

輻射防護簡訊 45

中華民國89年10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406號2樓 ■ 電話：(03)5722224 電傳：(03)5722521
- 編輯委員：王嵩峰、李四海、林友明、邱賜聰、翁寶山、許文林
陳為立、陳宜彬、董傳中、蔡昭明、劉仁賢、蘇明峰 (依筆劃順序)
- 發行人：曾德霖 ■ 主 編：劉代欽 ■ 文 編：李孝華
- 印刷所：大洋實業社 地址：新竹市光復路二段376之9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

▲操作執照考試 (原能會 徐仁溥)

行政院原子能委員會為評定非醫用放射性物質及可發生游離輻射設備工作人員之操作能力和游離輻射防護知識熟悉程度，以保障輻射工作人員安全，並配合輻射防護協會舉辦「非醫用游離輻射防護講習班」之課程段落，委託國立清華大學於

今年四月卅日舉行「非醫用操作執照鑑定測驗」。本次測驗計有677人報考初級，29人報考中級，及格人數共有初級311人，中級9人，及格率分別為50.9%及34.6%，(詳細統計資料如附表)。

另八十九年度第二次測驗將於九月十六日(星期六下午)下午，分別於台北(考試院國家考場)、高雄(高雄醫學院)舉行。

八十九年第一次非醫用操作能力鑑定測驗各類科成績統計表(四月)

| 類 別 | 報考人數 | 實考人數 | 及格人數 | 及格率 | |
|--------------------|------|------|------|-----|-------|
| 密 封 放 射 性 物 質 | 初 級 | 284 | 258 | 78 | 30.2% |
| | 中 級 | 8 | 7 | 3 | 42.9% |
| 非 密 封 放 射 性 物 質 | 初 級 | 58 | 52 | 29 | 55.8% |
| | 中 級 | 7 | 6 | 3 | 50% |
| 可發生游離 輻射設備 | 初 級 | 306 | 276 | 192 | 69.6% |
| | 中 級 | 14 | 13 | 3 | 23.1% |
| 動物用 x 光 機 設 備 | 初 級 | 29 | 25 | 12 | 48% |
| 合 計 | 初 級 | 677 | 611 | 311 | 50.9% |

| | | | | | |
|--|----|----|----|---|-------|
| | 中級 | 29 | 26 | 9 | 34.6% |
|--|----|----|----|---|-------|

- 本協會已通過 **ISO9002** 認證，今後技術服務將更上一層樓。
- 本協會翁寶山執行長最近撰寫的「輻射的小掌故」22 篇已全部脫稿，內容簡潔有趣，將陸續在原子能委員會的網站www.aec.gov.tw出現。

▲由「游離輻射防護法」制定看未來游離輻射管制

(原能會 王重德)

前 言

我國之原子能發展大概可追溯至民國四十四年，而第一個有關原子能發展及管制之法律--原子能法於民國五十七年公布施行，而其施行細則卻遲至民國六十七年方發布施行，其中有關游離輻射管制的條文僅見於原子能法第二十四、二十五、二十六條及其施行細則第四十六條至六十二條，其中能在管制實務上有真正幫助就只有原子能法第二十四條授權訂定的游離輻射防護安全標準，此標準可以說是游離輻射管制的基本原則。

由於國內政治環境變遷，法治化的呼聲愈來愈高，兼之大法官釋字第四〇二號解釋「對人民違反行政法上義務之行為予以裁罰性之行政處分涉及人民權利之限範，位階低於法律。而法律保留原則即指人民之自由權利，依憲法第二十三條「除為防止妨礙他人自由，避免緊急危難，維持社會秩序，或增進公共利益所必要者外，不得以法律限制」及中央法規標準法第五條「左列事項應以法律定之：1.憲法或法律有明文規定，應以法律定之者。2.關於人民之權利、義務者。3.關於國家各

制，其處分之構成要件與法律效果，應由法律定之，法律雖得授權以命令為補充規定，惟授權之目的與範圍及內容必須明確，然後據以發布命令，方符憲法第二十三條之意見」，與即將於民國九十年一月一日施行的行政程序法，過去依職權以行政命令限制人民權利義務的規定，面臨嚴厲的挑戰，在此一背景下游離輻射防護管制，需有全面性檢討，制定游離輻射防護法乃勢在必行之趨勢。

內 容

我國是屬成文法的國家，成文法的特點即法律須經立法程序及公布的過程，故法律制定過程雖較繁複，但卻明確且易於施行。法律之目的在於保障群眾安寧，維持秩序，具有強制性，行政機關基於此目的，被授予公權力執行維持社會秩序與保障社會大眾，故依法行政是最重要基本原則。

依法行政原則可區分為法律優越及法律保留，法律優越原則即行政機關行政行為或其他一切行政活動均不得與法律抵觸，如憲法第一百七十一條及第一百七十二條之「法律與憲法抵觸者無效」及「命令與憲法或法律抵觸者無效」。換言之，行政處分及行政命令等各項行政行為等規

機關之組織者。4.其他重要事項之應以法律定之者。」，同法第六條「應以法律規定之事項，不得以命令定之」。從釋字第四〇二號解釋內容，行政機關應該回歸法律優越與法律保留之依法行政之原則，亦即建立法治化政府，不得再以行政命令限制人民權利、義務。

游離輻射防護法草案（以下簡稱輻防

法) 共分五章，第一章為總則，第二章為輻射安全防護，第三章為放射性物質、可發生游離輻射設備或輻射作業之管理，第四章為罰則及第五章附則。輻防法於總說明中說明參考現行原子能法、八十三年送立法院審議之原子能法草案、國際放射防護委員會於 1990 年提出之 ICRP60 報告、國際原子能總署於 1996 年發行之 IAEA-115 號安全叢書與芬蘭、英國、瑞士、及歐洲共同體公報相關法例，不過仍以 ICRP60 報告、IAEA-115 與送立法院審議之原子能法草案為其重要參考內容。

輻防法與現行管制最大不同是將現行核發之執照改成許可及登記備查，操作執照變更為輻射安全證書，前者係考慮各種可發生游離輻射設備、放射性物質或輻射作業所造成人及環境危害程度之不同，及其本身安全性之不同，(如牙科 X 光機與直線加速器)，並且考慮管制人力及降低社會成本，故將現行執照管制區分為許可類及登記備查類(輻防法第二十八條)；後者則係主管機關對可發生游離輻射設備或放射性物質實際操作所需專業知識，並未涉入，其所關切者主要為操作人員是否接受足夠之輻射安全訓練，更改為輻射安全證書一詞較恰當。

現行管制將醫療曝露排除在外，即劑量限值並不包含醫療曝露，輻防法仍然維持此精神，然而醫療劑量據統計占人為輻射劑量之 90%，遠高於核爆落塵等，ICRP60 報告及 IAEA-115 已重視此一問題，故於報告內容中加入醫療品質保證之建議。由此可知醫療曝露品質方面漸漸受到重視，藉此項措施之實施進而提昇醫療輻射品質，故輻防法於第十七條中訂定醫療機構應訂醫療品質保證計畫，並設醫療曝露品質保證組織或置專、兼職之輻射防

護人員。此外，對於醫療過程中協助病人接受醫療曝露之人員亦於法中限制其劑量，經營者並負應告知義務(輻防法第十八條)。

國內目前已核發輻射防護人員之證照有一千餘紙，現行輻射防護人員共分四類—核子反應器、可發游離輻射設備、密封放射性物質與非密封放射性物質及三級—高級、中級、初級，雖然現行已有如此多的輻射防護人員，但輻射防護人員在法及管制位階與其職責並不明確，僅於輻防人員設置要點中提及，而輻射防護工作是專業且重要的，為了提昇輻射防護人員位階及職責，使得輻射防護人員工作能專注於輻射安全的維護，將輻射防護人員於法中明訂，並對輻射作業場所設置輻射防護組織有相關規定(輻防法第七條)。

輻射防護服務業已經存在許久，此類業者亦提供國內相關業者不少的輻防服務，不可諱言也解決部分輻射防護問題，此外尚有些廠商因其商業行為所需，須先行進口部分設備作為庫存銷售，而現行管理僅於輻射防護業和輻射偵測業認可管理要點及醫用可發生游離輻射設備、放射性物質及安裝廠商注意事項等行政命令規範。此種服務業者如因商業競爭或謀利，而違反規範規定，但尚未達違反原子能法，原能會僅口頭警告、記點，無法廢止其許可，於管制實務造成困擾，輻防法於第二十五條明確加以規範。而輻防法未來對於輻射作業有更廣泛的解釋，如會導致增加曝露或排放放射性物質之人為活動，包括對輻射源進行持有、製造、生產、安裝、改裝、使用、運轉、維修、拆除、檢查、處理、輸入、輸出、銷售、運送、貯存、轉讓、租借、過境、轉口、廢棄或處置之作業，這些行為未來被規範在法中，

將會有更完善的管制。

為了避免輻射污染鋼筋事件再次發生，輻防法針對此一事件提出防範措施，廠商針對建築材料之原料提出無輻射污染證明，並且授權直轄市、縣（市）主管建築機關對於建築物所使用之鋼筋或鋼骨，得指定承造人會同監造人提出無輻射污染證明（輻防法第二十三條、第二十四條）。

現行原子能法第二十六條並未闡明主管或雇主應作為義務，僅針對放射性物質及可發生游離輻射設備所有人及操作人員予以規範或是有條文而未指出應作為義務之行為人，長期以來造成司法機關在審理時困擾。而未對設施經營者及雇主課以應作為義務，如雇用非法人員操作，僅針對操作人員不法部份予以處罰，長期以來造成不公平之現象。新的輻防法針對設施經營者規定作為義務，如第七條設施經營者應依其輻射作業之規模及性質，設輻射防護管理組織或置專、兼職輻射防護人員；第八條設施經營者應確保其輻射作業對輻射工作場所以外地區造成輻射強度與放射性物質濃度限制；第九條輻射工作場所排放含放射性物質之廢氣、廢水或廢棄物，設施經營者應實施輻射安全評估；第十條設施經營者應依其輻射工作場之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度，劃分輻射工作場所為管制區及監測區；第十三條設施經營者於事故發生時，應採取必要之急救、搶救及防護措施及第二十七條設施經營者應定期提出報告。與雇主應作為義務如第十四條對於女性輻射工作人員懷孕時應告知雇主，雇主應改善其工作條件或對其工作為適當之調整及同條雇主對在職之輻射工作人員應定期從事教育訓練；第十五條雇主對輻射工作人員實施個別劑量監

測；第十六條雇主僱用輻射工作人員時，應要求其實施體格檢查，定期健康檢查。

輻防法亦於條文明文規定，針對商品造成輻射劑量之限制，避免不當放射性物質加入商品中，以增加民眾曝露於輻射危險（輻防法第二十二條）。

討 論

輻防法與現行原子能法最大不同，即將一些應作為義務對象明確規範於條文中，並將部分應作為義務改以行政罰方式處分。雖然在第三十七條與第三十八條仍為刑罰，但上述條文皆涉及公共危險罪，與刑法所稱公共危險罪構成要件相似，即所謂公共危險指他人之生命、身體、財產，所發生之危害程度，非行為人所能控制，且被害之人，其為何人及受害的人數，亦不是行為人所能控制。故為了保護公眾生命安全與秩序及增進公共福利及道德之社會法益，於輻防法第三十七條中明確規定，對於有嚴重污染環境或棄置放射性物質處三年以下有期徒刑、拘役或科或併科新台幣三百萬元以下罰金。其中本條第四款...擅自進行生產或製造，致嚴重污染環境與刑法第一百八十七條之一不依令製造...放射性物質處五年以下有期徒刑，是否有競合問題，尚有討論空間，也待司法機關就實際情況解釋。本條中嚴重污染環境此一詞定義不甚明確，且為刑罰，此與罪刑法定主義之刑罰須明確原則可能有所違悖，可能致司法機關審理時有困擾，所以同條第二項規定，授權主管機關會同有關機關另訂「嚴重污染環境之標準」以因應。

從第四十條至第四十五條皆為行政罰處分，依釋字第二五七號解釋「人民違反法律上之義務應行政罰之行為，法律無特別規定時，雖以不出於故意為必要，仍須

以過失為其責任要件。但應受行政罰之行為，僅須違反禁止規定或作為義務，而不以發生損害或危險為其要件者，推定為有過失，於行為人不能舉證證明自己無過失時，即應受處罰。」此即只要違反第四十條至第四十五條之應作為義務或禁止規定，主管機關依其規定課以行政處分。

第四十一條中第一款及第二款中提到，違反游離輻射防護標準及放射性物質安全運送規則且情節重大，處二十萬元以上一百萬元以下之罰鍰，...必要時，廢止其許可、許可證或登記，是否與釋字第四〇二號解釋，「法律授權訂定命令，如涉及限制人民之自由權利時，其授權之目的、範圍及內容須符合具體明確之要件。」不符，尚待釐清，尤其情節重大此一詞，所指為何，與上開解釋須符合具體明確之要件，可能有牴觸。是否另由行政機關訂定補充規定。

行政機關所為之行政處分，如果人民認為違法或不當，致損害其權利或利益者，得依訴願法提起訴願。人民如果對主管機關之行政處分不服，依訴願法提起訴願，如果不服訴願之決定或提起訴願逾三個月不決定，依訴訟法得向高等行政法院提起撤銷訴訟。人民對於公法上金錢給付義務逾期不履行，依行政執行法強制執行，加上行政程序法將於九十年一月一日起實施，除了輻防法本身專業性條文規定，相關行政法條文亦多如牛毛，可預期未來主管機關將面臨繁瑣行政程序，主管機關宜提早因應。

結 論

游離輻射防護法制定是我國游離輻射管制的新里程，其內容涵蓋了ICRP60、IAEA-115及現行管制規範及以往實務上遭遇問題之解決方法等，皆於法

中明訂，使得管制層面更廣，從法及管制的觀點可稱完備。由於輻防法的內容相關子法大約有十幾個，相關子法是否依時程如期完成，相互間的關連性及配套措施，牽涉到輻防法施行是否順利，此外，更要考慮主管機關與業者是否有足夠人力配合，及正式施行前之宣導教育講習。

輻防法另外一項重要的改變，即應作為義務項目變多了，且都有處罰條款，對外界衝擊可預期的。其次行政機關本身衝擊也變大了，尤其在行政程序法中規定了依法行政、明確、平等、比例、誠實信用、注意當事人有利及不利、行使裁量權等原則及行政處分應記載事項、期間的計算、送達等，訴願法、訴訟法與行政執行法的施行，這些都需要行政人員熟稔相關法令，以利公權力之執行。對於外界的衝擊，主管機關應及早因應，發揮最大的誠意與外界溝通，以免造成業界及主管機關的困擾，反而阻礙了法的施行進度。

▲國際輻射防護委員會新建議的趨勢與進展 (核研所 葉善宏)

IRPA-10大會主辦當局於5月17日上午邀請國際輻射防護委員會(ICRP)主席Roger H. Clarke 專題演講，講題為“Progress Towards New Recommendations from the International Commission on Radiological Protection”，專題演講中，對下述議題有深入的討論，並提出ICRP對該議題的立場。

實踐(Practices)和干涉(Intervention)的邏輯

ICRP於1977年發表的ICRP-26號報告，建構了正常操作之“劑量限制體系”，於1990年發佈的ICRP-60號報告則

建構了“輻射防護的體系”，並提出“實踐”與“干涉”二個重要的觀念。實踐包含會增加輻射曝露或危險度的活動，ICRP 認為它受到正當化、最適化、限制化三個輻射防護原則的約制。ICRP-60 報告中，將“劑量約束”定義為對射源的曝露限制，目前 ICRP 建議將劑量約束值訂為一年 0.3mSv。總括的說，過去十年來，ICRP 的出版物以控制個人最大的危險度為宗旨，建議所有的實踐與干涉必須將個人的危險控制在“不可接受”(大於每年千分之一)和微不足道”(低於每年百萬分之一)之間。ICRP 認為過去十年來，整個邏輯已從功利價值向以公平為基礎的政策移轉，所有個人都有無條件獲得特定防護水準的權力。

低劑量危險度的問題

ICRP 已注意到最近幾年許多人質疑 ICRP 所建議的所謂線性無閾值假說(linear non-threshold hypothesis)及危險度是否偏高的問題，並且已著手分析受質疑的原

因，目前正考慮針對 1990 年的建議 (ICRP-60 號報告)再提出統一或重述性說明，並期望再重新解釋防護政策。關於集體劑量的相關觀念已於 ICRP-77 出版物中有所建議，鑑於目前的防護架構仍存在不一致性，使得 ICRP 正考慮是否有可能提出劑量管制的替代方案，未來 ICRP 的建議將會朝簡化防護體系的方向發展。

個人劑量建議採用單一尺度(Single Scale)

ICRP 建議未來採表 1 所列之尺度來描述曝露之嚴重性，每年 30 ~ 300 mSv 稱為嚴重劑量，3 ~ 30 mSv 為高劑量，0.3 ~ 3 mSv 稱為中度劑量，0.03 ~ 0.3 mSv 稱為低劑量，小於 0.03 mSv 稱為微不足道。此外，ICRP 也建議未來可能的規制系統如表 2，有效劑量(effective dose) 30 mSv 訂為行動基準(action level)，3 mSv 為調查基準(investigation level)，小於 0.3 mSv 為單一射源之約束值，小於 0.03 mSv 為豁免基準。

表 1. ICRP 建議的個人劑量尺度與嚴重程度說明

| 嚴重程度 | 個人劑量尺度 劑量(mSv) |
|------|-------------------|
| 嚴重 | 30 ~ 300 |
| 高 | 3 ~ 30 |
| 中度 | 0.3 ~ 3 |
| 低 | 0.03 ~ 0.3 |
| 微不足道 | < 0.03 |

表 2. 管制個人劑量的規制系統

| 基準 | 有效劑量(mSv) |
|----------|-----------|
| 行動基準 | ~30 |
| 調查基準 | ~3 |
| 單一射源之約束值 | <0.3 |
| 豁免基準 | < ~0.03 |

未來的防護原則

未來的防護原則將會改為：

1. 管制最高曝露群體中代表性個人的劑量。

2. 現行之“As low as reasonably achievable”(ALARA)改為“As low as reasonably practicable”(ALARP)。

現行之 ALARA 原則太偏重於集體劑量之成本利益分析，而集體劑量卻不限時間與空間，產生許多問題。未來之防護標準，將以個人劑量為依據，未來之輻防體系將簡化，不再區分為實踐與干預，不再區分職業、公眾與醫用曝露。

未來趨勢

1990 至 2000 年之間，ICRP 的出版物已漸漸將輻防轉向為控制個人之最大機率效應危險度。ICRP 已減少強調集體劑量與成本--劑量分析。總體來說，此反映 ICRP 之政策已從實利主義、以社會為基礎的價值觀，轉向為以公平、個人為基礎的政策。此項轉變，符合社會上更關心個人福祉，且認為此反映大眾對清除污染場所的花費和應用無時間和空間限制的集體劑量的關心。

□ 會議訓練報導

▲2000 HARSHAW 熱發光劑量計研討會 (輻協 簡文彬)

熱發光劑量計製造商 Bicon 於九月十七日至二十日在華盛頓 DC 舉辦四天的熱發光劑量計研討會，凡為 HARSHAW 的使用者可以免費參加，職奉曾董事長及翁執行長核可前往參加，藉以瞭解 HARSHAW 熱發光劑量計之最新發展及他人的使用經驗。

九月十五日星期五搭乘長榮班機經西雅圖由紐約入境美國，長途飛行加上時差，抵達 Newark 機場附近的旅館已是深

▲八十九年度輻協各項訓練班預定時間表

(輻協)

| 班 | 別 | 訓 | 練 | 日 | 期 | 上 | 課 | 地 | 點 | 聯 | 絡 | 人 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

夜。

翌日(十六日)繼續前往位於華盛頓 DC 的會場 Washington Dulles Airport Hilton 並調整 12 小時的時差。

十七日報到，下午有計讀系統的訓練課程，共有五個主題採座談方式同時進行，晚餐為免費的自助式餐會。

十八日(星期一)首先由主席致歡迎詞並報告該公司的近況，接著開始論文發表，每位報告者有 30 分鐘，到下午五點結束，共發表 12 篇關於人員劑量計的報告。

次日(十九日)繼續論文發表，上午主題仍為人員劑量計，共有 6 篇。下午則為中子劑量計，共有 5 篇，於 14:30 結束當天議程，接著安排參觀國家動物園，緩和和大家的情緒。

二十日上午繼續有 7 篇關於環境劑量計的報告，下午有 5 篇其它劑量計的報告，於 15:30 結束所有發表，最後有 40 分鐘的討論，於五點鐘左右結束四天的研討會，過程十分順利。

隔天返回紐約，順便到熱鬧的曼哈頓區參觀，目睹自由女神像、登帝國大廈鳥瞰並到時代廣場一遊。若非親眼目睹，實難想像紐約混亂的交通、擁擠的人潮及高樓林立的景觀，慶幸自己不是生活在這樣的城市。二十二日搭機返國，結束美東之行。

本次研討會的資料於會後(約 3 個月)才以光碟片寄發與會者，屆時筆者將作整理並放在本協會網頁(www.rpa.org.tw)上供有興趣者參考。

| | | | |
|-------------|----------------------------|------|-----|
| 輻防班 第50期 | 89年10月16日至10月21日(第一階段) | 高雄 | 李貞君 |
| | 89年11月13日至11月18日(第二階段) | | |
| | 89年12月18日至12月22日(第三階段) | | |
| | 89年12月26日至12月29日(第四階段) | | |
| 輻防班 第51期 | 89年10月23日至10月27日(第一階段) | 清華大學 | 李貞君 |
| | 89年11月20日至11月24日(第二階段) | | |
| | 89年12月11日至12月15日(第三階段) | | |
| | 90年01月08日至01月12日(第四階段) | | |
| 非醫用班 | 89年11月07日至11月14日(甲組5) | 清華大學 | 邱靜宜 |
| " | 89年11月20日至12月08日(甲組6)(夜間班) | 清華大學 | 邱靜宜 |
| " | 89年12月05日至12月12日(甲組7) | 高雄 | 邱靜宜 |
| " | 89年12月19日至12月27日(乙組1) | 清華大學 | 邱靜宜 |
| " | 89年12月19日至12月27日(甲組8) | 清華大學 | 邱靜宜 |
| 鋼材班 | 89年11月28日至29日 | 高雄 | 李貞君 |
| " | 89年12月28日至29日 | 清華大學 | 李貞君 |
| 鋼複訓班 | 89年10月13日 | 清華大學 | 李貞君 |
| " | 89年11月30日 | 高雄 | 李貞君 |

以上各項訓練班簡章備索，電話：(03)5722224◎

▲新書介紹

(輻協翁寶山)

書名：UNSCEAR 2000

聯合國原子輻射效應科學委員會(英文簡稱 UNSCEAR)第 2000 年報告已獲准出版，欲購買者可洽聯合國在日內瓦和紐約的出版物銷售營業所。本告可簡稱為 UNSCEAR 2000，共有十篇技術附錄如下：

- 1.劑量評估方法論
- 2.來自天然輻射源的曝露
- 3.來自人造輻射源的公眾曝露
- 4.醫療輻射曝露
- 5.職業輻射曝露
- 6.去氧核糖核酸(DNA)修補和誘變
- 7.低輻射劑量的生物效應
- 8.輻射和其他媒介物的聯合效應
- 9.輻射誘發癌的流行病學研究

10. 車諾比爾事故的曝露和效應

另輻射遺傳效應的附錄仍在評審之中，可能要延至明年(2001)才出版。關於上述第 10 篇的附錄已作出結論如：

「除了在孩童中發現甲狀腺癌(可治療、非致命的)的高罹患率外，在事故發生後 14 年，並無證據指出對公眾重大的健康衝擊可歸因於輻射曝露。」

歸納 UNSCEAR 2000 的要點如下：

- 1.基於劑量學的考量，氬的劑量係數仍維持 $9 \text{ nSv}/(\text{Bq h m}^{-3})$ 。但國際放射防護委員會(ICRP)基於流行病學的證據，上述的數據為 $6 \text{ nSv}/(\text{Bq h m}^{-3})$ ，較 UNSCEAR 2000 為低。惟 ICRP 的數據在游離輻射生物效應委員會評審流行病學的數據而完成 BEIR VI 報告後，ICRP 的數據可能提昇。
- 2.全球天然源的年均劑量仍維 2.4 mSv 。

3. 來自大氣層核試落塵的年劑量作了詳細的計算，其年均有效劑量在 1963 年高達 $115 \mu\text{Sv}$ ，但在 2000 年已降至 $5 \mu\text{Sv}$ 。
4. 全球醫療輻射的曝露作了完整的評估，在放射診斷，個人年均有效劑量為 0.4mSv 。
5. 在職業曝露提供大量的數據和分析。全球年均有效劑量自 1970 年代的 1.9mSv 降至 2000 年的 0.6mSv 主要係指核能發電燃料循環的職業曝露。如果核能發電能繼續 100 年，以目前的 $250\text{GW}/\text{年}$ 計，則歸一化截尾集體年曝露估計會增至最大值 1500 人·西弗，而個人年均劑量約為 $0.2 \mu\text{Sv}$ 。在廠址 50 公里內最受曝露的個人年劑量估計為 $10 \mu\text{Sv}$ 每燃料循環的營運。
6. 評述在致癌過程中，細胞周期、損傷、以及修補等的途徑。不放棄「直線無下限假說」。
7. 考慮在低劑量曝露後的徵候作為引導評估的回應。
8. 更新涉及聯合曝露於輻射和其他媒介物的研究結果。
9. 估計白血病的危險度、12 處個別部位癌的危險度、以及終生的危險度。
10. 對於最受車諾比爾事故影響的人，評價其劑量和效應，個人年均有效劑量為 0.002mSv 。

參考資料

1. UNSCEAR 2000, New Report Takes Advantage of New Data, **Nuclear News** **43**, 104-106 (August 2000)
2. UNSCEAR Secretariat, P.O.Box 500, A-1400, Vinna, Austria (2000)
3. UNSCEAR 2000, **Health Physics** **70**, 314 (2000)

□ 專題報導

▲ 醫學造影的原理與應用(續)

(核能研究所 周冬寶、陳渙東)

3. 數值化 X 射線造影技術

傳統 X 射線造影採用增感屏與膠片的組合獲得影像，雖然具有簡單、可攜帶、便宜及可獲得極佳解剖細節的影像等多項優點，但也有不少缺點，例如適用之曝光範圍相當有限，有時由於膠片過度曝光或曝光不足而需重照；另外影像膠片必需在醫院中各相關科室間傳送供參，容易遺失；而且佔用儲存空間較大，放置時也較易失誤。以數值影像取代傳統膠片不僅可以免除上述的各項缺點，而且具有下列優點(1) 影像可經由處理而增強對比、提升鮮銳度、增加解像力並減少雜訊及斑駁；(2) 可以將各種不同方法所獲得的數值影像，例如 X 射線造影、電腦斷層攝影、核醫造影以及磁振造影等方法所獲的影像，整合在一起；(3) 可以將 X 射線影像利用電子傳輸立即送達相關醫務人員；(4) 可以利用電子傳輸將影像送至遠地，或接受來自遠方的影像，以提升偏遠地區醫療品質(遠距放射診治)；以及(5) 可以有效的應用電腦軟體進行電腦輔助診斷。

目前市場上有三種 X 射線數值影像系統。第一種是利用影像增感屏獲得投影式影像，再利用攝影機與輸出屏做光學耦合，最後將攝影機所獲得的影像數值化。本法可獲得連續的數值影像，但其空間解析度比 X 射線膠片影像差。另一種是利用熐光屏捕獲因吸收 X 射線而被激發的電子所形成的潛影，之後再利用掃描雷射束掃描熐光屏，使被屏所捕獲的電子釋出並放出藍光，最後再利用光電管將藍光轉換成

可以數值化的電子訊號。本法與利用 X 射線膠片併用增感屏獲得單一影像的方式類似，但其空間解析度較差。第三種方法是利用一種非結晶硒導光屏，直接將入射的 X 射線轉換成荷電載體並使其分布在屏面上。此種方法採用早期影印機常用的光導體-不定形硒(amorphous selenium, aSe)，而與 1970 年代常用於乳房攝影的所謂乾式放射攝影(xeroradiography)相似。發展到現在，電荷分布的方式已轉換為數值輸出。目前市場上採用 aSe 方法的均使用一種很大的旋轉鼓，由於此鼓太大而不能容納於現有大多數的檢查室內。¹

影像平面展示技術雖然仍處於實驗階段，但進步神速，足以做為 X 射線數值輸出用，而可立即提供放射攝影與螢光檢查的影像，並且具有極細緻的空間解析度。平面展示的方法有兩種，其一為使用一種對 X 射線敏感且會發射光的磷光體(例如 aSi:H)與一陣列感光器耦合，以產生可數值化的電子訊號。另一種更直接的方法是使用像 aSe 之類的光導體與一陣列平板薄膜電晶體(稱為活化矩陣陣列)組合成可直接轉換的影像接收器(receptor)，將 X 射線直接轉換成可數值化的電荷並分布於大面積的平板上。aSe 具有成為 X 射線理想光導體的五個要件，即是(1)相當大的原子序數以提升對 X 射線的吸收效率；(2)僅需很少的能量即可產生電子-電洞對；(3)暗電流(dark current)可以忽略；(4)電荷載體受外加電場引力後可移動相當長的距離而仍不被捕獲；以及(5) aSe 吸收絕大部分入射 X 射線的能量，獲得影像時人員所接受的劑量相對降低。² 其他可作為光導體的材質包括碘化鉛、溴化銻及碲化鎘-鋅。雖然有機光導體的原子序數較小，影響其對 X 射線的吸收效率，但若能在其內

混雜高原子序數的材質做成有機混合物，則仍有很大的發展空間。³

直接轉換的主要優點在於其彈性結構可用於製作大面積的偵測器供醫用 X 射線造影。此種偵測器的空間解析度約為 150 微米，而且有希望精進至 50 微米以達到最精確 X 射線造影的要求。經由不斷研究改進，臨床應用的效果已充分顯示，直接轉換與平板接收器的組合已將 X 射線投影式造影推向數值化的新境界。

三、X 射線斷層攝影

在投影式放射攝影中，將組織或器官的第三維(深度)以重疊的陰影展現成二維的影像。因此所顯示的解剖結構常受制於其上或其下器官的陰影干擾而不易判讀。唯有設法將陰影移除才能改善器官的組成與形狀的描繪。類比斷層攝影與電腦斷層攝影就是為了移除陰影而開發出來的技術，經過二十多年的演進類比斷層攝影逐漸被淘汰，而電腦斷層攝影成為主流而廣被使用。

1. 類比斷層攝影

如欲獲得身體結構內某一解剖平面的影像，在攝影時可將焦點定在此平面上的一點，就能使平面之上及下的結構顯得模糊，然後同步移動 X 光機與 X 光訊號接受器但保持 X 光聚焦於此平面上，也就是說使焦點在此平面上移動，直到整個平面均掃描過，則出現一張在該平面清晰的影像。如果將焦點定在不同深度逐張拍攝，就可組成整個解剖結構的影像。但實際上，X 光無法完全聚焦於一點上，所謂焦點其實是一個半徑數毫米的光球，所以所謂的清晰影像事實上拍到的是，平面上下數毫米厚度整層的投影，而出現所謂鬼影致影響清晰度，又 X 光與身體各部位作用造成的散射輻射也使影像的對比性降低，

更由於傳統的 X 光訊號接受器無法鑑別小於數個百分點 X 射線強度的差異致漸被淘汰。由於類比斷層攝影簡單、便宜，所以目前仍被用在某些特殊檢查，例如做完胸部 X 光檢查後，若發現可疑的地方可再藉此獲得進一步的資訊。其他則大部分已被電腦斷層攝影所取代了。

2. 電腦斷層攝影

第一部商用電腦斷層攝影(Computed Tomography, CT)機於 1972 年上市，此乃綜合奧地利數學家 Radon、南非物理學家 Cormack 以及英國工程師 Hounsfield 等人前瞻性研究成果所完成的。尤其後二者，因其在 CT 研發上的卓越貢獻，而於 1979 年共同獲得諾貝爾醫學獎。第一部機器是以狹窄的 X 射線束掃描病人，再以閃爍偵測器在病人的另一邊同步移動。此時偵測器所度量到穿透病人的 X 射線強度 I 為：
$$I = I_0 \exp(-\sum \mu_i x_i), \quad (1)$$
式中 μ_i 代表狹窄 X 射線束經過的器官或組織 i 阻擋 X 射線的能力，或稱直線衰減係數，而 x_i 為 i 器官或組織被 X 射線穿越的厚度。

祇做一次強度 I 的度量，根本無法了解 X 射線穿越過多少種不同的器官或組織。但若對病人的某一截面依不同的角度做多次度量，並將所獲得的多組 X 射線強度，以式(1)方式建成各個器官或組織直線衰減係數以及其厚度的函數，再利用數學方法加以分析，即可以直線衰減係數的不同，描繪出該截面各個器官或組織的二維分布。通常不同的直線衰減係數均以下式的 CT 數來代表：

$$\text{CT 數} = 1000(\mu - \mu_w) / \mu_w, \quad (2)$$

式中： μ 為截面中某一器官或組織的直線衰減係數，
 μ_w 為水的直線衰減係數。

在截面中各器官或組織之 CT 數分布，可改用亮度的分布來表示，不同的亮度就足以將不同的器官或組織分別顯現出來，此種影像特稱為 CT 影像。

早期的 CT 機器，除了在病人內某一截面中取一點為圓心，讓 X 光管與閃爍偵測器做圓周旋轉外，圓心之點亦做垂直於截面的直線移動，而形成一條軸，做三度空間的病體掃描，並將所有的 X 射線穿透數據用重複計算的方法獲得各器官或組織之直線衰減係數，再產生不同亮度的影像。由於上述掃描過程費時頗久，使 CT 不適用於繁忙的醫院。後來改採回旋(convolution 過濾回投影法)影像重建的數學方法，提升計算速度，而使 CT 能被醫院採用。此法將穿透數據用傅立葉展開式轉換成頻率表示，而可用各種不同的頻率濾器改善影像的品質，並加強影像中細微部分的解析度。旋轉式 CT 機器被開發出來後，整個掃描程序大幅縮短至數秒就可完成，更由於病床能同時沿著旋轉軸的軸線方向前後移動，而可以在相當短的檢查時間，快速獲得許多截面的影像，此種稱為螺旋式(spiral 或 helical)的掃描程序，大大擴展了 CT 的應用，尤其在胸腔或腹部的檢查。利用螺旋式掃描程序可以獲得三維分布的 CT 數，而可導出各種不同方向的平面影像，亦可產生三維的圖像，也可以限定 CT 數的範圍以產生所選定組織的影像。

雖然旋轉式 CT 機器能在短短數秒內產生影像，但對於心臟與其他充血器官的造影，仍嫌不夠快(要求 <0.1 秒)，因為血液的流動使影像嚴重模糊，要克服該項缺點，必須放棄機械式移動掃描器的做法，改取球面各種不同方向射入 X 射線，以獲得三維分布的穿透數據及影像。目前已有

專為此目的設計的掃描器，其利用電子槍掃描靜止的金屬圓環以產生各種不同投影角度的 X 射線。此機器從事檢查所需的時間可短至 50 到 100 毫秒。⁴

四、發射式斷層攝影

發射式斷層攝影常被稱為核子造影 (nuclear imaging)，此乃將少量放射性藥物注入病人體內，由於生物動力性質，這些藥物及其內含稱為“標誌”的放射性核種會同時被帶到能吸收該藥物的器官或組織。當這些放射性“標誌”衰變時，會釋放加馬射線，如果標誌釋放的是正子，正子又與鄰近的電子結合則會再產生互毀光子，此種方式特稱為正子造影。不管是加馬射線或是互毀光子皆有可能逃離人體，只要在病人附近置放加馬偵測器即可量得。傳統的核子造影，可將偵測器所測得的訊號轉換成代表體內放射核種三維分布之二維平面影像。發射式斷層攝影，乃是利用在病人周圍各種不同角度所獲得的投影資訊，重建成二維截面影像。採用發射加馬射線的放射藥物之發射式斷層攝影，特稱為單光子發射電腦斷層攝影。至於採用發射正子的放射藥物之發射式斷層攝影，特稱為正子發射斷層攝影。現在，PET 可採用符合法 (coincidence) 度量互毀光子，其輻射偵測效率比 SPECT 高。

核子造影目前更結合了 SPECT 與 PET 的長處，利用 PET 的符合法產生影像，再利用 SPECT 的多偵測器攝影機，人體磁振影像則於 1977 年發表，⁷ 又首張人腦磁振影像則於 1980 年獲得。⁸ 磁振造影 (Magnetic Resonance Imaging, MRI) 與 X 射線造影的差別，在於前者不需要利用體外射源所產生的輻射來穿透人體從事造影。人體組織水分子中的質子受磁後會產生偏極化，MRI 乃是利用水中質子偏極化後，其巨觀自旋磁化向量 \vec{M} 的大小來形成影像訊號的強弱，因此組織本身即為影像訊號的來源。此種訊號亦可來自其他核種例如磷或鈉，但不常見。水中質子未耦合自旋的磁化向量 \vec{M} 的運動可用如下方程式描述：

以獲得最佳效果。在國內 PET 的應用必須在醫院內設置迴旋加速器以產生發射正子的氟 18，在美國則因建立了氟 18 去氧葡萄糖 (deoxyglucose) 的區域供應網，而免除氟 18 供應問題的困擾，使 PET 的應用更為廣泛。正子造影可用於偵測人體各個不同部位，包括腦部、乳房、肺部的癌症並可做癌病的分級，因此若對具有癌病遺傳因子的高危險性群體，定期施以氟 18 標誌去氧葡萄糖注射，並作掃描，就有希望早期發現癌病早期治療，以提高治癒率。

由於分子生物學與遺傳學的急速發展，使得人們對基因或分子的構造與人體病變之間的關聯性，有了更深入的了解。更由於生物分子技術不斷提升，例如體內接受藥物部位、新陳代謝途徑以及抗感覺 (antisense) 細胞行為等的確認，促使採用放射性標誌的化學藥物不斷被推出，也因此醫學上已能以微觀的方式來觀察組織的構造與功能是否正常。以上的觀念及技術均涵蓋在“分子醫學”領域裡，由於此領域的不斷被拓展，而使核子造影在臨床醫學上有了更進一步的貢獻。

五、磁振造影

1971 年 Damadian 利用核磁共振 (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) 鑑別老鼠體內正常與癌組織的差異，到了 1973 年更擴展到以人體做研究。⁵ 在同一年 Lauterbur 發表第一張磁振影像。⁶ 首張

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = \gamma\vec{M} \times \vec{H} - M_{xy}/T_2 - (M_z - M_0)/T_1 \quad (3)$$

式中 γ 為氫的旋磁(gyromagnetic)比，

\vec{H} 為有效磁場，

T_1 為自旋-晶格鬆弛時間；水中質子接受射頻脈衝(radio frequency pulse, rf pulse)時 \vec{M} 被扭轉 90° ，此時縱向磁化分量為 M_z ，由 M_z 回復到其平衡值 M_0 的時間常數即為 T_1 ，

T_2 為自旋-自旋鬆弛時間；為橫向平面的合調磁化分量 M_{xy} 回復到其平衡值 $M_{xy}=0$ 的時間常數。

T_1 與 T_2 均受水與組織分子交互作用的影響。利用各種不同序列的射頻對磁振造影的效應， T_1 與 T_2 可在磁振影像中對不同組織造成不同程度的對比。

1. 磁振造影系統

在磁振造影(MRI)系統中，最主要的是用來提供極穩定且均勻磁場的磁鐵，以造成核子極化(nuclear polarization)。雖然電阻式與永久磁鐵均曾被考慮用於 MRI，但目前大多數 MRI 系統均採用超導體磁鐵，由這些磁鐵所產生的典型磁場強度介於 0.3 至 2 特士拉(tesla, T)之間，而鈮鈦(NbTi)合金導體則必需用液態氦冷卻至超導溫度(~4K)。因此 MRI 下一步的研發方向，自然朝向使用高溫超導，例如鉍鋇鈣銅氧化物/銀(bismuth-strontium-calcium-copper oxide /silver, BSCCO/ Ag)，在較高溫時有較大的電流。⁹

射頻線圈在 MRI 中兼具發聲、耳受聲的兩種功能，即一為發射短波 rf 脈衝進入組織，將水中質子磁化向量與外加磁場偏離。其次為接收組織發射出的微弱 rf 訊號；當組織磁化向量偏離後，會再依不同的鬆弛時間 T_1 與 T_2 回復到與外加磁場同向，而發出 rf 訊號。系統中射頻線圈主要是靠測試的結果來設計的，其主要目標為改善訊號品質與提升數據收集的速率。未來研究的方向著重於開發超導體 rf 線圈與冷卻線圈以降低雜訊，另外如何將多個線圈同時使用以提升數據收集的效率也是一個探討的方向。(下期待續)

1. 歡迎賜稿，稿件請寄新竹郵政 2-33 號信箱或電傳 (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。