

輻射防護簡訊 96

中華民國98年4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 ■ 編 輯：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

▲人人都可成為輻射防護尖兵

(原能會訊)

國人自製之環保新利器—智慧型手機快速輻射偵查儀

原子能委員會核能研究所已開發完成可隨身攜帶之輕便、便宜、快速、且功能完整之 FNS-99 智慧型手機快速輻射偵查儀，可輕易在全球任何位置，隨時隨地進行完整放射性核種與劑量率偵查。讓看不到、聞不到、摸不到的輻射，彈指之間輕鬆掌握。

提供各式便宜、輕巧易用之環境輻射偵測器材，普及中小學環境保護教育，鼓勵國內環保團體與社區民眾參加輻射偵查，建立嚴密之環境輻射防護網，向為原子能委員會重要施政目標之一。原子能委員會核能研究所於民國九十二年，即致力發展本土化之各式環境輻射偵測硬軟技術，取代昂貴之進口產品，以專門技術服務方式，協助各級機關與民間企業建立質優價廉之人員與環境保護網路。

FNS-99 是一套搭配標準碘化鈉偵檢頭、輕便、功能完整之智慧型手機快速輻射偵查儀，由核研所、輻射偵測中心、與清華大學共同合作發展，最新之高科技研究成果之一。本儀器主機以核研所發明專利之 160MHz(百萬赫茲)高速脈衝分析晶片做為能譜分析核心，搭配純國產之智慧型手機所構成。它具備隨身行動、大區域範圍放射性核種與劑量率搜查能力。內建鋰電池，充滿電可以連續工作八小時以上。

其所使用之國產 DOPOD 700 智慧型手機，具備完整之加馬能譜擷取、核種辨識、與活性計算能力。當智慧型手機透過藍芽及 WiFi/GPRS/3G 與衛星定位天線及網際網路聯結，FNS-99 變成能在全球任何位置，隨時隨地執行完整放射性核種與劑量率搜查之隨身裝備。FNS-99 內含大容量之 SD 記憶卡片，可儲存數以萬計之即時能譜、核種活性判讀、與地理位置資料，您可透過網際網

路，在全球任何位置，隨時隨地接收指揮，執行最完整之大範圍環境放射性核種與劑量率調查任務。

FNS-99 用途甚為廣泛，可供地方政府或社區環保人員隨身攜帶，針對核能電廠與醫農工業輻射作業場所週圍，執行廢水廢氣偵測、管線放射性偵測、洩漏放射性核種辨識與活性量測、社區輻射防護、放射性物料管理、廢五金運輸管制查核及環境輻射偵測...等即時監控、查報與告發等功能。

▲寒冬送暖，減免規費減輕弱勢族群負擔

(原能會訊)

為因應此波經濟不景氣，原能會正研擬相關規費之減免或協助措施，以減輕業者、非志願性失業者、低收入戶及原住民等弱勢族群之負擔，相關措施包括：

- 一、98 年度之「輻射防護專業測驗」及「操作人員輻射安全證書測驗」，對非自願性失業者、低收入戶及原住民等身分之應考人員，免收報名費。
- 二、至 98 年 12 月 31 日止，調降輻防管制收費標準之部份收費，包括：個人證照之規費調降二分之一，除高強度及生產設施之規費外，其餘一般放射性物質及可發生游離輻射設備之規費調降三分之一。
- 三、將協調輻射防護訓練業者，對報名參加訓練之非自願性失業者、低收入戶及原住民，考量給予調降輻防專業訓之費用。
- 四、本會辦理之輻防繼續教育訓練，保留若干名額給予非自願性失業者、低收入戶及原住民參加。

由於經濟不景氣，原能會發現已有使用輻射源之業者以減少生產線、停工、放無薪假因應，甚至有裁員、關廠或倒閉之事。如因經濟因素，以致業者未能善盡輻射防護管理之情事，將可能導至違反輻射防護法而處以罰鍰；在景氣寒冬下，原能會實不樂見以行政罰達輻射防護管制之目的，故研擬短期(98 年 12 月 31 日止)減徵部份規費，減輕業者負擔，降低其營運成本。另對弱勢族群免收考試報名費，對所有個人證照持有人，調降新申請及換照規費，希藉此減免措施，鼓勵弱勢族群投入輻射防護工作，並可減輕其經濟負擔，提升其就業能力。

▲新版「輻射警示標籤」提供各界下載使用

(原能會訊)

前言：

1. 近期發現部分設施經營者未依游離輻射防護法之規定逕行執行進口、出口、使用、生產、製造、銷售、運送及廢棄等輻射作業，或相關輻射設備未由合格操作人員負責操作，而被本會依法處以罰鍰之情事。
2. 本會特製作輻射警示標籤提供設施經營者使用，並請設施經營者重視員工及社會大眾之安全及權益。

重要宣導事項：

1. 放射性物質或可發生游離輻射設備之出口、轉讓、遷移、改裝、停用及報廢等輻射作業，應依「游離輻射防護法」及「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」等規定，事先向本會提出申請，經本會許可後，始得進行有關作業。
2. 操作放射性物質或可發生游離輻射設備之人員，應受主管機關指定之訓練，並具合格資格者才得進行操作。

標籤規格及使用方式：

1. 標籤規格大小：長 10 公分 x 寬 6 公分。
 2. 請張貼本標籤於設備明顯位置，印製完畢後請加以防水處理後再進行張貼。
- ※若因設備表面無可張貼空間，可張貼於設備貯存場所、外箱或鄰近區域明顯位置處。

注意事項 (本標籤請張貼於設備明顯位置)

1. 本設備含有輻射源，其出口、轉讓、遷移、改裝、停用及報廢等輻射作業，均應取得原子能委員會許可，始得為之。
2. 本設備應由取得合格資格之人員進行操作。

違反上述情事者，將依『游離輻射防護法』予以處分。



標籤取得方式：

1. 電子檔下載，自行列印：原能會首頁點選『管制動態』，再點選『輻射防護』，再點選『其他輻防作業』即可下載。請注意應先防水處理後再行張貼。
2. 附回郵方式索取：函寄原能會，於信封上註明『索取輻射警示標籤』及『醫用業者或非醫用業者』，回郵信封務必填寫清楚並黏貼足夠郵資。資料填寫不全或郵資不足者將無法寄出標籤。

▲核醫藥物—鉬-99 及鎳-99m—供應問題大會診

(劉東山)

鑑於 2007 年 11-12 月加拿大的 NRU 反應器廠因安全疑慮被迫停產，導致北美地區核醫藥物供應吃緊，及接著於 2008 年 8-11 月比利時的 IRE 廠因氣體外洩、8 月荷蘭 HFR 反應器廠因安全疑慮而停止運轉，使得歐洲地區的核醫藥物供應亦出現窘迫現象。美國核管會及法國核能署去年底及今年初，已分別召

開國際管制者會議研究對策。經濟合作暨發展組織(OECD)所屬的核能署(NEA)應會員國--尤其加拿大政府--的強烈要求，於 2009 年 1 月 29 及 30 日，假 OECD 巴黎總部舉辦“醫用放射性同位素穩定供應研討會”，針對核醫用同位素的產銷現況進行深入探討，並希能提出同位素供應穩定的短、中、長程措施，以嘉惠廣大病患。

核子醫學診斷最常用的二種放射核種是鎝-99m(Mo-99)及碘-131。其中約 80%的放射藥物是標記鎝-99m(Tc-99m)的化合物，標記碘-123 及碘-131 的化合物約佔 15%，其他放射核種大約則只佔 5%。Tc-99m(半化期 6 小時)是 Mo-99(半化期 66 小時)的子核種，而 Mo-99 則主要由中子撞擊鈾 235 後的分裂產物而來。表 1 列出目前醫用放射性同位素全球供應結構相關資料，很明顯的主要的同位素製造反應器全屬老舊設施，故平添不少供應上的不穩定性。

本研討會在國際原子能總署的協助下共有 13 個 OECD 會員國及 3 個非會員國派員，包括國際組織、政府部門、核醫專家、衛生專家及反應器廠商等超過 80 人共襄盛舉。經過二日的研討，與會人士認為短期的 Tc-99m 穩定供應措施，包括：

- 反應器廠家應繼續分享資訊，同時加強維修時程安排的協調。
- 當缺貨發生時，現有製造廠應研究提高產能。
- 應加強溝通，減少航空公司因不了解致不願或阻礙核醫同位素配送的情事發生。
- 在核能安全與衛生安全及反應器運轉之間尋求平衡點，以創造雙贏。
- 核醫藥界、醫院本身及醫療界應探討更有效率的病人醫療安排，Mo-99 及 Tc-99m 製造商應最適化使用既有設施。
- 建立或改善後備計畫(contingency plan)，使在危機時能以最大的彈性與最高的效率來調度既有資源。

至於中長程措施方面，與會人士認為可研究提高反應器廠家的經濟誘因，使其願意投入更多資源，支持核能或科學計畫。據了解，澳大利亞、美國、阿根廷、中國大陸、印度、埃及、印尼、南韓等均表達興趣或意願。當然淘汰舊的反應器、或者投入更多年輕、或建造全新的反應器，加入生產核醫同位素的行列，大概是最一勞永逸之舉。然而，反應器建造初期成本太大，恐無法吸引民間投資，因此希望政府能營造這方面有利的投資環境，也希望衛生醫療界能多加關心...。會中大家普遍同意：既然 Mo-99 供應窘困是全球性的問題，就應該由全球性的角度來解決，供應鏈中各環結資訊應更加透明化。後續的合作方案在大國---法國、加拿大、美國、日本、南韓等的強烈關注下，相信會積極展開。

依筆者淺見，對於台灣這種小型的核能國家而言，談全球性似乎太大也太遙遠，但核能及核醫界宜密切注意國際間的動向。從表 1 可知，亞洲地區 Mo-99 製造能量顯然相對不足，故亞洲區域性的合作計畫應優先倡議，此方面南韓

已展露出企圖心，我國應可積極尋求加入其相關計畫，以確保在 Mo-99 及 Tc-99m 供應市場上搶到有利位置，維護台灣民眾的健康權益。

表 1 目前醫用放射性同位素全球供應結構相關資料

| 反應器設施 | | | Mo-99 | Mo-99 | Tc-99m 產生 | 核醫市場 |
|--------------------|----------|-----------|-----------------|---------------------|---|----------------------------|
| 設置國家 地點 | 廠名 | 廠齡 (年) | 萃取設施 | 純化設施 | 製造及配銷商 | |
| 加拿大 Chalk River | NRU | 51 | AECL | MDS Nordion | Daihi Nihon Lantheus Covidien US | 日本 美加 歐洲 |
| 比利時 Mol | BR2 | 47 | IRE Covidien | Covidien IRE | Covidien US Covidien EU IBA | 美加 歐洲 |
| 荷蘭 Petten | HER | 47 | IRE Covidien | Covidien IRE | Covidien US Covidien EU IBA | 美加 歐洲 |
| 法國 Saclay | OSIRIS | 42 | IRE | IRE | Covidien US Covidien EU IBA | 美加 歐洲 |
| 南非 Pelindaba | SAFARI-1 | 43 | NTP | NTP | NTP AEC Amersham Covidien US Covidien EU IBA Nihon | 歐洲 其他各地 美加 日本 |

(感謝加拿大 NRU 提供資料)

(本文作者為原子能委員會派駐法代表處副組長兼駐 OECD/NEA 連絡官)

□會議訓練報導

▲98 年度各項訓練班開課時間表

(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) | 98 年 A3-- 6 月 1 日~ 5 日 | (新竹) 帝國經貿大樓 |
| | 36 小時 許可類 設備 | 98 年 A4-- 7 月 22 日~ 29 日 | (高雄) 輻射偵測中心 |
| | | 98 年 A5-- 8 月 24 日~ 28 日 | (新竹) 帝國經貿大樓 |
| | (B 組) | 98 年 B6--04 月 08 日~ 10 日 | (台北) 建國大樓 |

| | | | |
|-------------------|--|---|---------------|
| | 18 小時 登記備 查類 設備 | 98 年 B7--04 月 22 日~ 24 日 | (高雄)輻射偵測中心 |
| | | 98 年 B8--05 月 06 日~ 08 日 | (新竹) 帝國經貿大樓 |
| | | 98 年 B9--05 月 20 日~ 22 日 | (台北)建國大樓 |
| | | 98 年 B10--06 月 24 日~ 26 日 | (台中)文化大學推廣教育部 |
| | | 98 年 B11--06 月 17 日~ 19 日 | (高雄) 輻射偵測中心 |
| | | 98 年 B12--07 月 01 日~ 03 日 | (新竹) 帝國經貿大樓 |
| | | 98 年 B13--07 月 15 日~ 17 日 | (台北)建國大樓 |
| 輻射防護專業 人員訓練班 | 輻 防 師 ($\frac{1}{2}$ 小時) 輻 防 員 (10 小時) | 員 15 期 第一階段—7 月 06 日~ 10 日 第二階段—7 月 13 日~ 17 日 第三階段—8 月 03 日~ 07 日 第四階段—8 月 10 日~ 13 日 進階 11 4 月 10 日(進階 11-1) 4 月 24 日(進階 11-2) 5 月 15 日(進階 11-3) 6 月 10 日~ 12 日(進階 11-4) | (新竹) 帝國經貿大樓 |
| 鋼鐵建材輻射 偵檢人員訓練班 | 鋼--98 年 6 月 18 日~ 19 日 | 高雄 | |
| | 鋼--98 年 6 月 23 日~ 24 日 | (新竹) 帝國經貿大樓 | |
| 98 年度 輻射防護教育訓練 | 98 年 5 月 08 日(五) 3 小時 | (台北) | |
| | 98 年 6 月 19 日(五) 3 小時 | (新竹) | |
| | 98 年 6 月 30 日(二) 3 小時 | (高雄) | |
| | 98 年 5 月 14 日(四) 6 小時 | (台北) | |
| | 98 年 5 月 26 日(二) 6 小時 | (新竹) | |
| | 98 年 6 月 09 日(二) 6 小時 | (高雄) | |

◎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

▲有效劑量淺論

(輻協訊)

國際放射防護委員會(以下簡稱委員會)第 103 號出版物，提出新的輻射防護系統的建議，以取代 1991 年出版的第 60 號出版物。其中就有效劑量 E 的部分仍維持與第 60 號出版物的定義，為

$$E = \sum_T W_T H_T = \sum_T W_T \sum_R W_R D_{T,R} \quad (1)$$

式中 W_T 為組織 T 的組織加權因數 $\sum W_T = 1$ ， H_T 為等價劑量。顯示人體所有器官與組織的總和，是考慮由敏感的機率效應誘發。其中 W_R 為輻射 R 的輻射加權因數， $D_{T,R}$ 為器官或組織 T 體積內的平均吸收劑量。

有效劑量的定義是考慮到人體中不同的器官與組織關於機率效應，其不同器官與組織的輻射危害對應不同的放射敏感度。在第 26 號出版物中(ICRP,1977)就引入 6 個指定的組織與剩餘組織，而在第 60 號出版物(ICRP,1991b)組織加權因數是針對指定的 12 個組織與器官以及剩餘組織。組織的加權因數是相對值，其總和等於 1，在全身均勻劑量分布下，有效劑量以數據表示等於身體每一器官與組織的等價劑量。

在第 103 號出版物的組織加權系統的發展是以相對輻射危害為基礎，主要是針對癌症，使用下列一系列的步驟：

1. 從輻射所導致癌症決定終生癌症發生危險度估計—從所選定的 14 個器官或組織，男性與女性癌症終生超額的相對危險度(excess relative risk, ERR)與超額絕對危險度(excess absolute risk, EAR)模式估計，並在性別間平均。

註：EAR：受曝人口疾病發生率或死亡率減去所對應未受曝人口的疾病率

ERR：受曝人口疾病率除上未受曝人口疾病率後再減 1.0

2. 使用劑量與劑量率效能因數(dose and dose-rate effectiveness factor, DDREF)—終生危險度估計向下調整的因子為 2，去說明 DDREF(除了白血病，此處危險度是二次線性模式已經說明 DDREF)。
3. 從不同人口群體轉移危險估計—就每一癌症來估計輻射危險度，已建立 ERR 與 EAR 加權終生危險度估計，並提供在大部分人口間不同危險度基準合理的基礎(ERR：EAR 之比為 0：100%的加權指定在乳腺與紅骨髓；100：0%的加權針對甲狀腺與皮膚；30：70%針對肺以及 50：50%針對其他所有組織)
4. 標稱危險度係數—適用在 7 種西方及亞洲人群的加權危險度估計時，所提供標稱危險度係數列在表 1 中。
5. 致死率的調整—就代表性的癌症終生危險度，是以超額的癌症發生率為基礎，乘上其致死率比率轉換而得癌症致死率危險度，是由具代表性的國家癌症存活數據推導而得。
6. 生活品質的調整—更進一步的調整是適用於非致死癌伴隨的疾病與傷害的說明。
7. 壽命損失的調整—由於癌症型式年齡的分布不同，一種癌症發生時，是從國家癌症數據與轉換到平均壽命年損失。
8. 輻射危害—上述每一種癌症型式所伴隨輻射危害所估計產生計算結果，將其當歸一化後的總和為一，相對輻射危害的在表 1 顯示。

一、輻射生物效應

輻射生物方面的觀點仍維持過去的輻射效應分類，將導致組織反應為確定效應(或組織損害反應)，針對輻射誘發的癌病與遺傳疾病以機率效應一詞來表示。

1. 確定效應

過去曾經在 1984 年的 ICRP 第 41 號出版物將引發大量細胞受傷害引起的效應

稱為是非機率效應(non-stochastic effect)，而在 1991 年的 ICRP 第 60 號出版物中將其名稱變更為“確定效應”，曾經想要將更名“組織損害反應”，但由於確定效應已在輻射防護體系中使用多年，為免造成不必要的困擾，在第 103 號出版物中仍採用確定效應一詞。

表 1 性別平均標稱危險度與危害一覽

| 組織 | 標稱危險度係數 (每萬人每西弗個數) | 致死率比率 | 標稱危險度係數 針對致死率與生活品質調整 | 相對癌症生命損失 | 危害(相對於第一欄) | 相對危害 |
|---------------|-----------------------|-------|-------------------------|----------|------------|-------|
| 全人口 | | | | | | |
| 食道 | 15 | 0.93 | 15.1 | 0.87 | 13.1 | 0.023 |
| 胃 | 79 | 0.83 | 77.0 | 0.88 | 67.7 | 0.118 |
| 結腸 | 65 | 0.48 | 49.4 | 0.97 | 47.9 | 0.083 |
| 肝 | 30 | 0.95 | 30.2 | 0.88 | 26.6 | 0.046 |
| 肺 | 114 | 0.89 | 112.9 | 0.80 | 90.3 | 0.157 |
| 骨 | 7 | 0.45 | 5.1 | 1.00 | 5.1 | 0.009 |
| 皮膚 | 1000 | 0.002 | 4.0 | 1.00 | 4.0 | 0.007 |
| 乳腺 | 112 | 0.29 | 61.9 | 1.29 | 79.8 | 0.139 |
| 卵巢 | 11 | 0.57 | 8.8 | 1.12 | 9.9 | 0.017 |
| 膀胱 | 43 | 0.29 | 23.5 | 0.71 | 16.7 | 0.029 |
| 甲狀腺 | 33 | 0.07 | 9.8 | 1.29 | 12.7 | 0.022 |
| 紅骨髓 | 42 | 0.67 | 37.7 | 1.63 | 61.5 | 0.107 |
| 其他實體 | 144 | 0.49 | 110.2 | 1.03 | 115.5 | 0.198 |
| 性腺(遺傳) | 20 | 0.80 | 19.3 | 1.32 | 25.4 | 0.044 |
| 總和 | 1715 | | 565 | | 574 | 1.000 |
| 工作人口(18-64 歲) | | | | | | |
| 食道 | 16 | 0.93 | 16 | 0.91 | 14.2 | 0.034 |
| 胃 | 60 | 0.83 | 58 | 0.89 | 51.8 | 0.123 |
| 結腸 | 50 | 0.4 | 37 | 1.13 | 43.0 | 0.102 |
| 肝 | 21 | 0.95 | 21 | 0.93 | 19.7 | 0.047 |
| 肺 | 127 | 0.89 | 126 | 0.96 | 120.7 | 0.286 |
| 骨 | 5 | 0.45 | 3 | 1.00 | 3.4 | 0.008 |
| 皮膚 | 670 | 0.002 | 3 | 1.00 | 2.7 | 0.006 |
| 乳腺 | 49 | 0.29 | 27 | 1.20 | 32.6 | 0.077 |
| 卵巢 | 7 | 0.57 | 6 | 1.16 | 6.6 | 0.016 |
| 膀胱 | 42 | 0.29 | 23 | 0.85 | 19.3 | 0.046 |
| 甲狀腺 | 9 | 0.07 | 3 | 1.19 | 3.4 | 0.008 |
| 紅骨髓 | 23 | 0.67 | 20 | 1.17 | 23.9 | 0.057 |
| 其他實體 | 88 | 0.49 | 67 | 0.97 | 65.4 | 0.155 |
| 性腺(遺傳) | 12 | 0.80 | 12 | 1.32 | 15.3 | 0.036 |

| | | | | |
|----|------|-----|-----|-------|
| 總和 | 1179 | 423 | 422 | 1.000 |
|----|------|-----|-----|-------|

確定效應的誘發一般特徵是有低限劑量，因為組織中大量關鍵性的細胞持續受到輻射所造成的損傷，造成在臨床表現出傷害的相關症候。在低限劑量之上，傷害的嚴重程度包括組織修補能力的損害在內是隨劑量增加。依目前的生物學與臨床資料，在主要組織與器官的組織反應與劑量低限值的基礎下，針對其細胞與組織機制已有進一步發展下，吸收劑量約在 100 mGy 的範圍以內(高或低線性能量轉移)，並沒有任何組織被認為足以產生臨床上相關的功能損害。前面已經提到有效劑量是考慮到人體中不同的器官與組織關於機率效應，而確定效應在有效劑量決定上關係較少。

2. 機率效應

機率效應的誘發一般的特徵是無低限劑量，如癌症與遺傳效應，包括受曝個人體細胞突變導致癌發生或生殖細胞突變導致後代發生遺傳疾病。就癌症而言，流行病學與實驗研究提供輻射風險的證據，但在 100 毫西弗或更低劑量下具有其相當的不確定度。就遺傳疾病而言，即使沒有直接的證據對人類的輻射風險，但仍主張對未來世代的輻射風險應納入防護體系。

2.1 癌症的誘發

目前就輻射生物學的觀點，仍維持一般所稱線性無低限(linear non-threshold) 或 LNT 理論，這個觀點與聯合國原子輻射效應科學委員會(UNSCEAR 2000) 是一致的結論。就輻射防護的目的而言，LNT 模式本身是針對輻射防護體系實用上的使用，生物流行病學資訊證實這個假設。若是針對公共衛生規劃目的，使用此一模式或計算結合大量人口長時間接受極低劑量大量假想的癌症或遺傳的疾病，並不適當的。

在低劑量範圍約 100 毫西弗以下，細胞與劑量回應數據相結合支持此論點，在科學上合理假設下，癌症或遺傳效應的發生，隨相關器官與組織所接受的等價劑量成比例增加(BEIR VII 預估接受 100 毫西弗的劑量，終生每 100 人中約有一個人會因此得到實體癌或白血病，100 人中有 42 人會因為其他原因得到實體癌或白血病；接受 10 毫西弗劑量 1000 人中預測約會有一個人罹癌)。

自從 1990 年以來累積許多在輻射致癌的細胞與動物資料，對於輻射曝露後癌症的發展具有關鍵的重要性。在低劑量情形下，就 DNA 損傷反應、修補與誘發基因、染色體突變詳細資料，其輻射所導致的癌症發生率的增加，貢獻了相當結果的可信度，累積了輻射曝露導致個別器官特定癌症危險度進一步的流行病學資料。

1945 年日本原子彈爆炸倖存者追蹤－壽命期研究(Life Span Study, LSS)，癌症死亡率追蹤了 47 年(1950 年 10 月到 1997 年 12 月)；癌症發生率追蹤了 41 年(1958 年 1 月到 1998 年 12 月)。這些 1990 年以後取得最新的數據，提供更可靠的危險度評估。另外，LSS 的流行病學數據提供了進一步暫時的輻射致癌危險度年齡依存的特徵(age-dependent pattern)，特別是就早期受曝露者所作的危險度評估。但是 LSS 並非輻射致癌風險唯一資料來源，其中也考慮來自醫

學、職業與環境研究數據。而這個結果也對相對生物效能、輻射加權因數及劑量與劑量率效應的判斷有所影響。

在第 60 號出版物中，標稱危險度是以死亡率數據基礎去計算，在第 103 號出版物中危險度主要以發生率為基礎，重要的改變理由是發生率比死亡率提供了較完整癌症數據描述，特別考慮針對有高存活率癌症。在日本原爆倖存者壽命研究的癌症發生率完整的評估已經發表，特定癌症危險度估計從 1958 年追蹤到 1998 年大部分原爆倖存者研究，實體癌發生率的分析與危險度估計調整，其偏差的降低是由於個人劑量估計的不確定度。新實行原爆劑量系統 DS02 是詳細考慮後改善整個 DS86，平均來看 DS02 劑量估計是稍微高於 DS86 估計，而在這兩個系統危險度估計差異小於 10%。

2.2 遺傳效應

在第 103 號報告中遺傳疾病的輻射危險度估計的步驟為：

1. 建立所有種類人類遺傳疾病的基準頻率(一組 P 值)。
2. 人類基因在一個世代平均自發突變的估計。
3. 人類數據不可取得時，以大鼠的輻射誘發平均突變率估計—假設大鼠發生率與人類類似。
4. 估計步驟 2 與步驟 3 遺傳倍增劑量(doubling dose, DD)。DD 是在一世代中產生許多突變與那些引起自發性相同時所需的輻射劑量。
5. 針對不同遺傳疾病種類，突變構成要素(mutation component, MC)的估計。MC 是一個在突變率的改變與疾病增加頻率間關係的相對量測。
6. 針對不同突變種類的潛在可恢復能力修正因子(potential recoverability correction factor, PRCF)。PRCF 允許針對活產中不同突變可恢復程度修正，例如：突變比例是對於胚胎的／胎兒的成長是相容的。
7. 每一種類人類遺傳疾病，使用上述 1 到 6 步驟，由下述方程式估計，

$$\text{單位劑量的危險度} = P \times [1/DD] \times MC \times PRCF \quad (2)$$

並沒有直接持續的證據顯示父母親受輻射曝露會導致後代超額的遺傳疾病，然而，在動物實驗數據中有強烈的證據顯示輻射會引發遺傳疾病。從原子彈爆炸後生還者 30,000 兒童的遺傳效應，在統計上未發現有顯著的遺傳疾病(受曝者最高劑量達 400 毫西弗，其遺傳效應風險相對低。因此 BEIR VII 估計 30,000 個兒童中應該發生遺傳效應期望值小於 1，故其遺傳風險非常低)。

第 60 號出版物遺傳危險度以學理上突變與選擇達到平衡下來表示。根據進一步的知識判斷，許多的基本的假設在此類計算已不再合適，相對應地目前遺傳危險度僅到第二代為止來表示，此一改變的評估方式並不至於造成顯著遺傳危險度低估，至第二代出現遺傳危險度估計大約為每戈雷 0.2%。

2.3 非癌症疾病

自 1990 年所累積相當的數據，在某些受照射的人群中罹患非癌症疾病有增加趨勢。有效劑量約在 1 西弗時非癌症效應的誘發，最強而有力的統計證據，是來自日本原爆生還者自 1968 年以後死亡率最近的分析推導。此項研究強化

了統計上的證據，針對與劑量有關聯—特別是心臟疾病、中風、消化機能不適與呼吸道疾病。雖然已經觀察到高劑量的非癌症疾病潛在的重要性，但是其數據不包含在小於 100 毫西弗低劑量輻射危害的評估。

二、標稱危險度係數

最新輻射誘發癌症與遺傳效應風險的資料，已經用在計算危險度模型與疾病危害，以估計性別平均的標稱危險度係數。標稱危險度係數是針對全人口而非個人，而且在兩性(特別是乳腺)與不同曝露年齡間對輻射危險度是存在顯著差異。

依第103號出版物中針對癌症估計危害調整的標稱危險度係數，是以癌症發生的死亡/生命損傷加權去調整相對生命損失為基礎，而在第60號出版物中是以致死癌危險度加權、致死癌的相對生命損失以及非致死癌的生命損傷為基礎。針對全人口致死癌未經調整的標稱危險度係數目前的數值約為每西弗4%，第60號出版物的估計為每西弗5%，癌症死亡率基本上未改變約為每西弗5%。

計算性別平均的癌症標稱危險度係數，包括不同器官組織標稱危險度的評估，與調整這些劑量與劑量率效能因數(DDREF)的危險度、致死率、生活品質、最後則是不同組織部位相對危害值的推導，包括性腺曝露的遺傳效應。以這些計算基礎，提出了癌症危險度對全人口為 $5.5 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 、對成年工作人員為 $4.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ 的標稱機率係數。此與第60號出版物最顯著的改變是針對遺傳效應標稱危險度係數降低了6-8倍，遺傳效應的危害調整標稱危險度對全人口估計為 $0.2 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ，對成年工作人員估計為 $0.1 \times 10^{-2} \text{ Sv}^{-1}$ ，這些估計顯示在表2。

表2 機率效應的危害調整標稱危險度係數(10^{-2} Sv^{-1})

| 受曝露族群 | 癌症 | | 遺傳效應 | | 總和 | |
|-------|-----|---------|------|---------|-----|---------|
| | 現在 | ICRP-60 | 現在 | ICRP-60 | 現在 | ICRP-60 |
| 全人口 | 5.5 | 6.0 | 0.2 | 1.3 | 6.0 | 7.3 |
| 成年人 | 4.1 | 4.8 | 0.1 | 0.8 | 4.0 | 5.6 |

針對DDREF數值，是考慮了所有的數據與廣泛的動物實驗數據，並經長期曝露後降低了致癌效應與壽命縮短，發現1990年所建議的數值 2，是相當合理的。但此一數值是為了輻射防護目的，有其具體不確定性成份。

三、組織加權因數

上面已提到組織加權因數 W_T 是以癌症誘發流行病學研究以及輻射曝露後實驗的遺傳數據與判斷為基礎，就人類而言代表平均值，由整個兩性與所有年齡的平均。在這些建議下選定的一組 W_T 值，如表3。

其組織加權因數的評估過程是依圖1方式進行，其中也顯示了ICRP-103 與ICRP-60間的差異。

組織加權因數是針對所有器官與組織的年齡與性別平均值，不是對於特定的個人，而是針對所給予的曝露情境下的參考人。為了輻射防護目的，針對兩性所採用的單一有效劑量數值。表3中的組織加權因數是針對所有器官與組織的年齡與性別平均值，包括男性與女性乳房、睪丸及卵巢(性腺：癌及遺傳效

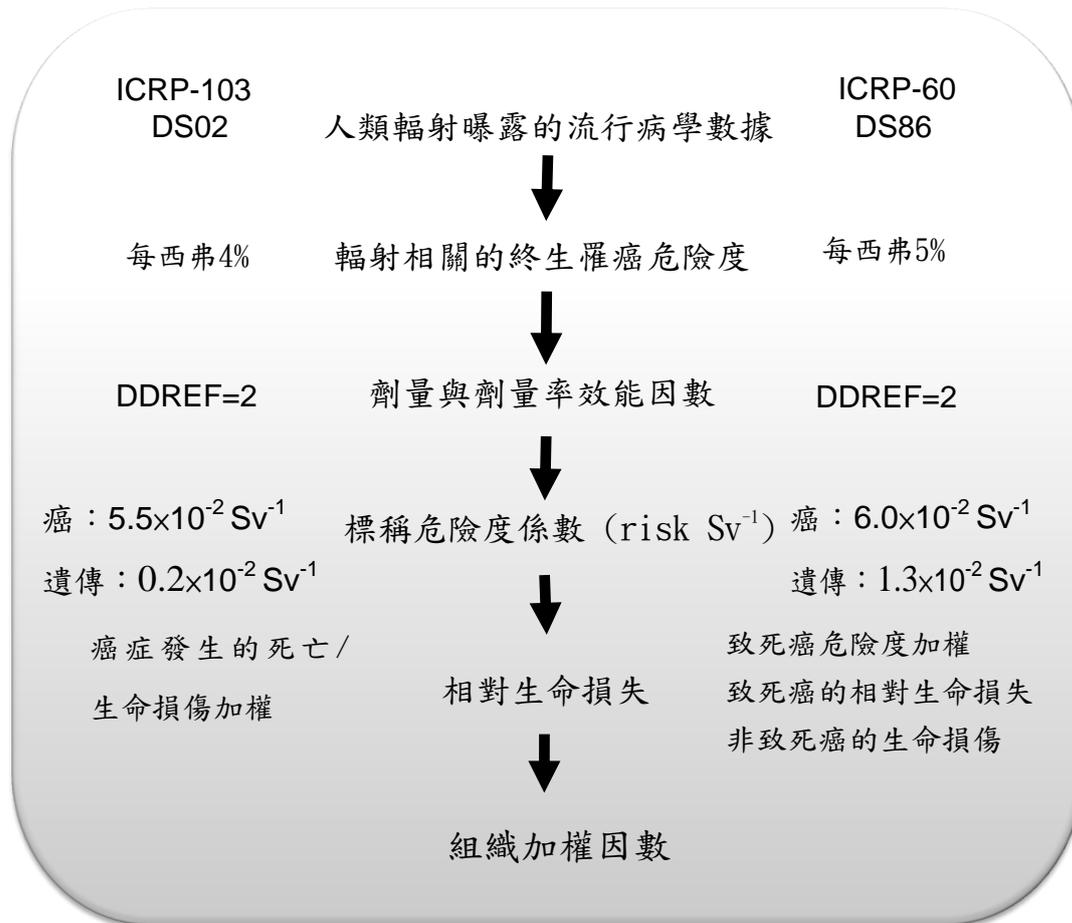


圖 1 組織加權因數的評估過程

應)。平均值意味者這些方法應用上的限制，是在輻射防護上用來決定有效劑量，特別的是不能用來評估個人的危險度評估。

表3 組織加權因數建議值

| 組織 | W_T | ΣW_T |
|--------------------|-------|--------------|
| 骨髓、結腸、肺、胃、乳腺、剩餘組織* | 0.12 | 0.72 |
| 性腺 | 0.08 | 0.08 |
| 膀胱、食道、肝、甲狀腺 | 0.04 | 0.16 |
| 骨表面、腦、唾腺、皮膚 | 0.01 | 0.04 |

*其餘組織：腎上腺、胸外區(ET)、膽囊、心臟、腎臟、淋巴結、肌肉、口腔黏膜、胰臟、前列腺(男性)、小腸、脾臟、胸腺、子宮/子宮頸(女性)。

【下期待續】

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。