

輻射防護簡訊 79

中華民國95年6月1日

■ 出版單位：財團法人中華民國輻射防護協會
■ 地 址：新竹市光復路二段295號15樓之1 ■ 電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521
■ 編輯委員：王昭平、尹學禮、何 偉、李四海、施建樑、
翁寶山、張寶樹、董傳中、趙君行、蘇獻章 (依筆劃順序)
■ 發行人：翁寶山 ■ 主 編：劉代欽 ■ 文 編：李孝華
■ 印刷所：大洋實業社 地址：新竹市建功一路95號
行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第柒伍零號

□輻防消息報導

▲游離輻射防護測驗資訊

(原能會訊)

行政院原子能委員會委託元培科學技術學院辦理 95 年第 1 次游離輻射防護測驗，業於今(95)年 4 月 22 日分臺北、高雄兩個考區舉行，及格人員名單自 5 月 18 日起公布。本次「輻射防護專業測驗」部分：報考輻射防護師 179 人、報考輻射防護員 265 人，及格率分別為 15.9%及 23.7%；「操作人員輻射安全證書測驗」部分：報考人數 508 人，及格率為 59.5%。

另 95 年第 2 次游離輻射防護測驗，預定於今(95)年 10 月間舉行，簡章將於 7 月中旬公告，相關訊息可連結行政院原子能委員會網站(<http://www.aec.gov.tw>)查詢。

95 年第 1 次游離輻射防護測驗及格人數統計表

測驗別	報考人數	到考人數	及格人數	及格率(%) (及格人數 / 到考人數)
輻射防護師	179	126	20	15.9%
輻射防護員	265	211	50	23.7%
總計	444	337	70	20.8%

測驗別	報考人數	到考人數	及格人數	及格率(%) (及格人數 / 到考人數)
輻射安全證書	508	471	280	59.5%

▲針對應變人員所發展的輻射偵測技術

(核研所 張柏菁)

一、前言

2001 年 9 月恐怖攻擊事件發生後，美國於 2002 年 7 月公佈的「國土安全國

家戰略」(National Strategy for Homeland Security)報告書中，即明確表達對於美國所可能受到的放射性恐嚇威脅的重視。可能的威脅行動包括偷運並以放射性散佈裝置(radiological dispersal devices)及/或引爆臨時組成之核子裝置(nuclear device)的方式故意散佈放射性物質，以及利用引爆或飛機撞擊等方式攻擊核子設施。這些攻擊方式會嚴重影響飲水及食物供應、具戰略性的土地、主要城市、橋樑、隧道及特別重要的敏感區域或建築。由於所受到的關注持續增加，多個政府機構和州及地方政府當局已購置了可攜式輻射偵檢器、電子式個人劑量計、可攜式放射性核種鑑別儀器，以及可攜式輻射監測儀器，遍及美國各地均使用這些儀器偵測及鑑別放射性物質。表 1 所列者為容易獲得的工業用及醫用的放射性物質。為協助國土安全部及國家標準與技術研究所法律施行標準辦公室進行相關工作，國家標準與技術中心游離輻射部門即有共識參與針對國土安全應用的美國國家標準的發展工作。

表 1 工業及醫學常用的放射性核種

放射性核種	半化期	輻射
Co-60	5.27 年	β^-,γ
Tc-99m	6.01 小時	e^-, γ
I-125	59.41 天	e^-, γ
Cs-137	30.07 年	β^-, γ
Tm-170	128.6 天	e^-, β^-, γ
Ir-192	73.83 天	e^-, β^-, γ
Ra-226	1,600 年	α, e^-, γ
Am-241	432.2 年	α, e^-, γ

首要的工作為協助並參與美國國家標準協會(ANSI) 四個標準(ANSI N42.32, N42.33, N42.34, N42.35)的發展，對應標準於坊間可購得的商用儀器，亦須發展及確認相關的測試評估協定(T&E protocol)。執行測試的單位有國家標準與技術研究所(NIST)、橡樹嶺國家國家實驗室(ORNL)、太平洋西北國家實驗室(PNNL)、洛色拉莫士國家實驗室(LANL)及勞倫斯立佛摩爾國家實驗室(LLNL)。

此項工作進行的目的之一為發展消費者型文件(consumer-type document)，其將進行所有商用輻射偵測器性能與相對應的 ANSI 標準的比較，此外，還針對其他廣泛且多樣化的輻射偵測系統、成像、訓練、數據格式及各種不同環境狀況發展相關的標準。

二、標準及測試評估協定

所發展的標準包含偵測儀具之一般規定及所需通過測試的詳細資訊，偵測儀具的一般規定必須通過相關使用者、製造者及技術團隊的一致認可，且其均

參與標準的草擬作業，應變人員團隊則協助提供所使用儀具的基本需求作為訂定標準的輸入資訊，部分的一般規定包括使用儀具的尺寸及重量、電力、電池壽命、警報指示(可看見、可聽見、震動)、標記、除污能力(若有此功能)、曝露與能量範圍、顯示、轉換，以及必要的文件，此處所提僅為少部分。偵測儀具的測試類別可分為放射、環境、機械及電磁等四種。四類偵測儀具的環境及電磁測試頗為相似，而放射及機械測試則依測試的偵測儀具的不同而有所差異。

放射測試包括背景輻射量測、假警報比率、能量響應、曝露率響應、超載後的響應及恢復、警報機率，對核種鑑別儀具須具備明確鑑別所規定核種的能力。環境測試則包括溫度、濕度及其他環境可變因素變化對偵測儀具響應的影響。機械測試範圍涵括機械震動、顫噪、擺動、及墜落等。電磁測試包括外在磁場、無線電頻率、傳導干擾、靜電放電、雷擊及振盪波對偵測儀具響應的影響。

由於部分要求條件較為敏感，測試評估協定包括非為 ANSI 標準所要求或敘述的額外測試，為執行特殊測試，每一步驟均提供更為詳盡的敘述以供遵循。其亦提供重行測試規定，每一測試均可依詳細的程序依次進行，完成引導測試實驗室相關量測規定及測試結果的報告格式，測試評估協定並未包含現場測試。

三、標準及測試評估協定的測試

為測試所發展的標準及測試評估協定，NIST 購買將近 30 個偵測儀具，其中包括電子式個人劑量計、輻射偵測儀、可攜式核種鑑別儀及門框式監測器。電子式個人劑量計及可攜式儀具結合了碘化鈉、蓋革計數器、矽二極體及塑膠閃爍體等偵檢器；門框式監測器則結合塑膠閃爍體作加馬射線偵測，氦-3 偵測器作中子偵測。部分儀具亦送至 ORNL、PNNL 及 LLNL 進行測試，測試結果不但有助於改進測試評估協定的測試，亦可應用於 ANSI 標準，並據以作修訂。依據標準及測試評估協定所規劃的一系列測試的結果，邀請所有的製造者參與適用於應變人員的消費者型文件的製作，其可用於與 ANSI 標準對應的商用輻射偵檢器作效能比較。

四、未來工作

NIST 與美國國土安全部持續發展輻射偵測的新標準，國土安全部所需要的有中子劑量偵檢器、阿伐及貝他監測器、空氣取樣設備、門框式能譜儀、可移動系統、主動訊問儀器(加馬射線、x 光及中子)、輻射儀器的數據格式，以及於極端狀況下使用儀器所需增加的環境測試。可預見的是輻射儀器使用及維護訓練的標準，該標準應包含第一線應變人員所需最基本的訓練課程。

參考文獻

1. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. American national standard performance criteria for alarming radiation detectors for homeland security. Piscataway, NJ:IEEE;ANSI N42.32; 2003a.
2. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. American national standard

performance criteria for portable radiation detection for homeland security. Piscataway, NJ:IEEE;ANSI N42.33; 2003b.

3. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. American national standard performance criteria for hand-held instruments for the detection and identification of radionuclides. Piscataway, NJ:IEEE;ANSI N42.34; 2003c.
4. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. American national standard for evaluation and performance of radiation portal monitors. Piscataway, NJ:IEEE;ANSI N42.35; 2003d.

【資料來源】

“Advances in Radiation Detection Technologies for Responders,” Health Physics 89(5):485-487, 2005.

▲ 低劑量游離輻射的危險度

(台電核能發電處 翁雅慧)

世界核能協會(WNA)認為有必要在決策者與民眾之間，闡述日益受到關心的低劑量游離輻射對人體健康潛在的衝擊。

目前的科學知識對微量輻射的理論危險度議題，還要留待辯論與進一步的研究。其不確定性在於事實上如果有危險度存在，也是極小且極難發現。因此，謹慎的方法是控制輻射源，並且避免對核能應用的不適當限制（在某一方面會剝奪核能科技對社會的利益，尤其是能源界與醫療界的利益）。

游離輻射的曝露主要是來自地球、宇宙射線以及存在於人體內的天然放射性核種的背景輻射。輻射的生物衝擊以毫西弗(mSv)為單位，表示受到曝露量的大小以及對人體健康的潛在傷害。全球每人每年平均輻射曝露量介於 2~3 mSv，個人的輻射曝露量隨地理位置不同，背景輻射量的變化，可低至 1 mSv，也可高達 100 mSv。

包括診斷與治療的醫療應用，是人類曝露於游離輻射的第 2 大來源。其餘游離輻射來源，包括核能電廠正常運轉所產生的人工射源造成民眾的輻射曝露量，與天然背景輻射及醫療應用而產生的輻射相較之下，是極其微小的。(當以 mSv 計算輻射曝露對人體健康的危險度時，天然射源與人工射源並無區別。)

曝露於非常高的輻射劑量（通常大約 100 mSv 以上）時，已證明癌症的危險度會增加。一般利用數學模式以高劑量的數據外插方式，推論出低劑量的危險度。這類的模式是以「線性無閾(LNT)」假說為基礎，亦即輻射危險度與劑量成正比。在 LNT 的假說下，即使一般民眾日常生活的輻射曝露量（每年數 mSv），對健康仍有小量但確定的危險度存在。

作為科學的證據方面，低劑量輻射（約小於 100 mSv）與癌症或其他負面的健康效應並沒有明確的關聯性。事實上，即使是理論的危險度，也小得無法以目前的方法測得，因此無法對研究人口疾病的成因、分布與控制的流行病學調查提供數據。

然而，由於無法排除危險的可能性，國際輻射防護的主要機構（聯合國輻射效應科學委員會、國際放射防護委員會以及國際原子能總署）對低輻射劑量採取以 LNT 假說為基礎的「審慎保守」態度。另一模式是認為輻射曝露低於某低限值時，對健康並無任何影響。這些國際組織注意到，實際上曝露於任何額外輻射源所造成的劑量，必須與來自背景輻射的曝露劑量相加，所以受到關注的低劑量始於每年約數毫西弗。

基於這種謹慎保守的態度，國際輻射防護組織建議對人體造成曝露的額外輻射量設定個別劑量限值：

- 一般民眾的劑量限值：1mSv／年。
- 輻射工作人員的劑量限值：5 年的平均值為 20mSv／年（亦即 5 年期間總劑量限值為 100mSv），單一年度最高限度為 50mSv。

WNA 認為有必要為輻射相關工作的曝露設定規章、法規指引以及防護定義，並且接受目前以 LNT 假說為基礎的方式，作為科學進一步澄清之前的謹慎做法。但 WNA 也強調 LNT 理論可能會大大地高估了低劑量輻射的危險度。LNT 並非科學事實，而是做為假設使用的模式。

在進一步的科學研究確實建立低劑量輻射危險－或是並無危險－的結論之前，必須以一種平衡的態度面對輻射發展的政策，並利用輻射防護，以適當的謹慎結合核能技術實際帶來的龐大且多樣的利益。

多年來，核能工業一貫地進行以限制民眾與輻射工作人員曝露的劑量為目標的政策；並且在降低輻射曝露方面，達到令人滿意的紀錄。

在過程中，核能工業一貫地支持 ALARA 原則以尋求輻射劑量「考慮所有社會與經濟因素後，在合理可達成的範圍內儘可能地低」。相信此原則使輻射曝露獲得明確的防護，提供人體健康的最大潛在利益。

WNA 相信如果用在減少極微量輻射劑量所引起的理論性個人風險而必須進行的努力方面，ALARA 原則將被誤用，因為其劑量落在天然背景輻射的變動範圍內，以極大的努力降低非常小量的輻射，違反了 ALARA 原則中達到危險度與利益間合理平衡的本質。

此外，民眾在某段期間因輻射曝露累計造成可能會引起假設性潛在健康危害的「集體劑量」觀念，也引發爭論。應用「集體劑量」觀念所做的劑量與健康危險度評估，遠超過科學證明的有效範圍，因此無法做為公共政策的立法基礎。

由於極低的輻射劑量在最壞的情況下所造成的健康危害也小得不具意義，因此 WNA 認為有必要對來自不論是天然或人工的游離輻射防護，建立一套一致性的國際方法，以定義低劑量游離輻射，主張個人的輻射劑量應合理的維持在此數值以下。在此數值以下並無輻射風險－分配資源以控制少量輻射曝露是不公平的，因為結果只是削弱了使多數人類從核能和平應用中獲得的利益。

□ 會議訓練報導

▲ 95 年度各項訓練班預定開課時間表

(輻協訊)

班 別	組 別	期 別 及 日 期	地 點
放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員研習班	(A 組) 36 小時	A5-- 7 月 19 日~ 26 日	(高雄) 輻射偵測中心
		A6-- 7 月 25 日~8 月 1 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		A7-- 9 月 20 日~ 27 日	(高雄) 輻射偵測中心
	(B 組) 18 小時	B15--- 6 月 21 日~ 23 日	(台北)建國大樓
		B9--- 6 月 28 日~ 30 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B10--- 7 月 5 日~ 7 日	(新竹) 帝國經貿大樓
		B11--- 8 月 9 日~ 11 日	(台北)建國大樓
		B12--- 8 月 16 日~ 18 日	(高雄) 輻射偵測中心
		B13--- 8 月 23 日~ 25 日	(新竹) 帝國經貿大樓
輻射防護專業人員訓練班	輻防師(100 小時) 輻防員(100 小時)	員 9 期& 師 7 期 第一階段--6 月 19 日~ 23 日 第二階段--6 月 26 日~ 30 日 第三階段--7 月 10 日~ 14 日 第四階段--7 月 17 日~21 日 師 7 期& 進階 7 (36hr) 第五階段--8 月 7 日~11 日	(新竹) 帝國經貿大樓
鋼鐵建材輻射偵檢人員訓練班		第 2 期--7 月 3 日~4 日	(新竹) 帝國經貿大樓
九十五年度輻射防護教育訓練 I		6 月 15 日(四)	(高雄) 輻射偵測中心

◎ 以上各項訓練班簡章備索詳細內容網址為 www.rpa.org.tw，電話：(03)5722224。◎

□ 專題報導

▲ 氟-18-去氧葡萄糖正子斷層造影的輻射安全標準作業程序

(國泰綜合醫院 杜慶燾)

【接續 78 期】

- ⑦攝影方式的檢查(2 D 或 3 D)。
- ⑧攝影時間的檢查。
- ⑨吸收修正處理的檢查。
- ⑩影像重建性能的檢查。
- ⑪影像的轉送、顯示、印刷與保存等性能的檢查。

5.放射線診療工作人員的教育訓練及繼續教育

醫療院所管理者，為貫徹輻射防護及醫療安全，應對於從事 FDG-PET 檢查的放射線診療工作人員，實施教育訓練內容包含：

- (1) 充分了解安全作業程序及其他須知以及指導等書面資料。
- (2) FDG 藥劑的安全操作。
- (3) 防止 FDG 藥劑的放射性污染及防止污染擴大的對策。
- (4) 掌握接受 FDG-PET 檢查病人的標準吸收劑量，有效劑量。
- (5) 關於放射線診療工作人員的輻射防護。
- (6) 關於看護者、接受 FDG-PET 檢查者以外的病人及一般公眾的輻射安全與降低劑量的方法。

5.1 接受 FDG 檢查病人的吸收劑量、有效劑量

(1) 關於接受 FDG 投與病人的曝露劑量，有不同的報告。最常引用的報告是依據 ICRP Publication 80 的劑量值如表 1。成人接受 185 MBq(5 mCi)時，有效劑量為 3.5 mSv。

使用射源(線形及圓筒形) ^{68}Ge - ^{68}Ga ， ^{137}Cs 或 ^{22}Na 實施傳送掃描(transmission scan)時其劑量約為 0.25 mSv。另外，PET-CT 吸收修正^{註3}用 x 光 CT 攝影的劑量約為 1.4~3.5 mSv (廠商提供)，(依掃描範圍的大小而定)。另外影像重疊使用的高影像品質 CT 做大範圍的攝影時有效劑量有時候可能會超過 10 mSv。應參考這些劑量值選擇最少必要限度的劑量來實行檢查。

表 1 接受 FDG 病人的劑量(器官平均吸收劑量及有效劑量)(依 MIRD 法計算)

器官	成人	15 歲	10 歲	5 歲	1 歲
紅骨髓 (mGy/MBq)	0.011	0.014	0.022	0.032	0.061
膀胱內壁 (mGy/MBq)	0.160	0.210	0.280	0.320	0.590
有效劑量 (mSv/MBq)	0.019	0.025	0.036	0.050	0.095

資料來源：ICRP Publication 80，1998

^{註3} 吸收修正：①投與在病人體內的放射性藥劑被吸收並分布於身體組織內。
 ②從體內深部放射的 γ -ray 被體內組織吸收的比率高，故由體外不易檢測出來。
 ③相反地分布在體表淺部的藥劑放射的 γ -ray 不易被組織吸收而容易檢測出來。
 ④對於體內 γ -ray 吸收不均勻所作的修正處理稱為吸收修正。

(2) 投與其他 PET 藥劑的病人劑量

依表 1(ICRP Publication 80, 1998)可計算以外，也可用日本同位素協會醫藥學部會迴旋加速器核醫學利用專門委員會所認定為成熟技術製造 PET 藥劑的體內曝露劑量表，其係依據美國醫用體內輻射計量委員會(Medical Internal Radiation Dose Committee, MIRD)倡議的 MIRD 法作計算。

表 2 PET 檢查藥劑的體內劑量

<p>[¹¹C] ¹¹C -carbon monoxide gas (¹¹CO)</p> <p>肺：15μGy/MBq</p> <p>全身：5μSv/MBq</p>	<p>[¹⁵O] ¹⁵O-water 注射液 (H₂¹⁵O)</p> <p>精囊：0.6μGy/MBq</p> <p>卵巢：0.6μGy/MBq</p> <p>全身：0.5μSv/MBq</p>
<p>[¹³N] nitrogen gas (¹³N₂)</p> <p>肺：5.2μGy/MBq · min</p> <p>全身：0.8μSv/MBq · min</p>	<p>[¹⁸F] 2-deoxy-2[F-18] fluoro-D-glucose 注射液(¹⁸FDG)</p> <p>膀胱：78μGy/MBq</p> <p>全身：12μSv/MBq</p>
<p>[¹⁵O] oxygen gas (¹⁵O₂)</p> <p>肺：600μGy/min</p> <p>全身：170μSv/min</p> <p>(40 MBq/L 的連續吸入)</p>	<p>[¹¹C] L-[¹¹C] methionine 注射液</p> <p>全身：3.2μSv/MBq</p>
<p>[¹⁵O] ¹⁵O-carbon dioxide gas (C¹⁵O₂)</p> <p>肺：1.7μGy/MBq</p> <p>全身：0.5μSv/MBq</p>	<p>[¹¹C] ¹¹C-Palmitate 注射液</p> <p>全身：0.35μSv/MBq</p>
<p>[¹⁵O] ¹⁵O-carbon monoxide gas (C¹⁵O)</p> <p>肺：3μGy/MBq</p> <p>全身：0.5μSv/MBq</p>	<p>[¹¹C] ¹¹C-N-methylspiperone 注射液</p> <p>全身：6.8μSv/MBq</p>
<p>[¹³N] ¹³N-ammonia 注射液(¹³NH₃)</p> <p>肝：6.8μGy/MBq</p> <p>全身：1.4μSv/MBq</p>	<p>[¹¹C] ¹¹C-choline 注射液</p> <p>肝臟：17.3μGy/MBq</p> <p>腎臟：18.0μGy/MBq</p> <p>全身：2.8μSv/MBq</p>

(資料來源:日本同位素協會醫學·藥學部會刊物 RADIOISOTOPES,48 : i-xxvi,1999.RADIOISOTOPES,50 : 326-329,2001.)

5.1.1 FDG 使用須知

(1)FDG 的投與基準

使用 FDG 時，須經過考量，確定診斷上的獲益大於曝露所引發的弊病後，才可投與(FDG 使用的正當化)。

(2)FDG 的投與劑量

二度空間(2D)資料收集時，投與量為 150~370 MBq(或 4~6 MBq/kg 體重)，三度空間(3D)資料收集時，投與量為 74~185 MBq(或 1.5~3 MBq/kg 體重)，以靜脈注射方式投與。在 3D 資料收集時，因 PET 裝置的軸方向視野長度不同，系統的感應度及高計數率特性也有所不同，所以各設備都應做雜訊當量計數比(noise equivalent count ratio, NECR)測定。投與劑量原則上應使用最低必要劑

量。

(3)使用禁忌

病人病情垂危時，不宜施行投與。

(4)對於孕婦的投與

除非接受檢查之利多於弊，否則妊娠及哺乳中的婦女皆不投與 FDG 作檢查。

(5)對於高齡人士的投與

年長者的生理機能普遍下降，故投與時須審慎觀察病人的情況。

(6)對於小兒的投與

對小兒使用 FDG 的安全性問題目前尚無定論，故須審慎使用，診斷上利多於弊時才可以投與。

5.1.2 劑量管理：

(1)接受 FDG 檢查病人的劑量：

除了 FDG 的劑量之外，尚有：傳送掃描(transmission scan)^{註 4} 的劑量、PET/CT 檢查的 CT 劑量、配合 PET 進行的胸部 CT 檢查劑量、單次健康檢查的總劑量、以及劑量對危險度(risk)的影響。這些應在對病人說明時一併告知。

- 應限定投與 FDG 的最低劑量，以減少病人接受多餘的曝露。
- 應於檢查前先行說明有關病人自身劑量，及檢查後對家屬造成的劑量及影響等事項。

(2)醫療放射線工作人員的劑量：

醫療放射線工作人員應配戴劑量徽章或個人劑量計。

● 降低劑量的方法

為減少工作人員體外曝露，務必在工作進行時，將輻射防護三原則(時間、距離、屏蔽)牢記在心。

①硬體方面

須使用 FDG 的自動分裝設備；須設置投與後供病人休息的安靜室、以及檢查完畢後的恢復室。

②軟體方面

定期對工作人員作教育訓練；撰寫安全作業程序供工作人員遵守；投與藥物人員或引導員如有劑量過多之現象，則工作位置應輪流替換，使人員劑量平均化。

5.2 放射線診療工作人員的防護

5.2.1 醫療放射線防護的原則

為了達到降低 FDG 藥劑調製與從事 PET 檢查工作人員以及接受 PET 檢查的患者於公共場合曝露至最小劑量的目的，建議 FDG 操作者或是接受 FDG 投

^{註 4} 傳送掃描：為求病人體內 γ -ray 透過率的數據收集成為吸收修正的基礎數據。

① 吸收修正使用線狀密封射源(^{68}Ge ， ^{22}Na 或 ^{137}Cs) 在病人身體周圍旋轉，求出 γ -ray 穿透量的分布。

② 作傳送掃描時病人位置務必與作發射掃描(emission scan)病人位置完全相同(不動)才能作正確的吸收修正。

與的病人進行輻射防護時，應盡量活用輻射防護三原則(時間，距離，屏蔽)，並將社會經濟等因素考慮在內，在合理達成的情況下，務必將危害降到最低。特別是實行 PET 檢查時，工作人員因使用高劑量率的 PET 藥劑，故在短時間內會有接受龐大劑量的可能，因此放射線從業人員劑量的管理便顯得特別重要。放射線從業人員應使用適當的放射線偵測儀^{註5}，徹底實行防護的管理，致力於降低劑量。另外醫療院所管理單位對於放射線從業人員也應進行定期劑量評估，以不超過劑量限度為首要職責^{註6}。

5.2.2 降低 PET 檢查工作人員的劑量

由於 PET 是短半衰期的核種，使用量大且會放出高能量互毀光子，因此可能在 FDG 製造中或分裝注射筒時，甚至投與 FDG 藥品過程裡都會給工作人員帶來很大的劑量。所以應充分了解 PET 核種的特性，且考慮適當的防護方法，以達成輻射防護安全。

劑量是依操作時間與距離射源的長短而定，因此務必熟練操作的方法。例如：FDG 檢查前應先將檢查內容、檢查次序、檢查室位置、自等待室移動的方法事先向病人詳細說明。在 PET 的藥劑投與後，更需盡可能縮短教導病人等動作的時間，另外管制區內所存留的 FDG 投與病人的排泄物(儲存的尿液)，在檢查當天將之視為射源。

5.2.3 妊娠中的輻射防護人員

院所管理人員若收到放射線工作人員妊娠報告時，管理人員有義務讓妊娠工作人員體內的胎兒所接受到的放射劑量不超過 1 mSv，其腹部表面的體外劑量不超過 2 mSv。若有超過劑量值的可能時，應探討該放射線工作人員的工作內容及場所變更的需要性，且在實施前應得到工作人員本人及對調人員的同意。

5.2.4 FDG 製造、分裝作業所帶來的劑量

關於 FDG 合成作業時可能接受劑量的作業時間如下：

- (1)FDG 注射液分裝作業。
- (2)品質管理試驗。
- (3)無菌，發熱物質試驗。
- (4)翌日的 FDG 藥品合成準備。
- (5)加速器的檢查。

在上列工作中移動 FDG 藥品時，應使用具有充分屏蔽能力的容器。另外，FDG 藥品的取出、檢查裝置添加試料時，應謹慎敏捷，以盡可能降低劑量。

進行手動 FDG 的分裝注射液時，因距離短且活度高，曝露的危險性很大，因此應積極使用自動分注裝置，以期降低曝露的劑量。

5.2.5 關於降低 FDG 藥劑投與時所帶來的劑量

^{註5} 平時務必配帶劑量徽章，於可能劑量較高處更應加戴附有警報裝置且能直接讀取劑量的偵測儀。

^{註6} 目前美國與英國對於 PET 檢查的放射線工作人員的劑量目標值已分別改為 5 mSv/y、6 mSv/y，而日本也考慮 FDG 核種的特性，遵循採用 5 mSv/y。

FDG 藥劑和接受注射投與的病人是主要的放射線來源，由於投與 FDG 藥劑的放射線工作人員與射源的距離很近，估計的劑量將會很高，因此應使用能防止 PET 核種放射出來的 γ 射線屏蔽，此外請務必參考下列放射線防護對策：

- (1) 工作體制中應設置複數放射線工作人員，並輪流進行放射線工作以降低每位工作人員所承擔的檢查數目。
- (2) 須使用 PET 專用的屏蔽屏風，以及使用周圍設有屏蔽與支撐設備的注射器，或者使用放射線藥劑的自動注射裝置。
- (3) 應事先確認靜脈血管，盡可能縮短 FDG 注射時間。

注射後，應使病人在注射室內休息等候（吩咐病人切勿看書、看電視、講手機或走動等），而進行注射的醫護人員盡可能於最短時間內完成注射並盡速離開，使其與病人接觸所得劑量最小化。

5.2.6 關於 PET 攝影的劑量最小化

工作人員應於最短時間內排定病人的攝影位置，務必縮短作業過程中須接近病人的時間，必要時使用鉛屏蔽進行屏蔽，並事先評估曝露的劑量，將盡力降低劑量視為首要之務。此外，放射線工作人員也須注意，不應帶給病人任何不安的感覺。

5.2.7 關於機台體外射源(校正、吸收修正用)引起的劑量

幾乎所有 PET 裝置皆為解決吸收修正的問題，而於機台內設置吸收補正用射源。其活度會隨裝置不同而不同，大約為 400~500 MBq，故放射線工作人員務必十分謹慎，尤其於吸收修正用射源更新時，應使用專業鉗子(tongs)並盡量縮短作業時間。此外，放射線工作人員使用體外射源（校正、吸收修正用射源）時須牢記曝露於機台前面之劑量率，約為 40~50 μ Sv/h；機台背面約為 80~100 μ Sv/h；射源收藏時於機台背面會洩漏約 5~10 μ Sv/h。在進入正子檢查室時，應盡量縮短室內停留的時間。

6. 對病人及看護者的指導事項

工作人員應對看護者、診療對象以外的人、及一般公眾提供減低劑量的指導。指導內容如下：

- (1) 投與前後盡量喝水，檢查前及檢查完畢後須排尿。
- (2) 投與後兩小時內，懷孕中婦女或 10 歲以下的兒童，須盡量減少接觸時間並保持距離。(註 4)
- (3) 接受檢查的病人在同一時間成群出院，可安排特定交通工具往返(如接駁車、公車、計程車)，並且①應遠離司機，②兩病人勿同乘一車，盡量減少對司機或隨車工作人員的曝露。
- (4) 應指導家屬、看護、護理師相關的輻防措施，必要時亦得視情況而配戴佩章。
- (5) FDG 病人為數眾多的院所，為降低院所中相關人員，如引導者、登記工作者、會計師和交通接送人員的劑量，也應對他們進行適當的指導。

註 4: ICRP 60 刊物中認定妊娠女性和 10 歲以下兒童屬於放射線敏感群。

7.實行 FDG-PET 檢查的核醫科部門，應有的設備

7.1 場所的設置目標，在於降低 PET 檢查室中受檢者以外的人，以及放射線工作人員的劑量。

- (1)正子準備室：FDG 藥劑調製及分裝室。
- (2)正子診療室：投與病人 FDG 藥劑及 PET 攝影裝置的房間。(原則上，一個房間不得設置兩部以上的 PET 裝置。)
- (3)檢查前候診室：FDG 藥劑投與後及檢查前，病人安靜等候或休息的房間。在檢查之後回家之前也可利用。
- (4)操作場所：操作控制台所在地和 PET 裝置之間，必須有充分防護牆分隔。操作人員並須接受放射線安全管理。
- (5)標誌及注意事項的展示：室內須明白張貼使用室名稱輻射防護的注意事項。

除了上述的設施外，最好還能有病人專用盥洗室，以供檢查前、後的排泄用。

7.2 環境劑量的安全標準(日本政府規定，參考之用。)

- (1)醫療放射性同位素使用室的外面(室外有效劑量：1mSv/1 週)
- (2)管制區：體外射源(校正、吸收修正用射源)有效劑量為 1.3 mSv/3 個月
- (3)核醫科場所境界防護：有效期限為 250 μ Sv/3 個月
- (4)病人的輻射防護：住院一般病人的有效劑量為 1.3 mSv/3 個月

8.放射性廢棄物管理

8-1 固體廢棄物

包含 ^{18}F 等的 PET 四種短半衰期的核種(^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F)的固體廢棄物封閉後，在管制區內保管七天，可視為非放射性廢棄物丟棄。但須滿足下列條件:

- (1)使用 ^{18}F 院所一日的最大使用量不超過 5.0 TBq。 ^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 三核種的一天最大使用量各以不超過 1.0 TBq 為原則。
- (2)丟棄合成裝置製造的藥品時，需以 PET 四核種中不含誘發放射性物質等不純物的藥品為原則。
- (3)保管期間內為避免長半衰期核種混入，應採取密封措施。

最後，對於前清華大學翁寶山教授，在百忙之中仍撥冗給予指正，表示由衷的感謝。

- 1.歡迎賜稿，稿件請寄新竹市光復路二段 295 號 15 樓之 1 或電傳(03)5722521 輻防協會編輯組收。來稿一經刊登，略致薄酬(政令宣導文章，恕不給稿酬)。
- 2.本刊因篇幅限制，新聞類每則請控制在 500 字以內，專題類每篇以 2000 字內為佳。
- 3.歡迎訂閱(每年六期 180 元)。請洽：李孝華小姐 TEL：(03)5722224 轉 314。