性廢物；
  - (e)從動物休息籠子中取出的所有材料必須是：
    - (i)用一次性手套處理；和
    - (ii)按照詳細的安全規程作為放射性廢棄物儲存；
  - (f)處理放射性物質的書面程序必須包括以下內容：
    - (i)給藥後對該區域的常規輻射監測；和
    - (ii)溢出後清理程序和輻射監測；
  - (g)在外釋/釋放時，主治獸醫必須在接下來的兩個星期內為貓的主人提供其使用語言的書面指導書，以說明如何處理貓隻，包括：
    - (i)避免長時間靠近貓的指示(幾分鐘以上)，尤其是在第一週內；
    - (ii)可以短時間安全地拾起/捉起貓的資訊，但不能長時間讓貓坐在任何人的膝蓋上或在床上躺著睡覺；
    - (iii)指示如果貓：
      - A.在住宅內排尿，應使用紙巾將尿液徹底清除，然後將其放入垃圾袋中；和
      - B.居所內的貓嘔吐物，應使用紙巾徹底清理，然後將其放入垃圾袋中；

- (iv)指示在此期間只應在通風良好的地方處理貓；
  - (v)指示在清理尿液時戴上橡膠手套，然後徹底洗手；和
  - (vi)指示如果貓的尿液浸入了衣服或地毯中，應徹底清洗。
  - (h)服藥後：
    - (i)在可行的情況下，該貓必須是：
      - A.用一次性手套處理；
      - B.保持一定距離；
    - (ii)用適當的輻射測量儀監測治療區域和用過的一次性手套。
  - (i)除非自然通風良好，否則必須安裝排風扇；
  - (j)放射性碘為膠囊形式的情況：
    - (i)貓必須是：
      - A.輕輕地使自己安靜下來；和
      - B.放置在深盤中，例如嬰兒浴盆，內襯吸收性紙，用於放射性物質的施用；
    - (ii)在可能的情況下，必須使用長柄鑷子將膠囊順著喉嚨向下插入，然後用注射器將約 20 毫升水注入口中；和
    - (iii)必須考慮到動物隨後嘔吐的風險，
  - (k)如果貓在治療完成前死亡，則必須是：
    - (i)密封在塑料袋中；
    - (ii)作為放射性廢棄物存儲，直到可以火化或釋放以埋葬為止；
    - (iii) 在經過適當的腐爛時間後火化或外釋給主人埋葬。
- (2.2) 鎝- 99m(Tc-99m)：當 Tc-99m 用於核子醫學程序時，必須滿足以下要求：
- (a)必須有隔離，屏蔽和保安的場所用於：
    - (i)管理放射性物質；和
    - (ii)給藥後將動物住院收容。
  - (b)必須使所有有關人員知道他們正在處理放射性動物；
  - (c)程序和注意事項必須是：
    - (i)精心計劃；和
    - (ii)向所有與處理放射性動物有關的人員進行說明解釋；
  - (d)必須提供適當的動物約束/束縛以使在成像或其他程序期間對放射性動物的處理最小化；
  - (e)18 歲以下的人和孕婦不得在核醫學程序中接觸動物，並應在該區域的顯眼處顯示有關此要求的通知；
  - (f)成像過程必須使用單獨的屏蔽且安全的位置；
  - (g)為了能夠用沖洗方式以清除任何放射性污染物，用於核醫學程序

的房間的牆壁和固定裝置必須為防水和“防滑”。

(h)地板必須密封無法滲透且易於清潔。

(i)必須為一般廢棄物提供排水；

(j)必須考慮使排尿污染程度最小的程序；

(k)必須配備除污設備，以方便快捷地對該區域進行除污；

(l)必須在 24 小時後再處置該區域受污染的被褥和其他物品，

(m)必須為在成像控制台上的操作員提供適當的防護；

(n)在成像過程中必須對動物進行鎮靜。

- 用碘 131 治療貓甲狀腺功能亢進：碘易揮發，如果不採取適當的預防措施，碘很容易汽化並可以吸入體內並累積。此外，蒸氣可能會在通風不良的區域積聚，從而對附近的任何人造成潛在的吸入危害。

## 附錄四、美國 NRC 之 NUREG-1556 (Volume 7, Rev. 1)報告(2018 年)關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整

美國 NRC 於 2018 年提出之實驗動物和獸藥使用指南要點概述如下：

### (1) 在動物中使用許可物質進行研究

許多動物研究都是使用放射性物質作為藥物研究，代謝研究和其他科學研究領域中的示踪劑進行的。許多示踪劑研究使用氙或碳 14 等低能  $\beta$  發射體，但可以使用諸如 Tc-99m、氟 18 和其他通常在核醫學中發現的放射性物質的加馬發射體進行藥物研究。除了典型的實驗動物(例如小鼠，大鼠和兔子)外，動物使用可能涉及昆蟲，魚類，鳥類或大型動物，例如狗，豬或牛。許可的材料通常通過注射方式施用於動物，但也可以使用其他方法。研究中使用的許可物質的類型，形式和數量，以及將使用這些動物的動物類型，將決定將實施哪些輻射安全程序。

### (2) 在獸醫治療中用於診斷或治療的許可放射性物質的使用

在動物中用於診斷和治療的許可物質的使用在許多方面類似於人類對許可物質的醫學用途使用。許可物質在動物中最常見的獸醫用途是給予碘 131 進行貓的治療，以及給予 Tc-99m 進行馬的診斷研究。儘管聯邦法規(10 CFR)10 CFR 第 35 部分的標題 10 規定了人類使用副產物物質的醫療要求和規定，但第 35 部分中的規定不適用於獸醫用許可物質。但許多獸醫申請人使用的安全設備和程序與第 35 部分所述的用於治療患者的安全設備和程序類似。此外，許多獸醫與根據以下條款獲得許可的醫療機構一樣，從同一供應商處獲得放射性化合物，放射性藥物或密封源，以診斷和治療動物第 35 部分。

申請人應說明如何獲得許可物質。培訓獸醫人員的要求以及用於診斷和治療的污染控制和廢棄物處置程序與在動物研究中實驗室使用的程序相同。根據各州法規，必須在有執照的獸醫的指導下對動物進行醫療處理，申請人應在其建議的授權用戶(AU)清單中包括至少一名獸醫。獸醫對待的大多數動物都是寵物，它們將被交還給其飼主，必須特別注意確保飼主(公眾)的劑量應盡可能合理抑低(ALARA)。因此，獸醫設施還必須向寵物飼主提供有關動物被釋放時的護理和處理的說明。

### (3) 培訓在動物診療中使用放射性同位素(藥物)的工作人員

在允許個人護理用於研究中或經許可物質治療動物之前，監管機關必須確保 AU 具有足夠的培訓和經驗，以保持合理抑低 ALARA 劑

量，控制污染和適當處理廢物。AU 可能是獸醫、研究人員、其他實驗室人員和動物飼養員。課堂培訓可以通過傳統講座，線上或錄製的演示文稿，自學或其他適當的形式進行，並且應涵蓋以下主題領域：

- 輻射防護的原則和做法
- 放射性測量，監測技術和使用儀器
- 使用和測量放射性的基礎數學和計算
- 輻射的生物學影響適當的在職培訓應包括
- 觀察授權人員對動物進行許可的活動，包括使用調查設備，適當的污染控制技術和處置放射性物質的適當方法對動物進行放射性物質的管理。
- 在被授權處理經許可材料或其他包含許可材料處理的動物的個人的監督下和在場時，與動物進行許可活動。建議個人在進行許可活動之前練習新程序，而不使用放射性物質。活動應包括對動物進行放射性物質管理，使用調查設備，適當的污染控制技術以及正確處置放射性物質。
- 針對許可使用的放射性同位素(類型，形式和數量；發射的輻射；化學成分)進行的專門培訓，將要執行的程序，所使用的動物以及所用材料必需的調查和污染控制活動和執行的程序。

#### (4) 污染控制

為了最大程度地減少污染擴散，應將使用許可放射性物質的動物圈養在與其他動物分開的籠子或攤位中。應該固定設施，攤位或籠子，以防止未經授權動物進入。動物房應清晰張貼或貼上標籤，以便看護人知道哪些動物被使用了放射性物質。在張貼/貼標籤籠子時要小心，以確保張貼或貼標籤不會對動物造成攝入或窒息的危險。照顧這些動物的人應酌情戴手套，實驗室外套，護目鏡或其他防護服，以減少人身污染的機會。清潔可能在床上用品中包含放射性物質和動物廢棄/排泄物(糞便)的籠子或攤位時，應格外小心。

在動物中使用某些化合物可能需要特殊的程序，設備或設施。例如，用於動物的碳 14 標記化合物可能會作為動物呼吸中的二氧化碳消除，並且可能需要將動物收容在具有特殊通風和空氣處理能力的設施中。用許可放射性物質研究魚類可能需要單獨的水處理和測試。

#### (5) 廢棄物處理

處置含有放射性物質的動物屍體可能需要特殊程序。每克動物組織平均碳含量低於每克動物組織的碳 14 或氬少於 1.85 千貝克(0.05 微居里)的動物屍體，可以通過與非放射性動物屍體相同的方法進行處理。

含有半化期少於 120 天的副產物物質的動物屍體可能會被允許在儲存中腐爛。如果在保存期結束時對屍體進行的輻射調查(在適當的背景下，在低背景區域且無任何屏蔽)，則腐爛動物屍體可以作為非放射性處置。與背景沒有區別。含有其他長壽命放射性物質的動物屍體必須作為放射性廢物處置。

如果許可的放射性物質的半化期為 120 天或更短，則可以由腐爛處理受污染的物品(例如動物床上用品，注射器，防護手套，贓物和紙質覆蓋物)，或者通過轉移到許可的廢物經紀人處以獲取長壽命放射性物質材料。一些廢物可能適合處理到下水道，例如動物排泄物，它是易於分散的生物材料，可以滿足 10 CFR 20.2003 中的標準。

#### (6) 釋放動物出院

研究人員或獸醫在確保公眾從動物身上獲得的劑量在 10 CFR 20.1301 法規的限制之內，任何注入了放射性化合物或植入了放射源的動物才能被釋放。10 CFR 20.1301 中的規定要求，在許可的操作中，等效於許可操作的公眾個人的總有效劑量不得超過 1 毫西弗/年(1 mSv/y)，並且在任何不受限制的區域中，劑量率不得超過 0.02 mSv/h。公眾人士是任何個人，除非該個人正在接受職業劑量。因此，在研究人員或獸醫釋放動物之後，公眾包括動物的旁觀者，寵物主人，家庭成員或其他看護人。

科學家或獸醫可將接受了放射性物質以用於診斷，治療或研究目的之動物釋放給動物看護人。這些動物被認為是“放射性的”，並放置在籠子和房間內，並貼有適當的警告標誌，並貼上標籤，直到這些動物可以釋放給“不受控制的”人群或其主人。被許可方應制定評估此版本的標準。考慮釋放動物的項目包括放射性同位素的類型和尿液和/或糞便中的濃度；以及與籠子可觸及的側面(或相距一定距離)接觸時的劑量率。

用許可的放射性物質處理動物然後釋放動物的最常見情況是向貓施用 I-131，以治療甲狀腺亢進。因此，該處理將用作在施用許可放射性物質後釋放動物的實例。在以下情況條件符合下，貓隻才能被釋放：

- 貓隻服藥後至少要滿4天(96小時)收容留置在醫院內
- 劑量率在15公分處小於 0.01 mSv/h (10  $\mu$ Sv/h)或在30公分處小於 0.0025 mSv/h (2.5  $\mu$ Sv/h)
- 向動物飼主提供書面說明
- 被許可人可以證明，在任何一小時內，公眾不會從貓隻身上接受到超過0.02 mSv的劑量，或者一年內不會收到1 mSv的劑量(依據之法規限制為10 CFR 20.1301)

被許可設施經營者必須確保用 I-131 處理的貓到公眾的個人(包括

家庭成員)的劑量不超過 0.02 mSv/h，並在 10 CFR 20.1301 法規中指定了 1 mSv/y 公眾年劑量限值。被許可設施經營者應向動物飼主提供書面指示(以避免混淆)，以減少對動物飼主或其家人(公眾)的劑量。

在採用上述釋放貓隻患者的標準時，還應考慮貓隻患者的輻射數據。30 公分的 0.0025 mSv/h (2.5  $\mu$ R/h)的劑量率是保守的釋放標準。如果飼主在頭幾天遵循指示限制與貓的互動，則一個人接受 1 mSv 劑量的可能性很小。在實施之前，申請人必須在其申請文件資料中說明包括從獸醫診療或實驗室活動中使用經過許可放射性物質處理的貓的釋放標準。如果符合下列條件，NRC 可以接受其他提議的獸醫貓放行標準 (i)與動物飼主允許的接觸程度和持續時間有關的說明很容易讓飼主遵循，並且(ii)任何一小時內潛在劑量都將大大低於 0.02 mSv/h 或每年 1 mSv。此類建議將根據具體情況進行審核。決定將經過 I-131 治療的貓放到有小孩的房屋中的釋放日期時，可能需要其他考慮。

對於貓，不建議在 30 公分處釋放標準高於 5  $\mu$ R/h，因為如果釋放標準的限制不太嚴格，則對公眾的劑量不太可能低於任一小時內為 0.02 mSv 或一年內少於 1 mSv。此外，以較高輻射水平釋放的貓還可能含有足夠的放射性物質，可能引起 I-131 唾液，尿液和糞便對飼主和居家的污染。

在實施之前，必須將批准後的經過獸醫或實驗室活動的經過處理的貓和其他動物的放行標準包括在申請中，以供審核和批准。無論使用哪種釋放水平，被許可人均應有記錄以證明用於單個獸醫患者的釋放標準將導致遵守 10 CFR 20.1301。

#### (7) 外釋動物時給動物照顧者/飼主的說明

一旦獸醫確定該動物符合釋放的劑量標準，應向該動物的照顧者/飼主發出指示說明。書面說明應至少包括處理：(i)廢棄物處理，(ii)污染，以及(iii)人與動物隔離與互動的說明。這些說明應針對所提供的治療類型，例如永久性植入物或用於甲狀腺功能亢進或甲狀腺癌的放射性碘，並且可能包含針對個別情況的其他資訊。但是，這些說明不應干擾或與獸醫的最佳醫學判斷相抵觸。說明中應包括有專業知識的聯繫人的姓名以及該人員的電話號碼(如果看護人有任何疑問可詢問)。

儘管可以立即將非放射性動物排泄物丟棄在垃圾填埋場中，但放射性廢物不能以這種方式進行處理。對於用短壽命放射性物質治療的動物，對看護者或飼主的指示應包括將動物排泄物在適當的位置存儲指定的時間，以使放射性物質腐爛。許多固體廢棄物處理設施都安裝了輻射偵測器，以防止在填埋場處置放射性物質。如果偵測器指示廢棄物卡車中有放射性物質，則廢棄物處理設施的工作人員或承包商必須搜

索該卡車並除去放射性物質，這是一個危險、昂貴且耗時的過程。

給動物照顧者/飼主的說明中要考慮的項目應有：

- 法規限制和保持ALARA劑量的需要
- 不同距離處動物周圍的潛在輻射場和潛在劑量
- 與公共場所和家庭中的人們保持距離
- 盡量減少在公共場所(例如在人行道，公園，海灘，美容沙龍上行走)的時間
- 減少放射性污染擴散的預防措施
- 處理和儲存動物排泄物，以及儲存時間(如何保存以防腐爛)
- 個人與動物接觸的允許範圍和持續時間，以及與動物接觸的被污染的被褥和其他物體的處理。
- 這些預防措施中的每一個應生效的時間長度

## 附錄五、IAEA 之獸醫的輻射防護與安全安全報告(草案)(2018 年)關於動物核子醫學診療作業之輻射安全管制規定彙整

IAEA 於 2018 年提出之獸醫的輻射防護與安全安全報告(草案)中的附錄二，針對獸醫管理 I-131 或摻有 I-131 的化合物後釋放動物的說明，概述如下：

### II.1 用於治療甲狀腺疾病的 Iodine-131：形式和活性

I-131 以碘化鈉或碘化鉀的形式用於治療甲狀腺動物疾病。由於口服形式可能會發生潛在的溢出(通過吐痰或嘔吐)，因此優選全身給藥。使用的活性取決於獸醫的適應症，從 37 MBq(對於良性甲狀腺疾病貓)到 5000 MBq(對於惡性甲狀腺癌)不等。

### II.2 I-131 的排泄

I-131(放射性碘)主要通過腎臟排泄，因此，需要鼓勵動物喝水以幫助排泄。下一個最重要的排泄途徑是通過唾液腺。放射性碘可能會在接觸動物口部的動物飼主的皮膚上顯現出來。通過汗液和糞便排泄從而污染的途徑較少。如果無法進行測量，則假定污染將通過所有途徑發生。因此，在獸醫告知的情況下，應將動物限制在房屋或後院的限制區域內，使其遠離飼主的家屬，並在從獸醫診所釋放後遠離其他寵物。

### II.3 釋放動物的政策

施用 I-131 後釋放動物的政策必須符合當地的法定要求。施用 I-131 後動物的釋放需要考慮到動物飼主和飼主家屬的情況。例如，這可能包括任何孩子的年齡，任何懷孕，任何其他寵物，以及房主清理房屋或後院的限制區域並正確處置用於襯砌地板底部的被污染的吸收性材料的能力。垃圾箱或清理嘔吐物，尿液和糞便。

獸醫釋放動物後，未結合的碘 131 的排泄將持續一段時間。因此，污染和外部伽馬射線都將引起關注，但是如果向動物飼主提供了明確的說明，則可以同時對它們進行管理。

### II.4 向所有者提出有關外部輻射的建議

只要採取措施控制污染，外部照射將是最重要的安全相關問題。有外部接觸風險的人包括動物飼主，動物飼主的家人和公眾。動物擁有人將採取以下措施為這些群體提供保護：

- (a)建議避免在公共交通工具上運輸動物。如果必須使用公共交通工具，則行程時間應限制在兩個小時以內。需要使動物與乘客之間的距離最大化。

- (b) 必須將動物限制在房屋內部或房屋後院的限制區域內。動物飼主需要在短時間內與動物保持至少一條手臂的距離，最好至少保持一米。在更長的時間內，動物飼主需要與動物保持至少 2 米的距離。
- (c) 需要避免動物和兒童之間的接觸。
- (d) 需要避免動物和孕婦之間的接觸。

一旦 I-131 的排泄有效完成，外部輻射將隨著有效半化期而下降，在 I-131 的情況下，該半化期被視為等於 2-3 天。

## II.5 向動物飼主提出防止污染建議

為了防止污染，需要遵循以下實際步驟。它們將被追蹤至少一個星期，但是持續的時間取決於動物釋放時存在的殘餘活性和隨後的劑量率。此外，這些步驟將需要進行審查。

所有者的家庭成員，例如任何兒童及其數量和年齡，以及正在懷孕或可能懷孕的任何婦女都需要考慮在內還需要考慮動物的生存環境，特別是在衛生安排方面。經常攝入液體可以促進動物尿液的排泄。動物飼主應在接觸動物後洗手。動物飼主在清潔房屋的狹窄區域或飼養動物的後院時需要戴手套，清潔完成後需要洗手。

用於將排泄物箱中已被嘔吐物，尿液和糞便污染的吸收性材料(包括貓砂)排入動物場後至少需要收集兩週，並且需要兩次存儲在偏遠地區(例如，在車庫或花園棚中)的垃圾袋至少三個月。

## II.6 給緊急情況動物飼主的建議

如果受治療的動物患病時需要動物參加獸醫輻射診療作業，則需要將所進行的治療以及放射性同位素和所涉活動的日期告知參與獸醫輻射診療的動物飼主。此類資訊應包括在動物釋放時提供給動物飼主的資訊中。

## 附錄六、MicroShield 程式計算之輻射劑量結果

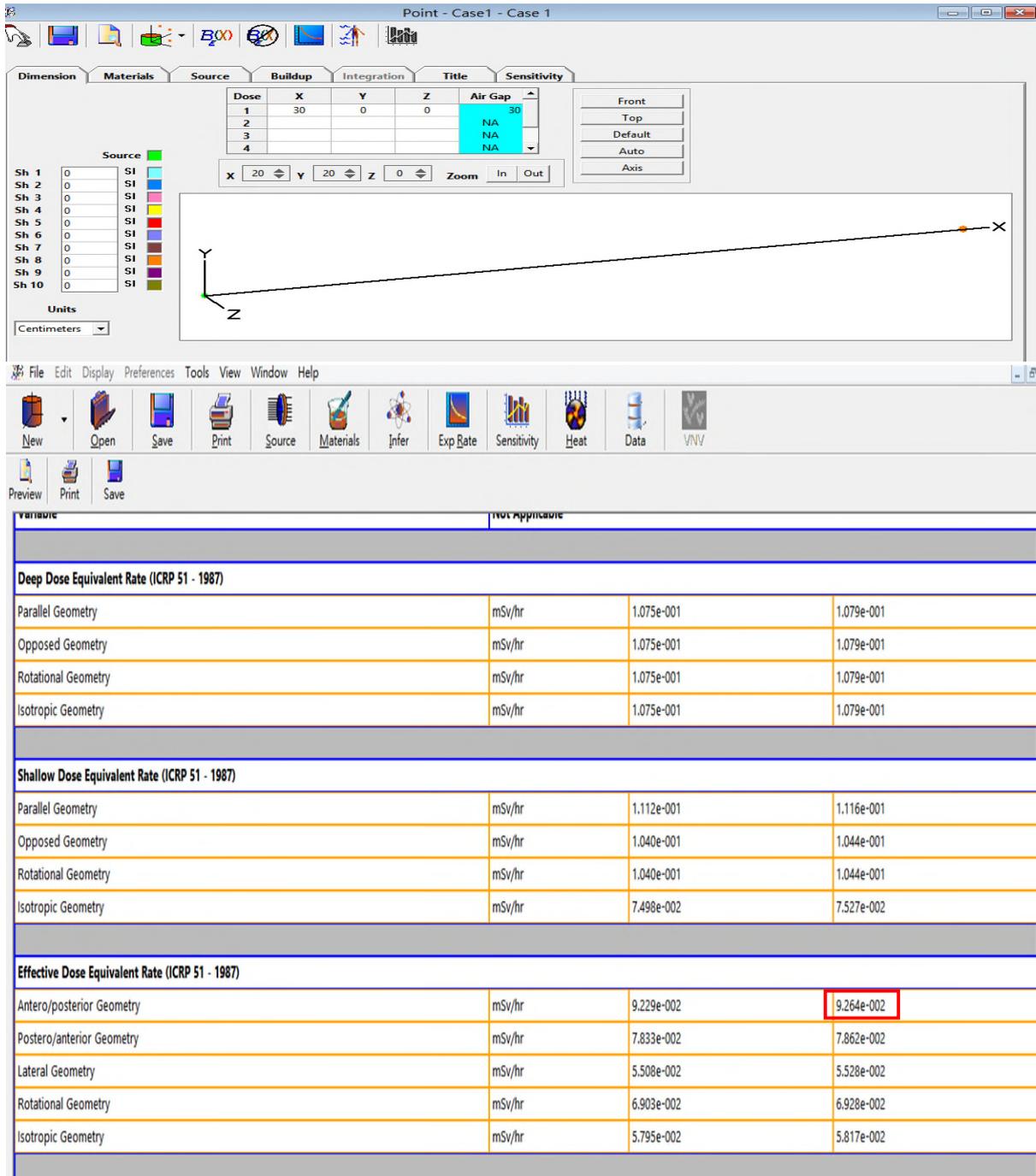
### 1. 動物 I-131 治療

(1) 給藥人員劑量計算：

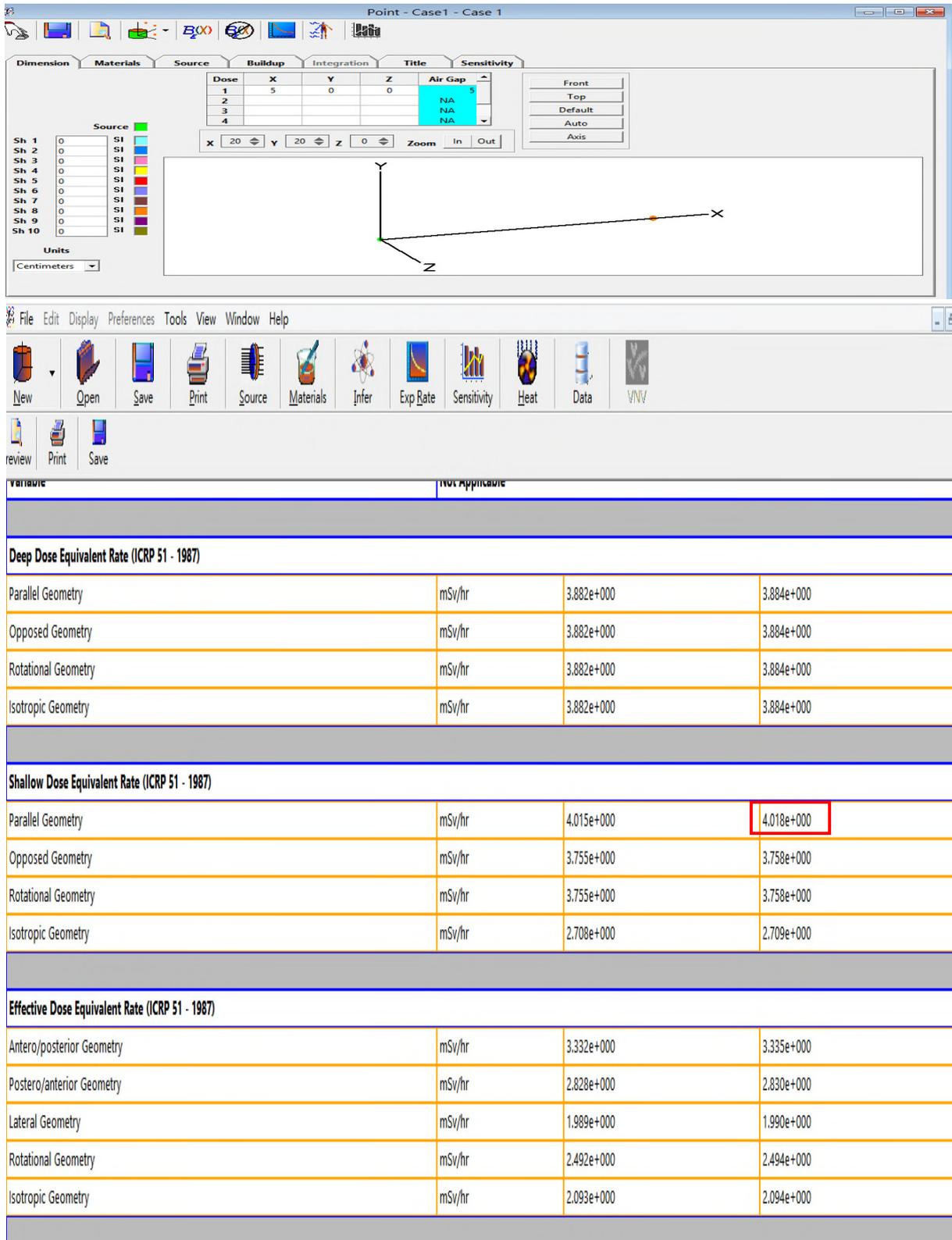
考慮動物注射 I-131 活度為 4 mCi；射源在給藥人員身體前方，射源假設為點射源(在動物體表)。

A. 評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量(30 cm)：92.64  $\mu$ Sv/h



B. 評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量(5 cm) : 4018  $\mu$ Sv/h

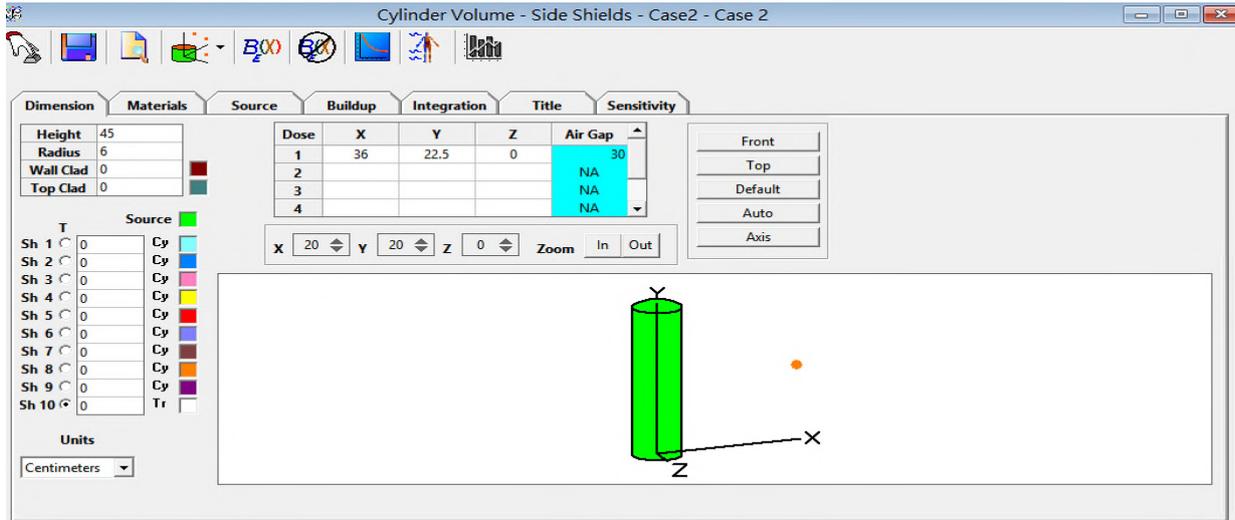


(2) 動物留置作業(餵食+清理)人員劑量計算：

餵食時，考慮動物注射 I-131 活度為 4 mCi；射源在給藥人員身體前方，射源假設為均勻分布在動物體內。

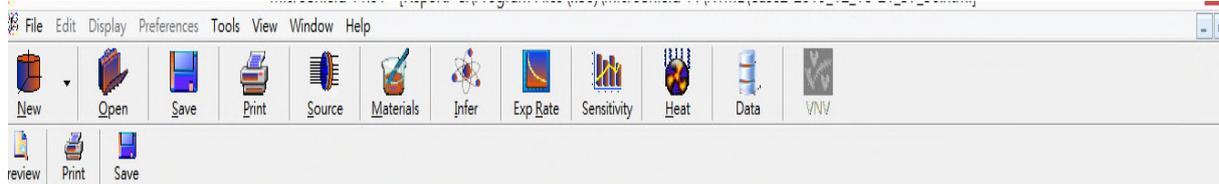
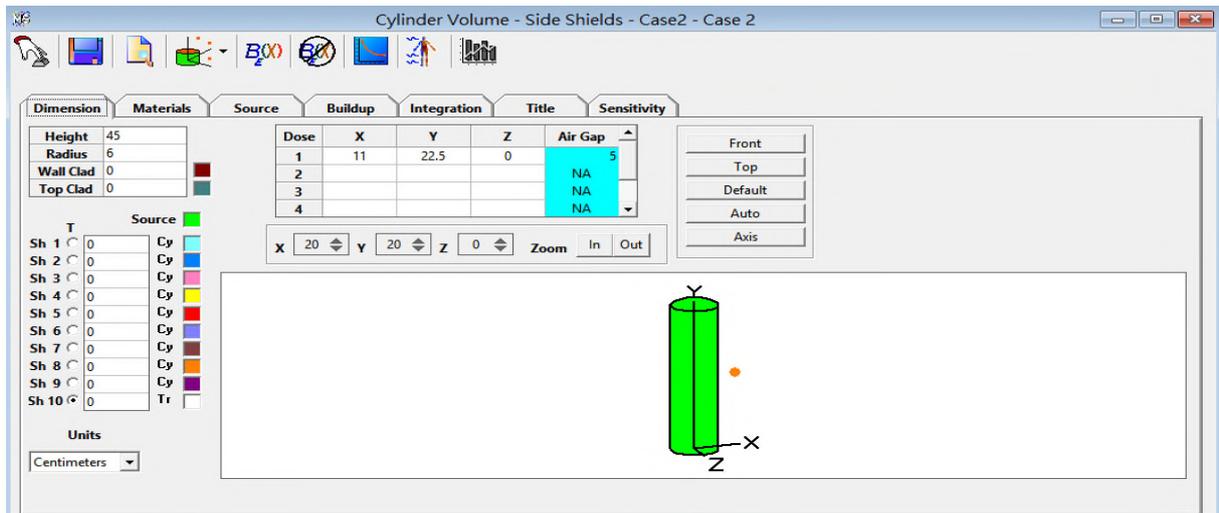
A. 評估餵食時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量率(30 cm)：57.73  $\mu$ Sv/h



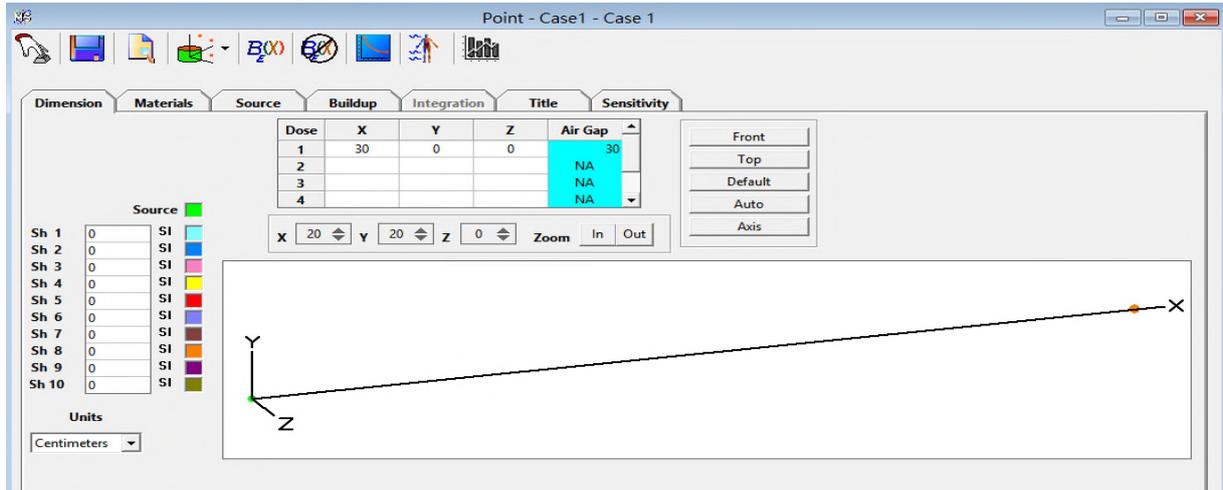
File	Edit	Display	Preferences	Tools	View	Window	Help				
New	Open	Save	Print	Source	Materials	Infer	Exp Rate	Sensitivity	Heat	Data	VVV
view	Print	Save									
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>											
Parallel Geometry		mSv/hr		4.087e-002		6.704e-002					
Opposed Geometry		mSv/hr		4.087e-002		6.704e-002					
Rotational Geometry		mSv/hr		4.087e-002		6.704e-002					
Isotropic Geometry		mSv/hr		4.087e-002		6.704e-002					
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>											
Parallel Geometry		mSv/hr		4.227e-002		6.928e-002					
Opposed Geometry		mSv/hr		3.965e-002		6.486e-002					
Rotational Geometry		mSv/hr		3.965e-002		6.486e-002					
Isotropic Geometry		mSv/hr		2.860e-002		4.674e-002					
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>											
Antero/posterior Geometry		mSv/hr		3.525e-002		5.773e-002					
Postero/anterior Geometry		mSv/hr		2.999e-002		4.902e-002					
Lateral Geometry		mSv/hr		2.113e-002		3.445e-002					
Rotational Geometry		mSv/hr		2.643e-002		4.318e-002					
Isotropic Geometry		mSv/hr		2.220e-002		3.624e-002					

B. 評估餵食時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量率(5 cm) : 469.7  $\mu$ Sv/h



Nominal Case			
Dose Point No.1		(11, 22.5, 0) cm	
Variable		Not Applicable	
Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.608e-001	4.546e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.608e-001	4.546e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.608e-001	4.546e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.608e-001	4.546e-001
Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.698e-001	4.697e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.531e-001	4.399e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.531e-001	4.399e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.826e-001	3.170e-001
Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	2.250e-001	3.916e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.915e-001	3.326e-001
Lateral Geometry	mSv/hr	1.349e-001	2.338e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.688e-001	2.929e-001

C. 評估清理時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。(廢棄物總活度為：4.8 mCi)  
 全身有效劑量率(30 cm)：111.2  $\mu$ Sv/h



**Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	1.290e-001	1.295e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	1.290e-001	1.295e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.290e-001	1.295e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.290e-001	1.295e-001

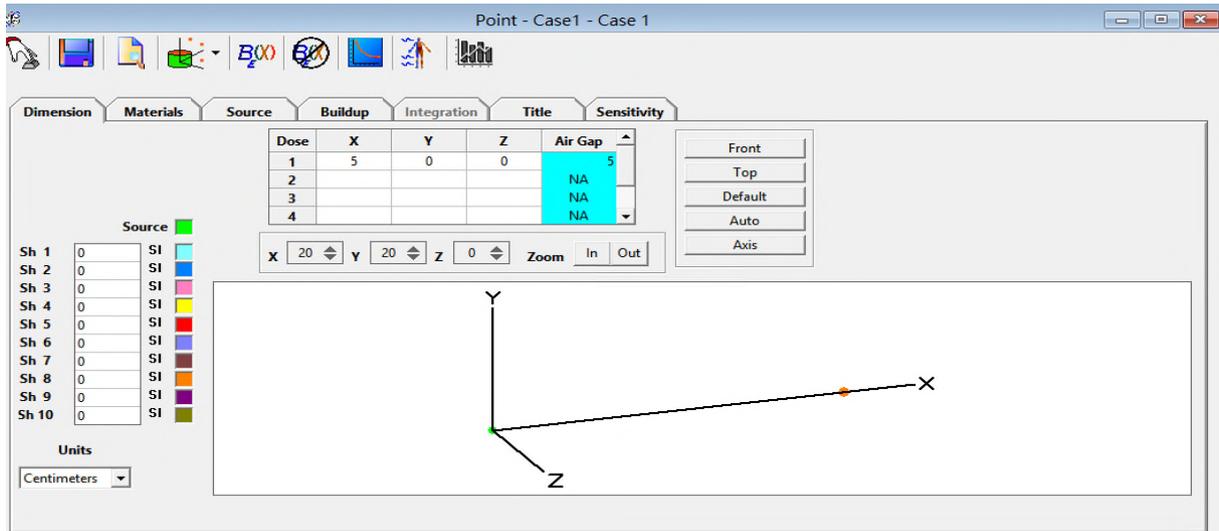
**Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	1.334e-001	1.339e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	1.248e-001	1.253e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.248e-001	1.253e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	8.998e-002	9.032e-002

**Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Antero/posterior Geometry	mSv/hr	1.108e-001	1.112e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	9.399e-002	9.434e-002
Lateral Geometry	mSv/hr	6.610e-002	6.634e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	8.284e-002	8.314e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.955e-002	6.980e-002

D. 評估清理時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。(廢棄物總活度為：4.8 mCi)  
 手部等價劑量率(5 cm)：4821  $\mu$ Sv/h



**Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	4.658e+000	4.661e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	4.658e+000	4.661e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	4.658e+000	4.661e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.658e+000	4.661e+000

**Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	4.818e+000	4.821e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	4.506e+000	4.509e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	4.506e+000	4.509e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.249e+000	3.251e+000

**Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Antero/posterior Geometry	mSv/hr	3.999e+000	4.001e+000
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	3.394e+000	3.396e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	2.387e+000	2.388e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.991e+000	2.993e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.511e+000	2.513e+000

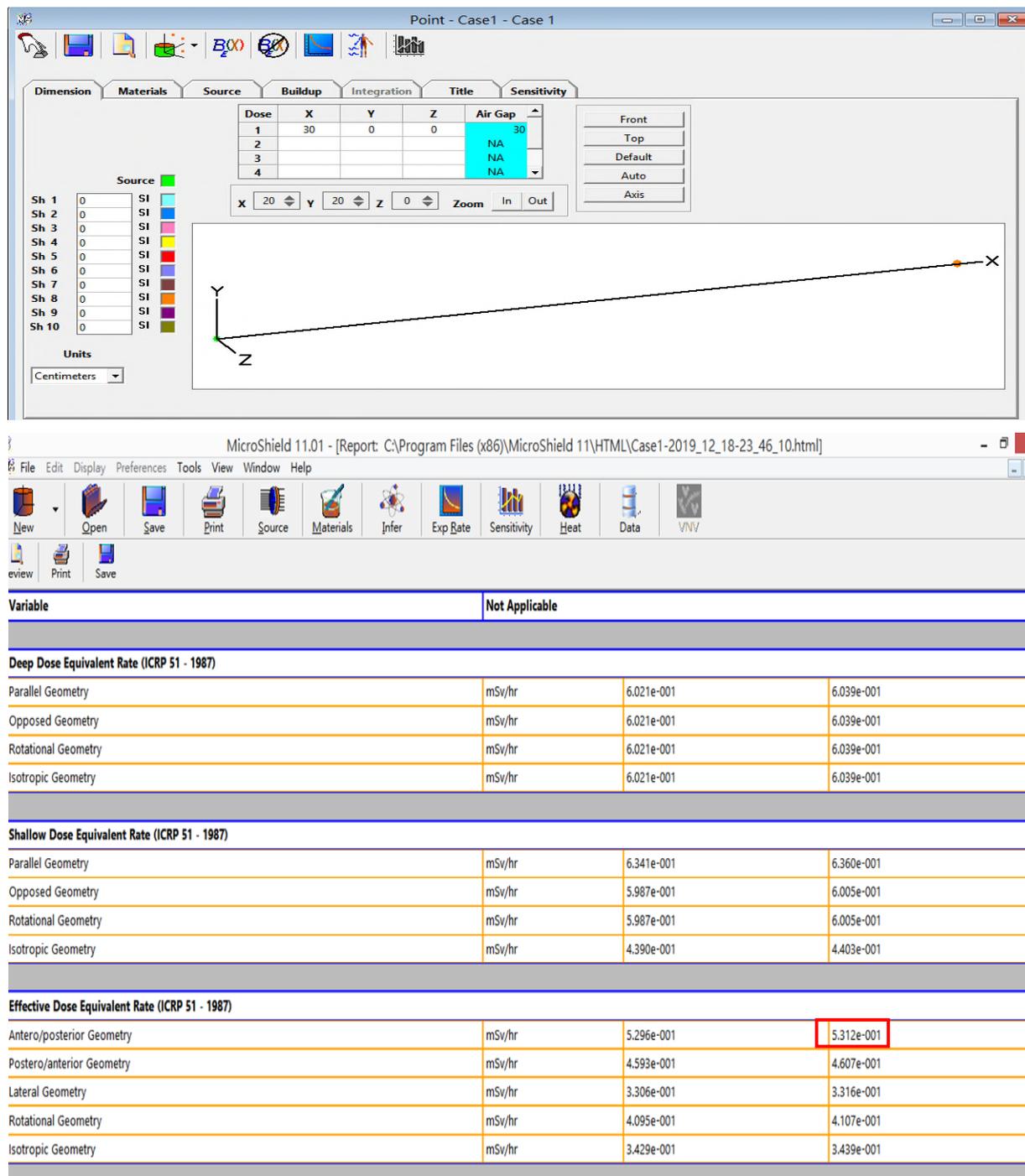
## 2. 動物 F-18 PET 照影檢查

(1) 給藥工作人員劑量計算：

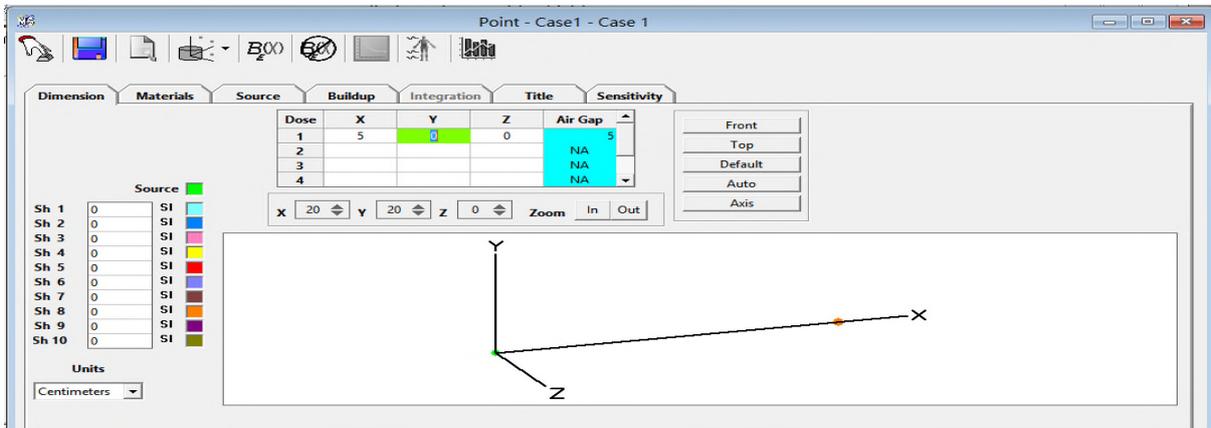
考慮動物注射 F-18 活度為 9 mCi；射源在給藥人員身體前方，F-18 射源假設為點射源。

A. 評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量(30 cm)： 531.2  $\mu$ Sv/h



B. 評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量(5 cm) : 22900  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_18-23\_48\_17.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VVV

Preview Print Save

Variable			
Not Applicable			
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.289e+001	2.290e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.161e+001	2.162e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.161e+001	2.162e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.584e+001	1.585e+001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	1.912e+001	1.913e+001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.658e+001	1.659e+001
Lateral Geometry	mSv/hr	1.193e+001	1.194e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.478e+001	1.479e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.238e+001	1.238e+001

(2) 動物造影作業(擺位)工作人員劑量計算：

擺位時，考慮動物注射 F-18 活度為 9 mCi；射源在給藥人員身體前方，射源假設為點射源。

A. 評估擺位時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量率(30 cm)：531.2  $\mu$ Sv/h

MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_18-23\_46\_10.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VVV

Variable Not Applicable

**Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	6.021e-001	6.039e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	6.021e-001	6.039e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	6.021e-001	6.039e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.021e-001	6.039e-001

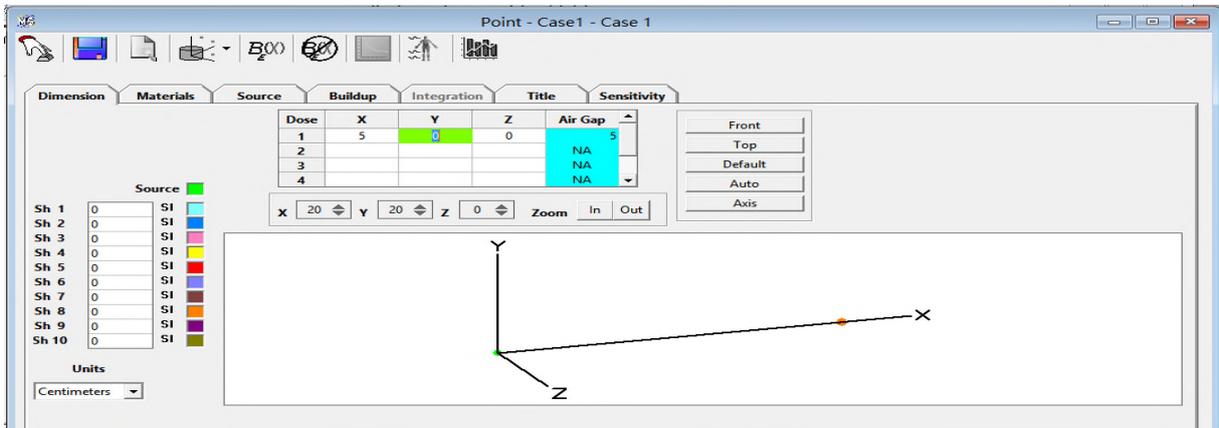
**Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Parallel Geometry	mSv/hr	6.341e-001	6.360e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	5.987e-001	6.005e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	5.987e-001	6.005e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.390e-001	4.403e-001

**Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)**

Antero/posterior Geometry	mSv/hr	5.296e-001	5.312e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	4.593e-001	4.607e-001
Lateral Geometry	mSv/hr	3.306e-001	3.316e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	4.095e-001	4.107e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.429e-001	3.439e-001

B. 評估擺位時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量率(5 cm)：22900  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_18-23\_48\_17.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

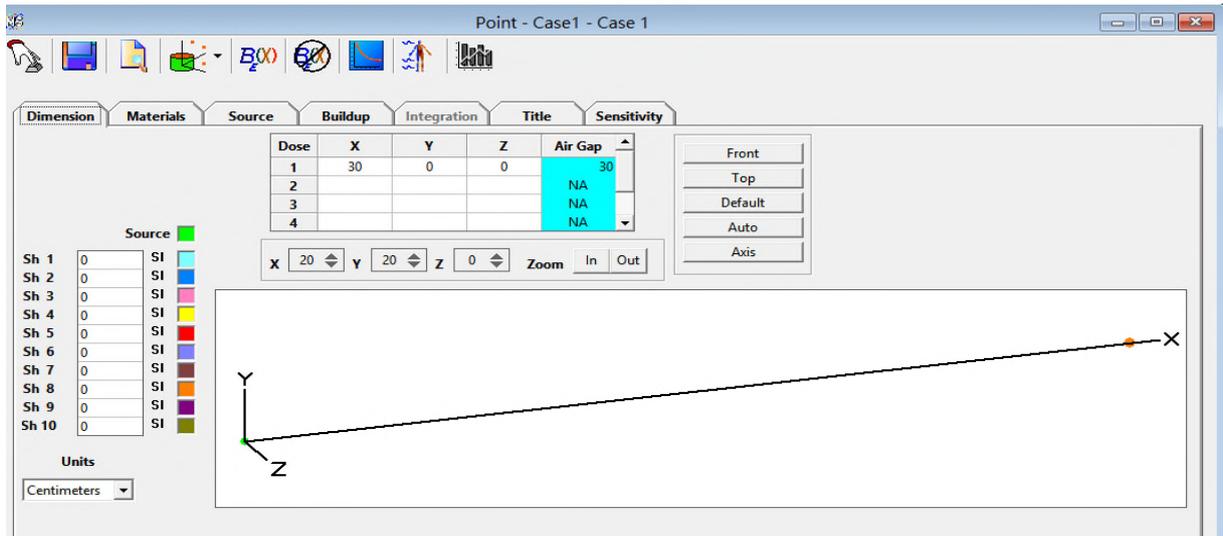
New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VNW

Preview Print Save

Variable			
not applicable			
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.173e+001	2.174e+001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.289e+001	2.290e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	2.161e+001	2.162e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.161e+001	2.162e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.584e+001	1.585e+001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	1.912e+001	1.913e+001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.658e+001	1.659e+001
Lateral Geometry	mSv/hr	1.193e+001	1.194e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.478e+001	1.479e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.238e+001	1.238e+001

(3) 動物移置作業工作人員劑量計算：

- A. 評估動物移置時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。  
 全身有效劑量率(30 cm)：=299.8  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_09\_59.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

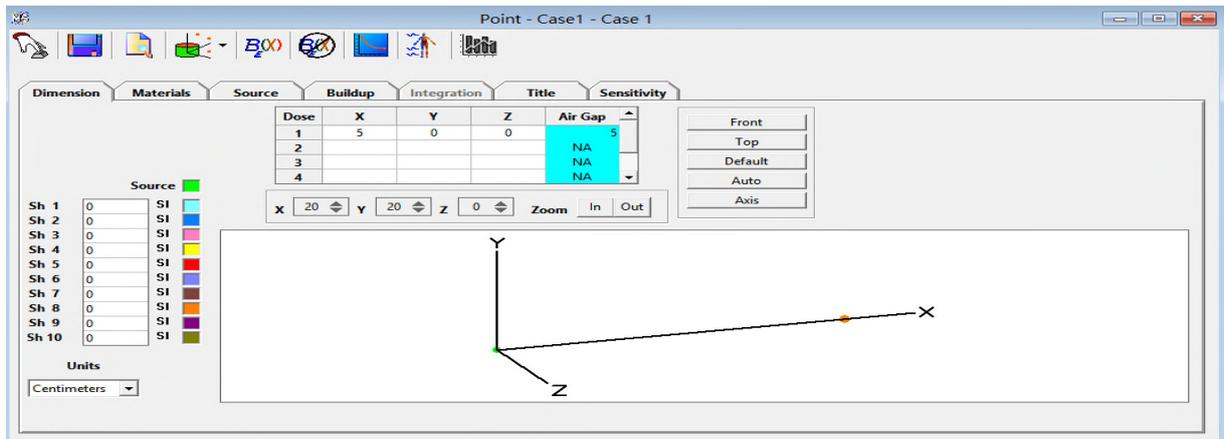
New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VNV

Preview Print Save

Variable	Unit	Value	Application
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.399e-001	3.409e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	3.399e-001	3.409e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	3.399e-001	3.409e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.399e-001	3.409e-001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.579e-001	3.590e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	3.380e-001	3.390e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	3.380e-001	3.390e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.478e-001	2.485e-001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	2.990e-001	2.998e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	2.593e-001	2.600e-001
Lateral Geometry	mSv/hr	1.866e-001	1.871e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.311e-001	2.318e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.935e-001	1.941e-001

B. 評估動物移置時距動物體表距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。

手部等價劑量率(5 cm) : 12930  $\mu\text{Sv/h}$



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_11\_19.html]

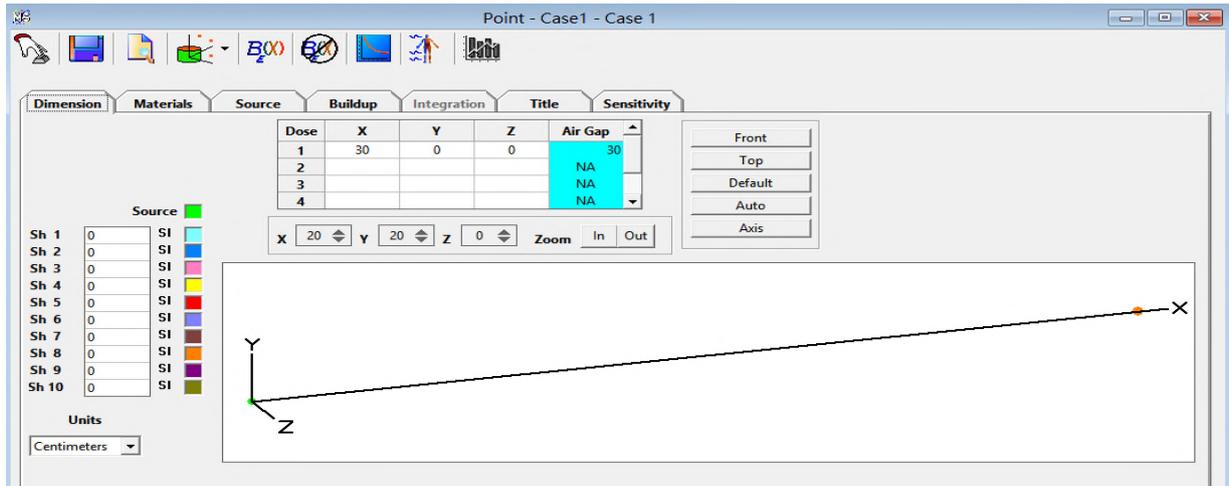
Variable	Not applicable		
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.227e+001	1.227e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	1.227e+001	1.227e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.227e+001	1.227e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.227e+001	1.227e+001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.292e+001	1.293e+001
Opposed Geometry	mSv/hr	1.220e+001	1.220e+001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.220e+001	1.220e+001
Isotropic Geometry	mSv/hr	8.943e+000	8.948e+000
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	1.079e+001	1.080e+001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	9.358e+000	9.362e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	6.735e+000	6.738e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	8.343e+000	8.347e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.986e+000	6.989e+000

(4) 動物留置作業(清理)工作人員劑量計算：

A. 評估清理時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量率(30 cm)：293.0  $\mu\text{Sv/h}$  (9 mCi)

經 4 個半化期後之劑量率=293.0  $\mu\text{Sv/h} \times 1/2^4 = 18.313 \mu\text{Sv/h}$



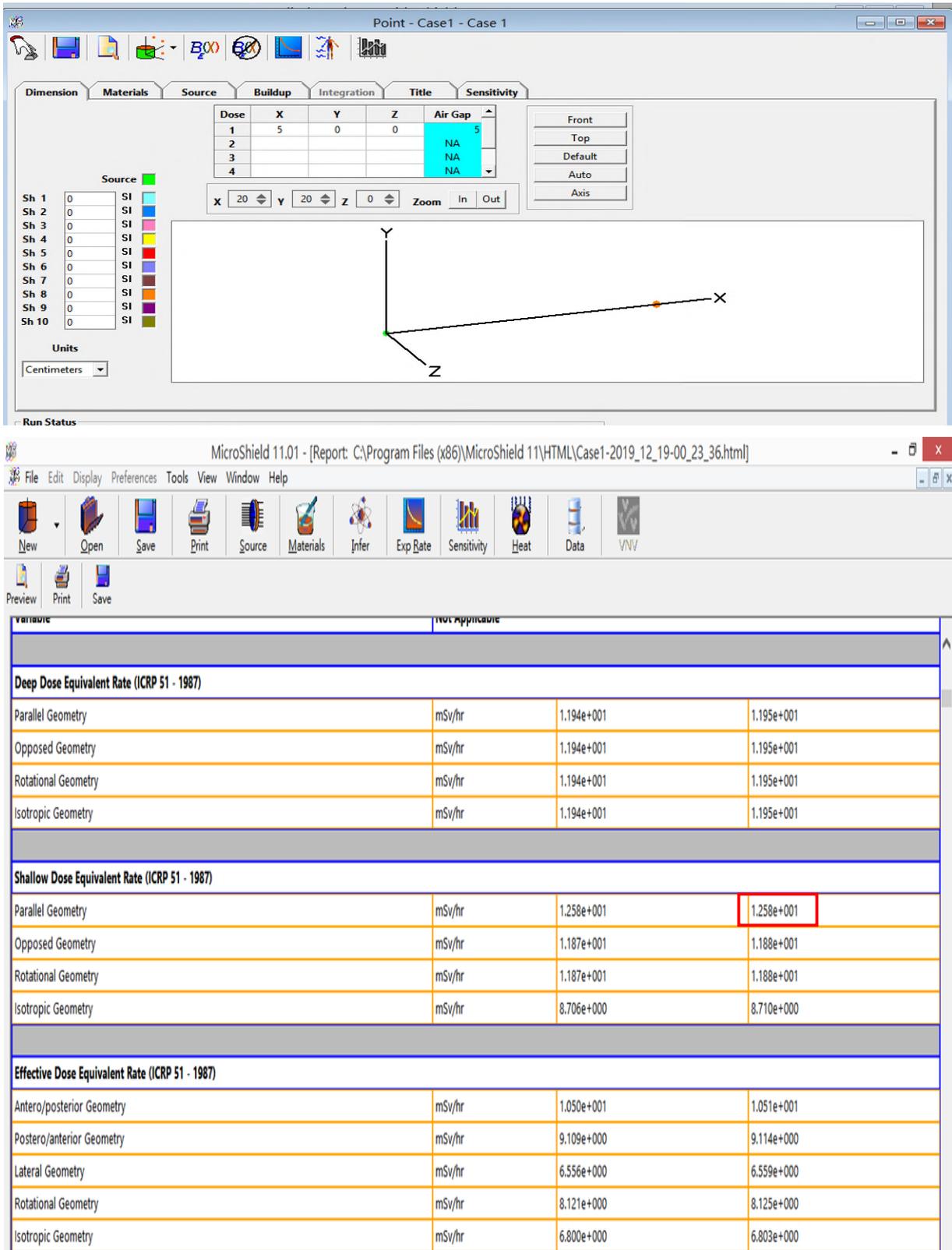
MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_19\_54.html]

Variable	Not Applicable		
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.322e-001	3.331e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	3.322e-001	3.331e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	3.322e-001	3.331e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	3.322e-001	3.331e-001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.498e-001	3.509e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	3.303e-001	3.313e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	3.303e-001	3.313e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.422e-001	2.429e-001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	2.922e-001	2.930e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	2.534e-001	2.541e-001
Lateral Geometry	mSv/hr	1.824e-001	1.829e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	2.259e-001	2.266e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.892e-001	1.897e-001

B. 評估清理時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。

手部等價劑量率(5 cm) : 12580  $\mu\text{Sv/h}$  (9 mCi)

經 4 個半化期後之劑量率 =  $12580 \mu\text{Sv/h} \times 1/2^4 = 786.25 \mu\text{Sv/h}$



### 3. 動物 Tc-99m SPECT 照影檢查

(1) 給藥人員劑量計算：

考慮動物注射 Tc-99m 活度為 3 mCi；射源在給藥人員身體前方，Tc-99m 射源假設為點射源。

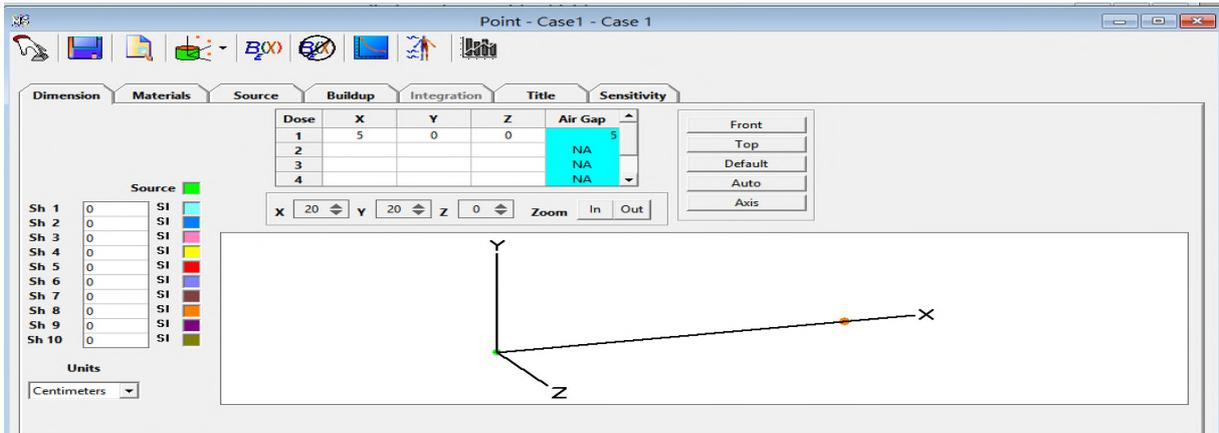
A. 評估距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量(30 cm)： 23.59  $\mu\text{Sv/h}$

The screenshot shows the Point software interface. The top part displays a 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A point source is located at X=30, Y=0, Z=0. The software is set to SI units and Centimeters. The bottom part of the screenshot shows a table of dose equivalent rates for various geometries and depths.

Variable	Units	Value 1	Value 2
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Opposed Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.113e-002	3.140e-002
Opposed Geometry	mSv/hr	2.494e-002	2.515e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	2.483e-002	2.504e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.818e-002	1.834e-002
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	2.340e-002	2.359e-002
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.848e-002	1.863e-002
Lateral Geometry	mSv/hr	1.162e-002	1.171e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	1.587e-002	1.600e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.290e-002	1.300e-002

B. 評估距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量(5 cm) : 1131  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00 31.07.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VVV

Preview Print Save

Variable	Not Applicable
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Parallel Geometry	mSv/hr 1.045e+000 1.046e+000
Opposed Geometry	mSv/hr 1.045e+000 1.046e+000
Rotational Geometry	mSv/hr 1.045e+000 1.046e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr 1.045e+000 1.046e+000
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Parallel Geometry	mSv/hr 1.129e+000 1.131e+000
Opposed Geometry	mSv/hr 9.040e-001 9.053e-001
Rotational Geometry	mSv/hr 8.998e-001 9.010e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr 6.593e-001 6.602e-001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Antero/posterior Geometry	mSv/hr 8.463e-001 8.474e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr 6.683e-001 6.692e-001
Lateral Geometry	mSv/hr 4.202e-001 4.208e-001
Rotational Geometry	mSv/hr 5.739e-001 5.747e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr 4.663e-001 4.670e-001

(2) 動物造影作業(擺位)工作人員劑量計算：

擺位時，考慮動物注射 Tc-99m 活度為 3 mCi；射源在給藥人員身體前方，射源假設為點射源。

A. 評估擺位時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量率(30 cm)：23.59  $\mu$ Sv/h

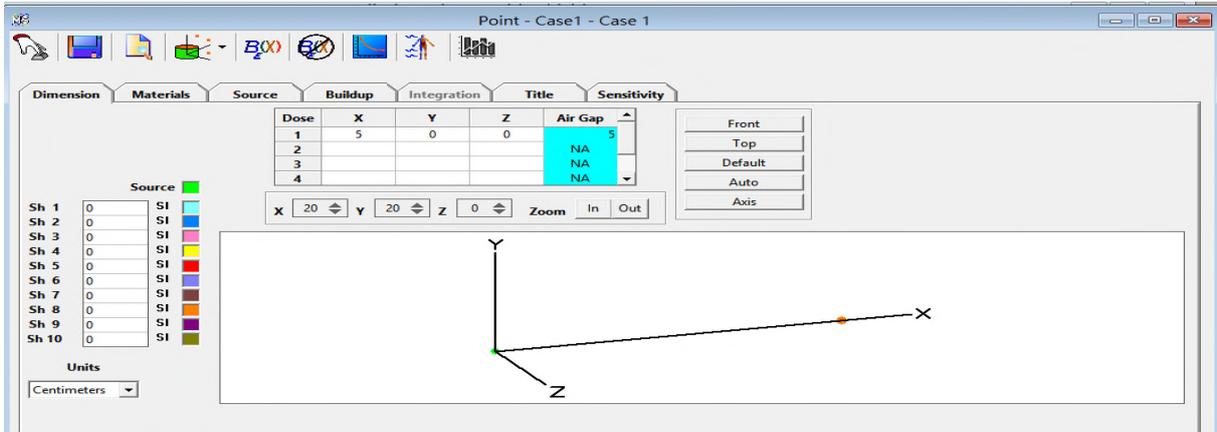
The screenshot shows the Point software interface. The top part displays a 3D coordinate system with X, Y, and Z axes. A point source is located at X=30, Y=0, Z=0. The 'Air Gap' is set to 30. The 'Dose' table is as follows:

Dose	X	Y	Z	Air Gap
1	30	0	0	30
2				NA
3				NA
4				NA

The bottom part of the screenshot shows a table of dose equivalent rates. The 'Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)' section is highlighted, with the value 2.359e-002 mSv/hr for Antero/posterior Geometry circled in red.

Geometry	Unit	Value 1	Value 2
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Opposed Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.885e-002	2.909e-002
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	3.113e-002	3.140e-002
Opposed Geometry	mSv/hr	2.494e-002	2.515e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	2.483e-002	2.504e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.818e-002	1.834e-002
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	2.340e-002	2.359e-002
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.848e-002	1.863e-002
Lateral Geometry	mSv/hr	1.162e-002	1.171e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	1.587e-002	1.600e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.290e-002	1.300e-002

B. 評估擺位時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量率(5 cm) : 1131  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_31\_07.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VVV

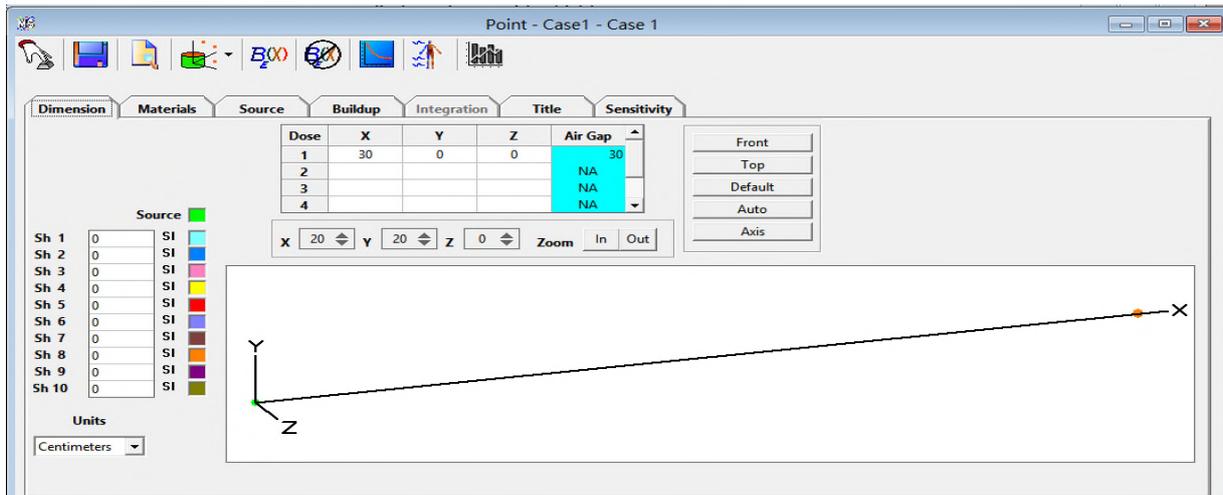
Preview Print Save

VARIABLE	UNIT	NOT APPLICABLE	
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.045e+000	1.046e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	1.045e+000	1.046e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	1.045e+000	1.046e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.045e+000	1.046e+000
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.129e+000	1.131e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	9.040e-001	9.053e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	8.998e-001	9.010e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.593e-001	6.602e-001
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	8.463e-001	8.474e-001
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	6.683e-001	6.692e-001
Lateral Geometry	mSv/hr	4.202e-001	4.208e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	5.739e-001	5.747e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.663e-001	4.670e-001

(3) 動物移置作業工作人員劑量計算：

A. 評估動物移置時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

全身有效劑量率(30 cm)：=90.02  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_42\_01.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

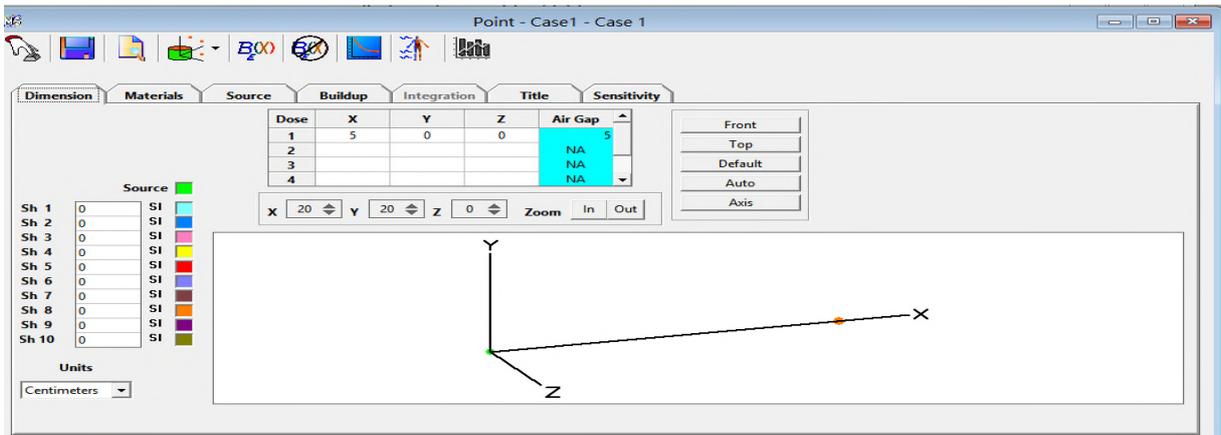
New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VNV

Preview Print Save

Variable			
not applicable			
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.101e-001	1.110e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	1.101e-001	1.110e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.101e-001	1.110e-001
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.101e-001	1.110e-001
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	1.188e-001	1.198e-001
Opposed Geometry	mSv/hr	9.520e-002	9.600e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	9.476e-002	9.556e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	6.940e-002	6.999e-002
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	8.930e-002	9.002e-002
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	7.054e-002	7.111e-002
Lateral Geometry	mSv/hr	4.435e-002	4.471e-002
Rotational Geometry	mSv/hr	6.057e-002	6.106e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr	4.922e-002	4.961e-002

B. 評估動物移置時距動物體表距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。

手部等價劑量率(5 cm) : 4331  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_44\_16.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VNV

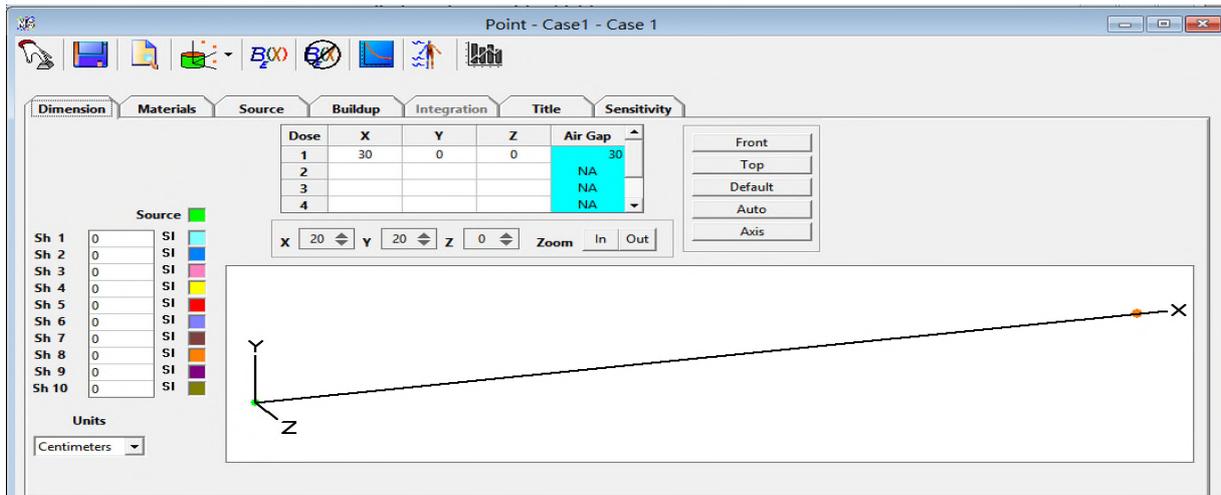
Preview Print Save

Variable	Value	Unit	Value
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry		mSv/hr	4.002e+000
Opposed Geometry		mSv/hr	4.002e+000
Rotational Geometry		mSv/hr	4.002e+000
Isotropic Geometry		mSv/hr	4.002e+000
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry		mSv/hr	4.325e+000
Opposed Geometry		mSv/hr	3.462e+000
Rotational Geometry		mSv/hr	3.446e+000
Isotropic Geometry		mSv/hr	2.525e+000
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry		mSv/hr	3.241e+000
Postero/anterior Geometry		mSv/hr	2.560e+000
Lateral Geometry		mSv/hr	1.609e+000
Rotational Geometry		mSv/hr	2.198e+000
Isotropic Geometry		mSv/hr	1.786e+000

(4) 動物留置作業(清理)工作人員劑量計算：

A. 評估清理時距動物體表 30 公分處之工作人員身體劑量。

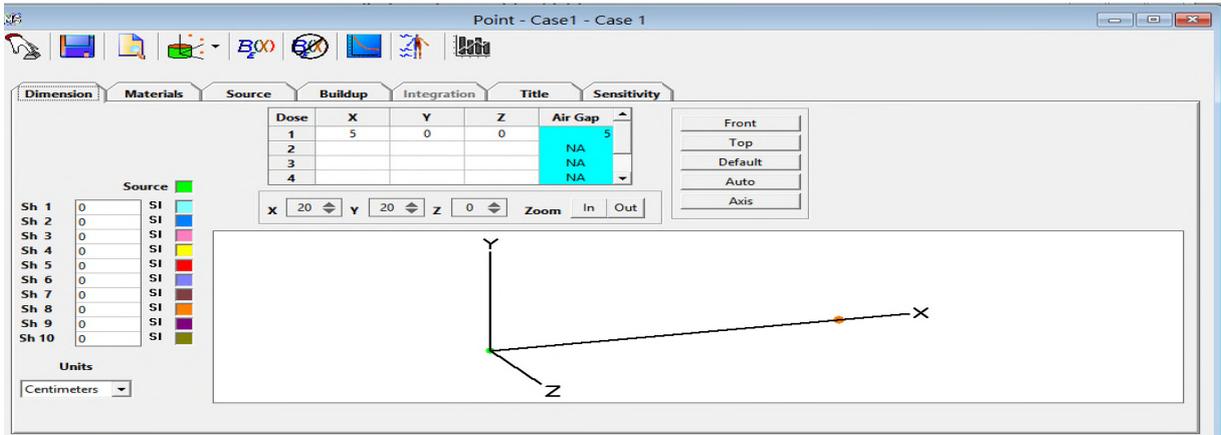
全身有效劑量率(30 cm)：55.03  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_48\_48.html]

Variable	Not Applicable
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Parallel Geometry	mSv/hr 6.731e-002 6.787e-002
Opposed Geometry	mSv/hr 6.731e-002 6.787e-002
Rotational Geometry	mSv/hr 6.731e-002 6.787e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr 6.731e-002 6.787e-002
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Parallel Geometry	mSv/hr 7.263e-002 7.326e-002
Opposed Geometry	mSv/hr 5.820e-002 5.869e-002
Rotational Geometry	mSv/hr 5.793e-002 5.842e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr 4.243e-002 4.279e-002
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>	
Antero/posterior Geometry	mSv/hr 5.459e-002 5.503e-002
Postero/anterior Geometry	mSv/hr 4.313e-002 4.347e-002
Lateral Geometry	mSv/hr 2.712e-002 2.733e-002
Rotational Geometry	mSv/hr 3.703e-002 3.733e-002
Isotropic Geometry	mSv/hr 3.009e-002 3.033e-002

B. 評估清理時距動物體表 5 公分處之工作人員手部劑量。  
 手部等價劑量率(5 cm) : 2652  $\mu$ Sv/h



MicroShield 11.01 - [Report: C:\Program Files (x86)\MicroShield 11\HTML\Case1-2019\_12\_19-00\_51\_43.html]

File Edit Display Preferences Tools View Window Help

New Open Save Print Source Materials Infer Exp Rate Sensitivity Heat Data VNV

Preview Print Save

Variable	Not Applicable		
<b>Deep Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.450e+000	2.454e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	2.450e+000	2.454e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.450e+000	2.454e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	2.450e+000	2.454e+000
<b>Shallow Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Parallel Geometry	mSv/hr	2.648e+000	2.652e+000
Opposed Geometry	mSv/hr	2.120e+000	2.123e+000
Rotational Geometry	mSv/hr	2.110e+000	2.113e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.546e+000	1.548e+000
<b>Effective Dose Equivalent Rate (ICRP 51 - 1987)</b>			
Antero/posterior Geometry	mSv/hr	1.984e+000	1.987e+000
Postero/anterior Geometry	mSv/hr	1.567e+000	1.569e+000
Lateral Geometry	mSv/hr	9.854e-001	9.867e-001
Rotational Geometry	mSv/hr	1.346e+000	1.348e+000
Isotropic Geometry	mSv/hr	1.094e+000	1.095e+000

## 附錄七、動物輻射診療作業之輻射安全規範(草案)

### 一、動物放射診斷

#### 1. 一般要求

- 1.1 進行動物放射診斷必須有明確指示的程序才能進行。
- 1.2 在放射檢查期間，僅允許對程序至關重要的人員在場。
- 1.3 放射檢查期間在場的每個人必須：
  - (a) 得到正確指導，使他們能夠理解建議程序中的部分
  - (b) 在可行的情況下，人員位置在防護屏蔽的後面。
- 1.4 每個無法位於防護屏後面的人都必須：
  - (a) 穿防護鉛圍裙
  - (b) 在確實可行範圍內盡量遠離主要的X射線束、動物，和X光管組件
- 1.5 必須有足夠的設施和設備以確保對動物的身體控制和操作者的保護。
- 1.6 放射線照相可分為兩類：
  - (a) 固定型：在確定的X光室或區域內進行射線照相；
  - (b) 移動型：將移動或攜帶式X光機帶到動物身上時，在規定的X射線室或區域之外進行放射照相。

#### 2. X-RAY 照射式或照射區域中的輻射

- 2.1 X 射線照射室或照射區域必須有足夠的屏蔽，以確保任何人皆不會受到超過法規規定的輻射劑量限值。
- 2.2 X射線檢查不得在規定的X光照射室或照射區域外進行，除非無法將動物帶到該房間或區域。

#### 3. 常規診斷 X 射線設備-

- 3.1 X射線設備必須具有足夠的能力，以產生可接受的診斷品質的照片。
- 3.2 用於動物(獸醫)的X光診斷設備必須符合以下要求：
  - (a) 示警告標誌：X射線控制面板必須有永久且明顯的示警標誌
    - (i) 禁止未經授權的使用
    - (ii) 在設備運作X射線時會發出危險的警告；
  - (b) 標記：與設備操作相關的所有控制件，儀表，指示燈和其他指示器必須為易於辨認和清楚標明其功能；
  - (c) 輻射照射指示器：控制台必須有一個易於識別的單獨指示器，指示何時產生X射線
  - (d) 機械穩定性：X射線機必須佈置為：
    - (i) X射線管是牢固的固定和在X光管外殼內正確對準；
    - (ii) X光源組件在操作過程中保持其所需位置而無漂移，振盪或振動；
  - (e) 照射控制：每個X射線裝置必須裝有照射開關，計時器或其他能夠滿足以下條件的設備：

- (i) 啟動和終止產生X射線
- (ii) 要求操作人員持續按壓以產生X射線；
- (iii) 就腳踏開關而言，其構造應使其不會因意外觸發該開關而產生X射線；
- (iv) 是電子類型；
- (f) 負荷因素的指示：對於具有以下特徵的X射線設備：
  - (i) 可調節的負載係數，控制面板必須裝有顯示負載係數的指示器；和
  - (ii) 必須使用不可調節的載荷係數，永久標記或標籤來表示這些參數；
- (g) 照射再現性：對於X射線管電壓，電流和時間的任何選定組合，在10分鐘內在相同距離內進行的任何5次連續輻射照射的變化係數均不得超過0.05；
- (h) X光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過1毫戈雷(mGy)。
- (i) X光機有用射柱之全部永久性過濾片，在公稱電壓 < 70 kVp以下時，不得少於1.5 mm 鋁厚度當量；公稱電壓超過 > 70 kVp時，不得少於2.5 mm 鋁厚度當量。

#### 4. 診斷 X-RAY 設備 - 放射線照相

4.1除了前述規定的動物(獸醫)用放射照相設備的一般要求外，用於動物用放射線照相的設備還必須具有：

- (a) 照射控制裝置，在達到預設值後自動終止照射：
  - (i) 時間
  - (ii) 管電流和時間的乘積(mAs)
  - (iii) 空氣克馬值
- (b) 光束準直器：
  - (i) 能夠調整X射線照野的大小
  - (ii) 包括在影像接收區域指示X射線照野大小的裝置；
  - (iii) X光機準直儀光闌指示燈光照射範圍一致。(應小於靶至檯面距離之2%)
  - (iv) 確保指示燈光照射的亮度足夠大，使指示燈光照射在環境照明中清晰可見
  - (v) 清晰顯示指示燈光照射的外邊緣，具有高邊場對比度

#### 5. 透視檢查程序

透視檢查可能比放射成像更危險，因為在透視檢查中通常mAs更大，而

且操作者站在靠近主X光束和動物處。

5.1 透視檢查不得用作：

- (a) 主要診斷工具； 或
- (b) 放射照相的替代方法

5.2 透視檢查僅指示：

- (a) 在必須研究動態的情況下
- (b) 複雜的手術技術

5.3 在這些情況下，必須考慮使用帶有影像存儲設施的透視單元，以進一步降低輻射劑量水準。

5.4 只有在有合適的設備時，才能進行透視檢查。

5.5 透視成像設備的每個操作員必須具有：

- (a) 有足夠的知識和培訓來使用設備
- (b) 對該技術有足夠的知識，培訓和經驗； 和
- (c) 從相關主管機構授權使用透視設備。

6. 診斷X射線設備 - 透視

6.1 除了上述動物(獸醫)放射診斷設備的一般要求外，用於透視放射成像的設備還必須：

- (a) 正確安裝和保養的X射線影像增強系統；
- (b) 用於集體觀看和教學的遠端電視顯示器；
- (c) 空氣克馬率：

7. 動物(獸醫)牙科X射線設備

7.1 如果牙科 X 光設備用於動物(獸醫)程序，則必須：

- (a) 裝有開放式光束施加器applicator
  - (i);將光束施加器開口端的X射線照野的最大尺寸限制為不超過60毫米(mm)；
  - (ii)確保光束施加器開口端的輪廓
- (b) X光機有用射柱之全部永久性過濾片，在公稱電壓  $< 70$  kVp以下時，不得少於1.5 mm 鋁厚度當量；公稱電壓超過  $> 70$  kVp時，不得少於2.5 mm 鋁厚度當量。
- (c) 牙科型X光機防護管套滲漏輻射空氣克馬在距靶一公尺處，每小時不得超過0.25毫戈雷(mGy))。；
- (d) 當 X 射線設備以可改變電位差或電流運作時，所選管電壓、管電流和曝露時間或目前時間產品由下列指示：
  - (i)類比儀表
  - (ii) 數位顯示器

- (iii) 經校正的永久性標記
- (e) 如果提供毫安培米，其滿刻度讀數至少為設備最大標稱管電流的110%;
- (f) 具有清晰可見的燈光，指示 X 射線管何時通電;
- (g) 除曝露期間切換設備或接觸器偶然產生的聲音外，操作員可以聽到信號，以指示：
  - (i) 曝露的持續時間； 或
  - (ii) 終止曝光
- (h) 具有上述指定的信號位於
  - (i) 控制面板；
  - (ii) 用於遠端控制的設備時，操作者的位置;
- (i) 設置曝光開關，以便可以在距X射線管和動物至少2米的距離處操作X射線設備；
- (j) 具有曝露照射開關：
  - (i) 需要連續的壓力來保持X射線的照射
  - (ii) 在不釋放該開關的情況下不可能進行重複曝光
- (k) 配備一個電子計時器，該計時器：
  - (i) terminates an exposure at a preset: 在預設下列條件會終止曝露：
    - A. 時間區間；
    - B. 時間和電流的乘積mAs；
  - (ii) 該曝露時間清楚地顯示在計時器或計時器機頭上;
  - (iii) 確保如果計時器時間設置為零，則無法啟動曝露
  - (iv) 允許在初始調整後將定時器設置更改為更高或更低的值，而無需啟動曝光；
  - (v) 設有影像接收器感光度控制裝置的地方清楚指出：
    - A. 影像接受器的曝光設置
    - B. 電子(數位)式照相的設置
- (l) 如曝露照射可由紅外線或無線遙控裝置控制的，則：
  - (i) 應對X射線發生器和無線遙控裝置進行了編碼，以使其他遙控裝置無法啟動曝光，
  - (ii) 將遙控式裝置存放在控制面板上的規定
  - (iii) 遙控器裝置有永久性標籤，並附有警告標誌，指明其用途

## 二、核子醫學診療

### 1. 程序和設施

核醫學涉及將非密封的放射性物質(即液體，氣溶膠或氣態物質)用於診斷或治療目的。在動物準備、給藥和隨後的護理過程中，放射性物質的含量

應適當控制，以免引入了更大的危害。

1.1 診斷或治療性核醫學獸醫程序只能執行：

- (a)在專門為此目的設計的區域內；和
- (b)須獲得有關監管機關的特別授權。

1.2 診斷動物(獸醫)核子醫學只能由以下人員進行：

- (a)經過以下方面的專門培訓：
  - (i)放射物理學；
  - (ii)輻射生物學
  - (iii)輻射危害和防護
- (b)在以下方面具有經驗：
  - (i)核子醫學儀器；
  - (ii)成像程序；
  - (iii)放射性藥物的質量控制；
  - (iv)處理非密封的放射性物質；和
  - (v)熱室實驗室程序和臨床實踐(輻射作業)，以及
- (c)已由主管機關適當授權者。

1.3 治療性動物(獸醫)核醫學只能由以下人員進行：

- (a)符合前述關於診斷性核醫學的要求；和
- (b)在以下方面接受額外的培訓：
  - (i)放射性物質的生物途徑和分佈；
  - (ii)輻射劑量法；
  - (iii)洩漏處理程序方面的經驗；
  - (iv)以治療中遇到的狀況處理放射性廢棄物。

1.4 必須為以下方面製定詳細的書面程序：

- (a)除污；
- (b)處置放射性廢棄物。

1.5 專用設施必須用於：

- (a)儲存，安全處理，操縱和分配非密封輻射源；
- (b)向動物施用非密封的放射性物質；
- (c)隨後收容飼養動物；
- (d)對動物體內放射性物質的測量以及隨後的任何調查；
- (e)完成作業後，在出院前收容動物。

1.6 必須在將要收容飼養動物的寢所(窩)，箱子，攤位或其他圍欄上貼上明顯適當的輻射示警標誌和說明。

1.7 在實施程序之前，必須為每種類型的核子醫學作業程序制定書面程序。

1.8 必須作出適當的安排以釋放或處置動物。

1.9 必須保留所有放射性物質的接收，使用和處置記錄。

## 2. 特殊核子醫學程序

2.1 核醫診斷：當使用 F-18 或 Tc-99m 用於核子醫學診斷造影檢查程序時，必須滿足以下要求：

- (a) 必須有隔離，屏蔽和保安的場所用於：
  - (i) 管理放射性物質；和
  - (ii) 給藥後將動物住院收容。
- (b) 必須使所有有關人員知道他們正在處理放射性動物；
- (c) 程序和注意事項必須是：
  - (i) 精心計劃；和
  - (ii) 向所有與處理放射性動物有關的人員進行說明解釋；
- (d) 必須提供適當的動物約束/束縛以使在成像或其他程序期間對放射性動物的處理最小化；
- (e) 18 歲以下的人和孕婦不得在核醫學程序中接觸動物，並應在該區域的顯眼處顯示有關此要求的通知；
- (f) 成像過程必須使用單獨的屏蔽且安全的位置；
- (g) 為了能夠用沖洗方式以清除任何放射性污染物，用於核醫學程序的房間的牆壁和固定裝置必須為：
  - (i) 防水和“防滑”；
  - (ii) 塗上防水塗料，
- (h) 地板必須密封無法滲透；
- (i) 地板材料必須：
  - (i) 易於清潔；
  - (ii) 覆蓋整個成像區域；和
  - (iii) 在邊緣處密封或封閉，
- (j) 必須為一般廢棄物提供排水；
- (k) 必須考慮使排尿污染程度最小的程序；
- (l) 必須配備除污設備，以方便快捷地對該區域進行除污；
- (m) 病床用品必須具有吸收性；
- (n) 必須在 24 小時後再處置該區域受污染的被褥和其他物品，
- (o) 在注射過程中及為成像程序移出動物期間必須禁止人員進入該區域；
- (p) 必須使用注射器護罩來注入放射性藥物；
- (q) 必須為在成像控制台上的操作員提供適當的防護；
- (r) 在成像過程中必須對動物進行鎮靜。

2.2 核醫治療：對於使用碘 131 治療動物甲狀腺功能亢進症，必須執行以下要求：

- (a) 必須為以下列項目提供隔離，屏蔽，通風良好的安全區域：

- (i)管理放射性物質；
- (ii)服藥後將貓住院至少四天，並須符合外釋規定才能進行外釋。
- (b)放射性物質必須保存在有屏蔽的容器中，直到即將給藥之前；
- (c)如果放射性碘通過靜脈內或皮下注射：
  - (i)在手術過程中必須戴一次性手套；和
  - (ii)在手術過程中必須將一次性手套，注射器針筒和任何其他可能被污染的物品或材料作為放射性廢棄物存放
- (d)必須有通風良好的屏蔽區域以儲存放射性廢物；
- (e)從動物休息籠子中取出的所有材料必須是：
  - (i)用一次性手套處理；和
  - (ii)按照詳細的安全規程作為放射性廢棄物儲存；
- (f)處理放射性物質的書面程序必須包括以下內容：
  - (i)給藥後對該區域的常規輻射監測；和
  - (ii)藥物溢出後清理程序和輻射監測；
- (g)在動物外釋/釋放時，主治獸醫必須在接下來的兩個星期內為動物的主人提供其使用語言的書面指導書，以說明如何處理動物，包括：
  - (i)避免長時間靠近動物的指示，尤其是在第一週內；
  - (ii)可以短時間安全地拾起/捉起動物的資訊，但不能長時間讓動物坐在任何人的膝蓋上或在床上躺著睡覺；
  - (iii)指示如果動物：
    - A.在住宅內排尿，應使用紙巾將尿液徹底清除，然後將其放入垃圾袋中；
    - B.居所內的動物嘔吐物，應使用紙巾徹底清理，然後將其放入垃圾袋中；
  - (iv)指示在此期間只應在通風良好的地方處理動物；
  - (v)指示在清理尿液時戴上橡膠手套，然後徹底洗手；和
  - (vi)指示如果動物的尿液浸入了衣服或地毯中，應徹底清洗，
- (h)服藥後：
  - (i)在可行的情況下，該動物必須是：
    - A.用一次性手套處理；
    - B.保持一定距離；
  - (ii)用適當的輻射測量儀監測治療區域和用過的一次性手套。
- (i)除非自然通風良好，否則必須安裝排風扇；
- (j)放射性碘為膠囊形式的情況：
  - (i)動物必須是：
    - A.使其安靜下來；和
    - B.放置在深盤中，例如嬰兒浴盆，內襯吸收性紙，用於放射性物

質的施用；

(ii)在可能的情況下，必須使用長柄鑷子將膠囊順著動物喉嚨向下插入，然後用注射器將約 20 毫升水注入口中；和

(iii)必須考慮到動物隨後嘔吐的風險，

(k)如果動物在治療完成前死亡，則必須是：

(i)密封在塑料袋中；

(ii)作為放射性廢棄物存儲，直到可以火化或釋放以埋葬為止；

(iii) 在經過適當的腐爛時間後火化或外釋給主人埋葬。

### 三、放射治療

#### 1. 程序和設施

1.1 動物的放射治療需由下列人員直接進行監督：

(a) 接受過此類程序的專門訓練和經驗；

(b) 由主管機關適當授權的人。

1.2 放射治療使用輻射只能使用為此目的設計的特殊設備和設施。

1.3 動物的治療和病房設施必須足以保護：

(a) 照顧動物的人；

(b) 附近的任何其他人員。

#### 2. X射線治療設備

2.1 每台 X射線治療機必須：

(a) 專為治療而設計；

(b) 設計成

(i)通過X射線管護套(housing)的洩漏輻射於焦斑1 m處之空氣克馬率不超過10 mGy/h；或任何可接近X射線管護套0.5 m處之空氣克馬率不超過300 mGy/h。

(ii) X射線管的安裝方式使其不能相對於護套口旋轉或滑動。

(iii) 護套上有標記顯示X光焦斑的位置；

(iv) 提供合適的曝光控制裝置(計時器或曝光計)可於預設下列參數後自動終止曝露：

A. 曝露時間區間；

B. 曝露限值。

(v) 控制台上提供了一個易於識別的指示器，顯示X射線的產生時間；

(vi) 對於能夠在高於100 kV的X射線管電壓下運行的設備，應提供以下安全連鎖功能：

A. 在設備運行時防止人員進入治療室；

B. 打開治療室的門時中斷放射治療；

C. 屬於故障安全類型fail-safe type；

- D. 構造使得一旦連鎖裝置的操作中斷了放射治療，則只能從控制面板使設備恢復到完全操作狀態；
  - E. 定期進行測試和維護以確保功能正常。
- (c) 經過性能測試並由合格的專家校準：
- (i) 在首次用於治療之前；
  - (ii) 此後每年一次；
  - (iii) 進行任何大修或維修後。
- 2.2 X 射線治療機的控制站或控制位置必須為：
- (a) 在治療區域之外；
  - (b) 在足夠的保護性屏障後面。
- 2.3 曝露期間，必須對控制面板和動物進行觀察。
- 2.4 治療時，動物必須是：
- (a) 充分固定以進行治療；
  - (b) 從控制位置可觀察到。
- 2.5 X射線射束開啟期間，不允許任何人留在治療區域。
- 2.6 X射線警告標誌必須顯示在已定義的X射線治療區域，房間或封閉區域的所有入口處。
- 2.7 在輻射安全測試完成並確定裝置的輻射安全之前，不得使用 X 射線治療設備來治療動物。
3. 密封輻射源 - 加馬射線發射器
- 3.1 輻射源的儲存和處理必須符合相關輻防法規的要求。
- 3.2 必須有所有密封輻射源的最新登記冊，其中包括以下詳細信息：
- (a) 每個密封輻射源的序號或其他標識；
  - (b) 放射性物質的物理或化學形式；
  - (c) 輻射源的照片或圖表；
  - (d) 接收日期及其在該日期的活度；
  - (e) 最終處置的日期和方式(包括永久植入動物體內的輻射源)。
- 3.3 輻射測量儀器必須隨時可用：
- (a) 運作良好；
  - (b) 適合偵測使用的輻射類型。
- 3.4 每個處理放射性物質的人員必須配戴適當的個人劑量監測裝備。
- 3.5 在治療中使用可移除的密封輻射源期間：
- (a) 該動物必須被收容：
    - (i) 在例行監督下、嚴格安全管理；
    - (ii) 能有效防止體內含放射性物質的動物逃逸的情形發生。
  - (b) 屏蔽區域外圍必須位於：
    - (i) 距任何正常佔用區至少3米的位置；

- (ii) 在可行的情況下，盡量遠離經常使用的走廊，通道或其他通道；
  - (c) 須將要使用的密封輻射源放入屏蔽容器中，然後直接應用於動物；
  - (d) 在從動物身上移走輻射源後及在將動物從圍欄釋放之前，密封的輻射源必須是：
    - (i) 已檢查
    - (ii) 全清點過
    - (iii) 立即返回屏蔽容器；
    - (iv) 送回貯存區
  - (e) 如果從動物身上取出後發現對輻射源有任何破損或損壞，必須盡快通知負責輻射源的人員；
  - (f) 除基本餵養和照料動物外，不允許任何人進入動物圍欄；
  - (g) 如果輻射源或相關裝置滑落或脫落，操作者必須盡快通知負責治療該動物的獸醫。
  - (h) 輻射源外殼上必須顯示適當的輻射警告標誌和說明
- 3.6 在將輻射源永久植入動物體內的情況下，必須安置和照顧動物，除非或直到動物的總活度小於
- (a) 1.2 GBq (~32 mCi) of 金-198：適用於伴侶型動物(即家中寵物或通常與人類經常接觸的動物)
  - (b) 6 GBq (~160 mCi) 的金-198：對於野外動物(即通常放在圍場或非常大的院子中但不與人接觸的動物)
- 3.7 對於伴侶型動物，動物病房和其護理必須在動物(獸醫)的處所內。
- 3.8 當輻射源的活度小於上述值並且動物被釋放回到成年監護人時，必須為該人提供：
- (a) 適當屏蔽的容器
  - (b) 適當的書面指示
    - (i) 除必要的餵養和照料外，動物出院後的四天內，人們與動物的接近距離不得低於一米；
    - (ii) 在出院後至少14天之前，不得對動物進行騎乘或與人進行任何廣泛接觸；
    - (iii) 如果植入含輻射源物的任何放射性物體或顆粒意外脫落，則只使用鉗子、鉗子或其他長柄工具取回，放在上述適當屏蔽容器內保管，直至其被妥善處置
    - (iv) 如何處置輻射源的詳細資訊；
    - (v) 任何放射性物質或顆粒都不應在手指上處理或作為古玩保存。
- 3.9 如果動物在治療完成之前死亡，負責放射性物質的人必須：
- (a) 盡快被通知；
  - (b) 安排去除的輻射源

#### 4.密封輻射源 - $\beta$ 粒子發射體

作為放射性治療  $\beta$  粒子的密封放射源，唯一通常用作放射性元素的放射性元素是銨-90。

- 4.1 只能由主管機關適當授權的人員使用銨90塗藥器。
- 4.2 塗抹器必須配有合適的搬運設備才能使用。
- 4.3 不得直接查看塗藥器中之放射性板。
- 4.4 任何損壞的施用器必須立即返回適當的機構進行檢查、可能的修復和放射性洩漏測試。
- 4.5 施用器的遺失必須立即報告給相關監管機構。
- 4.6 銨90塗藥器必須經過主管機構的授權批准才能進行處置。
- 4.7 銨塗藥器必須存放在以下容器中：
  - (a) 盒子的最小整體外形尺寸不小於0.1 m；
  - (b) 具保護性使其免受損壞
  - (c) 提供足夠的輻射屏蔽；
  - (d) 使其在運輸過程中不會移動或脫落。
- 4.8 在以下情況時，必須始終將射源板放在其特殊容器中：
  - (a) 未使用；
  - (b) 正在運輸。
- 4.9 包裝盒的外部必須裝有
  - (a) 適當的輻射警告標誌
  - (b) 放射性同位素的名稱(銨90)
  - (c) 標稱活性；
  - (d) 測量標定的日期；和
  - (e) 負責人的姓名，地址和聯繫電話

## 附錄八、動物核子醫學診療外釋標準規範(草案)

### 甲、前言

核子醫學診療在人體的醫學應用已非常廣泛，近年來應用核子醫學技術進行動物之醫學診療亦逐漸頻繁。在動物核子醫學診療中，最常見的用途是給貓隻提供碘-131 治療，以及管理用於診斷研究的 F-18 正子斷層掃描(PET)技術或使用 Tc-99m 之單光子發射斷層掃描(SPECT)技術。動物核子醫學的輻防管理，亦須符合游離輻射防護法之相關規定。接受診療後之動物，應在確保公眾(包括動物的旁觀者，寵物主人，家庭成員或其他看護人)從動物身上獲得的劑量法規的限制之內(公眾個人的總有效劑量不得超過 1 毫西弗/年)，接受核醫診療後的動物才能被釋放。

### 乙、目的

為確保接受核子醫學診療後之動物外釋出院後，造成公眾(包括動物的旁觀者，寵物主人，家庭成員或其他看護人)之輻射安全無虞，因此制定此動物核子醫學診療外釋標準規範，供管制機關及相關動物醫療院所做為遵循之依據，以確保公眾個人的總有效劑量不得超過 1 毫西弗之要求。

### 丙、動物外釋標準

動物核子醫學診療作業後之動物患者須符合下列條件後始能外釋出院：

- (i) 針對 I-131，貓隻服藥後至少要滿 4 天[96 小時]收容留置在醫院內
- (ii) 劑量率在 1 公尺處之劑量率小於 5  $\mu\text{Sv/h}$  ；或符合稍嚴格之要求：15 公分處小於 10  $\mu\text{Sv/h}$  之要求亦可(動物收容時間會稍長)。
- (iii) 在任何一小時內，公眾不會從貓隻身上接受到超過 0.02 mSv 的劑量，或者一年內不會收到 1 mSv 的劑量。

### 丁、外釋出院後之相關輻射安全指南

動物醫療院所在確定核子醫學診療作業後之動物患者後，於動物患者外釋出院前，應向受診療動物之飼主提供書面指南，該指南內應明確說明動物患者外釋出院後之相關輻射安全注意事項。

### 戊、受診療動物外釋出院後飼主的輻射安全指南範本如附錄九。

## 附錄九：受診療動物外釋出院後之飼主的輻射安全指南

### 一、說明：

您的動物已經接受了核子醫學(放射性碘)的治療，但放射性水平仍然很低。您的動物會散發出輻射，並會繼續排出少量的放射性碘。當前的放射性水平低於要求將動物與人完全隔離的水平。但是，由於存在殘留的放射性，因此需要您同意以下所有預防措施：

### 二、一般準則

- (1) 在接下來的兩到四個星期內，請勿抱住動物，不要讓動物與您坐在椅子上，或者讓動物與您在床上睡覺。這也適用於您家庭中的所有其他人。盡量減少與動物的接觸。您的寵物與您可能擁有的任何其他動物的關聯都沒有問題。
- (2) 在接下來的兩到四個星期內，懷孕的任何人都不能與動物接觸或參與清潔墊料。
- (3) 所有床上用品，玩具和其他可能受污染的物品應隔離三個月或徹底清洗。

### 三、貓砂的特殊處理說明

- (1) 使用貓隻專用垃圾箱，箱中應使用塑料襯裡。如果無法使用襯板，則必須在指定的限制時間後棄置垃圾箱。
- (2) 如果您家中廁所馬桶有連至公共下水道管線，請在垃圾箱中使用可沖刷的垃圾。清理時只需將垃圾箱中貓隻髒污的垃圾鏟入馬桶並沖掉即可。
- (3) 如果您家中沒有公共下水道管線，則絕對不能在馬桶沖掉垃圾，則可找到其他的方法處理垃圾，這些垃圾至少三個月不能與一般生活垃圾一起扔掉，以防止在垃圾填埋場的垃圾中檢測到放射性時引起的問題。

### 四、狗糞便的特殊處理說明

- (1) 如果您的狗在報紙或墊子上排泄，應使用鐵鍬鏟起糞便，並通過廁所處理。尿液浸濕的報紙或墊子需要折疊並放入塑料袋中，以便存放在家裡的偏遠地區(例如，車庫中的上鎖櫥櫃)。為了避免在垃圾掩埋場的垃圾中檢測到放射性時引起的問題，這種垃圾至少三個月不能與您的家庭垃圾一起扔掉。
- (2) 如果您的狗在院子裡排泄，應使用鐵鍬鏟起糞便，並通過廁所處理。狗吃完後，應立即用軟管徹底排尿。

## 五、其他注意事項

- (1) 避免與寵物長時間接觸。與寵物接觸後或處理垃圾或糞便後，請徹底洗手。
- (2) 如果您的寵物是貓，請不要讓它在檯面上行走。
- (3) 不要讓寵物從盤子裡吃東西。
- (4) 年幼的孩子將寵物帶回家後，應在規定的限制時間內避開該寵物應密切監督幼兒，以確保不會與寵物接觸。如果確實發生接觸，請徹底清洗與寵物接觸的孩子的手或身體部位。
- (5) 在將寵物帶回家後的指定限制期內，應將其限制在您的家中(如果是狗，則將其限制在財產範圍內)，並且應安排其在空曠的地方睡覺。
- (6) 緊急護理：如果您的寵物在指定的限制期內需要緊急護理，緊急護理提供者將需要知道您的寵物含有放射性，並與[聯繫信息]中的[填寫聯絡人姓名]聯繫。
- (7) 如果您的寵物在治療後三個月內死亡，並且計劃將其火化，則需要了解，可能必須將其冷凍直到三個月的時間才可以火化。
- (8) 如有任何疑問，請聯繫：[填寫醫療院所內距專業知識之聯繫人聯絡方式與姓名]。