

■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、董傳中、劉仁賢、蘇明峰（依筆劃順序）  
■發行人：曾德霖 ■主 編：游澄清 ■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

### ▲輻射偵測中心首長交接典禮紀要

(偵測中心 黃禎財)

行政院原子能委員會輻射偵測中心於八十七年五月一日上午十一時假該中心禮堂舉行首長交接典禮，由原能會胡主任委員親自率同蘇副主委青森、王主任秘書嵩峰及各處長南下高雄監交，並將印信自卸任主任林友明先生交給新任主任蔡昭明博士。邀請的貴賓有輻防協會曾董事長德霖、南部地區相關機關，如高雄醫學院放射腫瘤科與核醫科、長庚醫院放射腫瘤科、中華民國環境科學學會南部分會會長等核能界先進共八十餘人蒞臨觀禮，典禮莊嚴隆重。

蔡主任係日本國立東北大學碩士、博士，六十七年公務人員甲等特考保健物理科及格。曾任核研所組長、原能會專門委員、物管處處長等職。並於八十四年一月接掌原能會主任秘書職務迄今，協助推動輻射建物普查與善後處理、督導處理台南縣將軍鄉及新竹市南寮垃圾場天然輻射重砂案、協助桃園縣市政府進行輻射異常道路的處理、及協助輔導國內鋼鐵廠建立輻射偵檢制度等重大事蹟，貢獻卓越。最後胡主任委員代表原能會向蔡主任表示恭賀

外，並期勉中心的全體同仁要一本過去勤勞、奮發的精神，在蔡主任的繼續帶領下，開創偵測中心的另一個新紀元。

## □會議訓練報導

### ▲醫學物理暨微劑量學研習課程

(清大原科系)

國立清華大學原子科學系暑期課程「醫學物理暨微劑量學特論」，邀請美國哥倫比亞大學放射腫瘤學系武承嗣教授、英國St. Andrews大學輻射生物物理系D.E. Watt 教授主講。

本課程分學分班及非學分班兩類，採合併上課。選修學分班者，必須全程出席並通過考試，方由國立清華大學授予研究所課程三學分之證明。選修非學分班者，可以選擇部分時間出席。由中華放射腫瘤學會、中華民國醫學物理學會、中華民國輻射防護協會，視出席時數出具上課證明，抵各該學會的教育學分。

本課程歡迎本校學生、外校學生、社會人士選修。選修學分班，本校學生依學校規定辦理；外校學生須經其就讀學校書面同意，方得轉出成績；社會人士由清華大學發給學分證明，日後入學可抵免學分。選修非學分班，則無任何資格限制。

課程內容包括：

● 醫學物理

Review of Basic Dosimetry

Radiation Therapy Dosimetry (TG21, TLD, film)

Radiation Therapy Machines

Practical Dosimetry of Radiation Fields (PDD, TAR, TMR)

External Beam Treatment Planning

Electron Beam Dosimetry and Treatment Planning

Brachytherapy (Implant Radiation Therapy)

Radiation Protection

Quality Assurance

● 微劑量學

Introduction

From Macro-to Micro-dosimetry

Microscopic Interactions of Tracks

Theoretical Microdosimetry

Experimental Microdosimetry

Models of Radiation Damage

Quantifying the Bio-effectiveness of Ionizing Radiation

Instrumentation for Absolute Nanodosimetry

上課時間：中華民國87年7月20～25日、27～31日、8月1日，共計十二天。上課地點：新竹市光復路二段101號國立清華大學原子科學系演講廳。簡章報名表備索，洽詢電話：03-5715131轉5781葛潔小姐。

▲八十七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
輻 防 班	87年11月16日至12月11日	新竹(聖經學院)	邱 靜 宜
非 醫 用 班	87年06月16日至23日	清華大學	李 貞 君
"	87年09月15日至22日	清華大學	李 貞 君
"	87年10月13日至20日	清華大學	李 貞 君
"	87年10月28日至11月04日	高雄	李 貞 君
"	87年11月10日至17日	清華大學	李 貞 君
"	87年12月02日至09日	高雄	李 貞 君
"	87年12月15日至22日	清華大學	李 貞 君
鋼 材 班	87年08月20日至21日	高雄	邱 靜 宜
"	87年09月10日至11日	新竹	邱 靜 宜
T L D 講 習	87年06月29日(下午)	台北	劉 尚 艾
"	87年07月01日(下午)	新竹	劉 尚 艾
"	87年07月06日(下午)	高雄	劉 尚 艾

◎以上各項訓練班簡章備索，電話：(03)5722224

## □專題報導

### ▲廣東省陽江縣高背景輻射地區流行病學調查 (核研所核安會 蘇獻章)

輻射效應，特別是低劑量率長期照射下可能的致癌效應與遺傳效應，是人們極為關心的問題。流行病學調查研究是解決這一疑問的方法，但這項研究除了要有許多配合條件外，還須投入大量人力和時間。廣東省陽江縣地區，由於附近山表面含有獨居石的花崗岩，長年經雨水沖刷，造成高背景輻射地區 (High Background Radiation Area, HBRA)，中國大陸自 1972 年起展開了系統的調查研究工作，其結果具有重要的參考價值。

HBRA 具有人口眾多，世代居住的特性，本研究對 HBRA 選擇 73,534 人，其中居住 6 代以上的家庭約占 90%；另外背景輻射正常的對照地區 (CA)，選自距 HBRA 約 10 公里的居民 77,073 人。在人口資料(職業及人口結構)，干擾因素(如使用農葯、接觸有害物質的職業，吸煙、飲酒和接受醫用 x 射線照射)與文化、教育和經濟條件等的調查方面，此二地區居民各項調查結果經統計學處理，均未達到統計學顯著差異的程度。

加馬能譜分析結果，對於  $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{226}\text{Ra}$  與  $^{40}\text{K}$  四核種，HBRA 的測量值分別為 CA 值的 3.8，6.2，4.3 與 2.7 倍，而體外曝露方面，HBRA 的輻射劑量約為 CA 的三倍。在體內劑量方面，HBRA 比 CA 高 2~6 倍。HBRA 居民每年接受之有效等效劑量平均為 6.4mSv，亦即每年比 CA 居民高出約 4

mSv。因此，乙位 50 歲的 HBRA 居民，所累積之有效等效劑量約為 320 mSv。由此可見，HBRA 與 CA 居民在劑量學上有差異性，值得進行健康影響的調查研究。

對 HBRA 和 CA 的癌症死亡率研究，至 1986 年止，在 HBRA 共累積調查 1,008,769 人年，發現 469 例癌症病人死亡，粗死亡率為  $4.629 \times 10^{-4}$ ；CA 的對應值為 995,070 人年，癌症死亡病例為 533，粗死亡率為  $5.356 \times 10^{-4}$ 。雖然由數據看出，不論男性、女性和兩性合併的三項癌症死亡率都出現 CA 比 HBRA 高的情況，但均未達到統計學顯著的程度。為了驗證上述結果的可靠性和可信程度，還進行以下分析：(1)所有年齡組的白血病死亡研究，獲得 HBRA 和 CA 的男性白血病死亡率為  $3.20 \times 10^{-5}$  與  $3.57 \times 10^{-5}$ ，而女性比為  $2.93 \times 10^{-5}$  與  $3.06 \times 10^{-5}$ ，此二地區的白血病死亡率不只差異性不顯著且與全中國的平均值接近。(2)HBRA 和 CA 居民 40~70 歲年齡層除白血病以外的全部癌症病人死亡率，經分別觀察 207,900 和 224,380 人年，得到此二地區的死亡率分別為  $1.44 \times 10^{-3}$  和  $1.68 \times 10^{-3}$ ，雖然 HBRA 的癌症病人死亡率低於 CA 的對應值，但由於被觀察的人年數不夠多，仍有繼續研究的必要。(3)調查從出生起居住於 HBRA 和 CA 的 50~60 歲老年婦女各 1001 和 1005 人的甲狀腺結節病 (nodular disease)，分別得到 95 和 93 例病症，顯示，接受高游離輻射的人群，可能不會增加甲狀腺發生結節病的危險。(4)比較兩地區主要癌症病人死亡發生的順序 (HBRA 第一到第十依序為肝、鼻咽、胃、白血病、肺、腸、食道、子宮頸、

乳、骨肉，而 CA 依序為肝、鼻咽、胃、白血病、肺、腸、食道、乳、骨肉、子宮頸)，其結果相當一致，這說明此兩地區的致癌因素是可相比對的。

對於遺傳性疾病和先天性畸形調查方面，HBRA 和 CA 的患病率幾乎是一樣的，HBRA 為  $2.264 \times 10^{-2}$ ，CA 為  $2.254 \times 10^{-2}$ 。但是研究發現兩地區的唐氏症(Down's syndrome)患病率有顯著差異，HBRA 的值( $1.04 \times 10^{-3}$ )顯然高於 CA 的值( $0.31 \times 10^{-3}$ )。統計調查中國部分省份，城市和地區的唐氏症患病率，發現患病率之波動範圍很大，最高的可達到  $2.02 \times 10^{-3}$ ，而 HBRA 的唐氏症患病率在波動範圍內。另由於唐氏症的發生率隨母親生育年齡的增長而增加，HBRA 與 CA 兩地區生育時，母親年齡小於 35 歲的百分比分別為 87.98%和 95.56%，因此很可能，生育年齡是造成 HBRA 唐氏症病率高於 CA 的原因。總之，HBRA 的患病率在中國大陸同年齡組患病率的自發頻率範圍內，而 CA 的患病率過低。

在染色體畸變的研究方面，用 G 顯帶(G-banding)法，對二地區 15~16 歲學生未檢出畸變率有明顯差異。但用 M-1 細胞分析方法，則檢出 15~16 歲學生，HBRA 的易位加倒位的畸變率高於 CA 的對應率。對於老年婦女的檢查結果，亦顯示 HBRA 均高於 CA 的對應值。這種差異的生物學含義有待繼續研究。(摘自「中國陽江高本底輻射研究，魏履新等編著」，感謝核研所游副所長景熊提供本報告)

### ▲ 放射線對人體影響之基本概念(續)

## 2.如何評估放射線影響發生的可能性

在受到放射線照射後，是否會造成不良的影響。應由下列三點來考慮：

- (1)身體照射的部位及面積大小
- (2)照射的形式(急性大量照射或慢性照射)
- (3)照射劑量的程度

然而，大多數人經常忽略了考慮此三項因素，而立刻聯想到白血病等癌症和遺傳的不良影響。所以，若一開始即以此三點為考慮，就可避免產生許多不必要的誤解和疑慮。

## 3.放射線引起之影響與照射部位的關係

放射線的生物效應是當放射線照射到人體時，會對人體的基本構造—細胞(細胞膜、細胞質、細胞核)造成游離和激發作用，進而產生生物效應，導致對人體健康的不良影響。細胞中最容易受到傷害的對象是 DNA(去氧核糖核酸)、細胞膜、溶體等。放射線的游離和激發作用能在  $10^{-15} \sim 10^{-6}$  秒之極短時間內，使細胞的基本構造發生變化(損傷)，此變化即為放射線生物效應的基本因素。在臨床上可明顯看出放射線生物效應的時間，短則只需數小時，長則需達數年，此期間即為潛伏期。

雖然受到放射線照射至發生影響需要很長的時間，但事實上放射線對於細胞的作用只在人都感覺不到的瞬間( $10^{-15} \sim 10^{-6}$  秒)就完成了。同時，我們要強調：放射線對人體的效應，只會發生在照射的部位。

民眾最擔憂的放射線引起的代表性疾病，可說是白血病為主的癌症。表 3

顯示照射部位和影響的關係。例如：白血病即為紅骨髓受到放射線照射而發生。此外放射線對遺傳的影響是除非具有生殖能力的年輕人，其生殖腺受到照射，否則是不會發生的。

因此，擔憂放射線所造成的影響，

最主要考慮的是被照射的部位，若是未受到照射的部位，是不可能造成任何影響的。所以若沒有考慮照射部位的因素，就擔憂是否會發生白血病或遺傳的影響，實是無謂的疑慮。

表 3.照射部位與影響的關係

影 響	照 射 部 位
白 血 病	紅骨髓
肺 癌	氣管、支氣管、肺泡
乳 癌	乳腺
不 孕	生殖器官（卵巢、精囊）
遺 傳 的 影 響	生殖器官（卵巢、精囊）
胎 兒 畸 形	2~8 週的胎兒（胚胎）

#### 4.照射方式與影響的關係

放射線的照射方式依時間長短可分為兩種，一種為短時間的照射，稱作「急性照射」，例如：醫療上使用放射線；另一種為長時間的照射，稱為「慢性照射」，即在日常生活中受到天然放射線的照射。當受到照射劑量相同時，原則上急性曝露所發生的影響大於慢性曝露，這是因為人體有自動修復本能的關係。以急性照射和慢性照射影響的程度相比較，依疾病種類而有下列狀況，以癌症為例：慢性照射和急性照射的影響，造成癌症的發生率和死亡率約為 1：2；而以對遺傳的影響來看，學者假設其比例為 1：3，如表 4 所示。

表 4.急性照射與慢性照射的影響之比較

影 響	慢性照射/急性照射
放射線誘發癌病	1/2
遺 傳 的 影 響	1/3

關於放射線急性照射誘發癌症的流行病學調查，其代表性案例即是以長崎、廣島在原子彈爆發後的倖存者為對象；至於放射線慢性照射則以放射線工作人員和注射含鈷放射性造影劑(thorotrast)患者為對象。

至於放射線對人體遺傳方面的影響，至目前為止尚無病例，所以學者僅以動物實驗結果為參考，來了解急性與慢性照射對遺傳影響的程度差異。

#### 5.放射線照射劑量與影響的關係

在了解放射線照射劑量與影響的關係之前，茲先行說明放射線生物效應之機理。

##### A.放射線生物效應的基本概念

###### a.放射線與生物之間的作用：

放射線對人體的影響，須經過放射線與構成人體的物質互相作用，如經過物理、化學、生物學等過程，而後引起對人體的影響。

(1)物理過程：

放射線的能量，使人體內物質發生游離或激發，此過程僅在極短時間( $10^{-11}$  秒)內完成。

(2)化學過程：

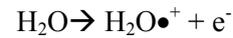
經游離或激發後形成的離子(ion)與細胞內之水分子起反應，成為高反應性的自由基(free radical)，此過程只在  $10^{-8}$  秒內發生。

經激發(約 7 eV)後的水分子  $H_2O^*$ ，理論上可能分離為：

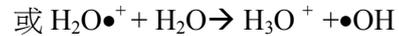


$\bullet OH$  基是反應性極高的氧化劑，而  $H\bullet$  基具有還原能力。

另水分子經游離(約需 13 eV)後成為：



$H_2O^{\bullet+}$  非常不安定，立刻分解產生  $\bullet OH$  基：



(3)生物學過程：

細胞是由碳、氧、氫、磷、氮等元素的化學結合體所構成。放射線照射後所產生的自由基會破壞其化學結合體，例如：使 DNA 的鍵斷裂，使細胞膜、細胞質內的溶體(lysosome)發生變化，此過程在  $10^{-6}$  秒內發生。

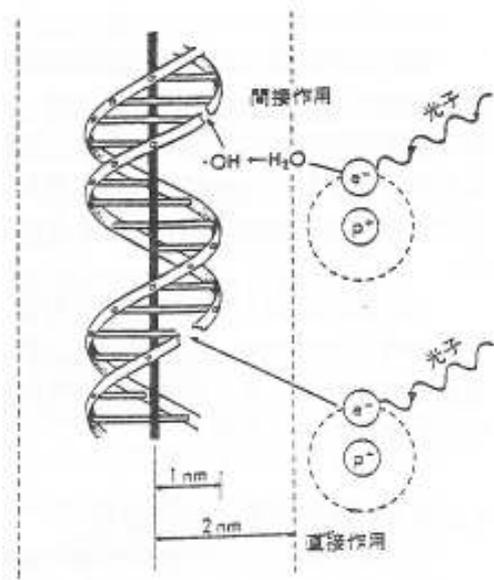


圖 1. x 光或  $\gamma$  射線照射到 DNA 時所產生的直接與間接作用

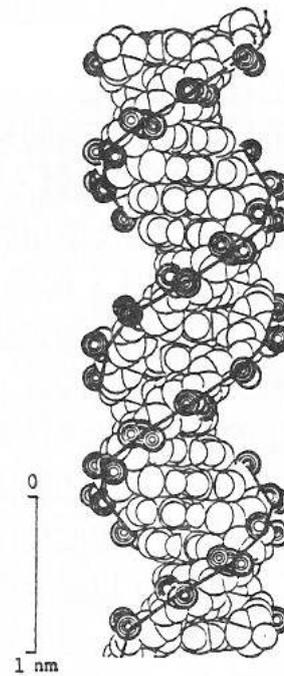
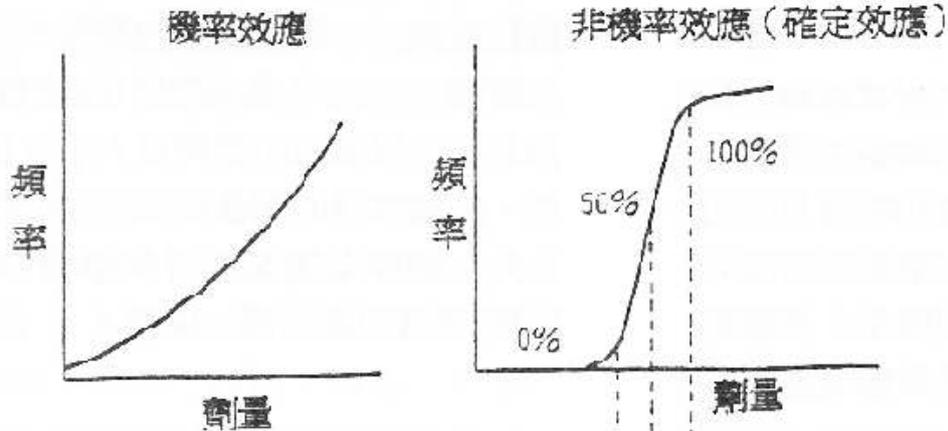


圖 2 DNA 的雙鍵構造模型：

DNA 是生物細胞核內的去氧核糖核酸，含有各種器官組織形成生命的各種密碼。在人體中一個細胞的 DNA 密碼粒連結起來可達 180 cm 長。【資料來源：山口彥之「生命科學講義－DNA 之遺傳學」】

### 【劑量與反應的關係】



### 【劑量與影響之關係】

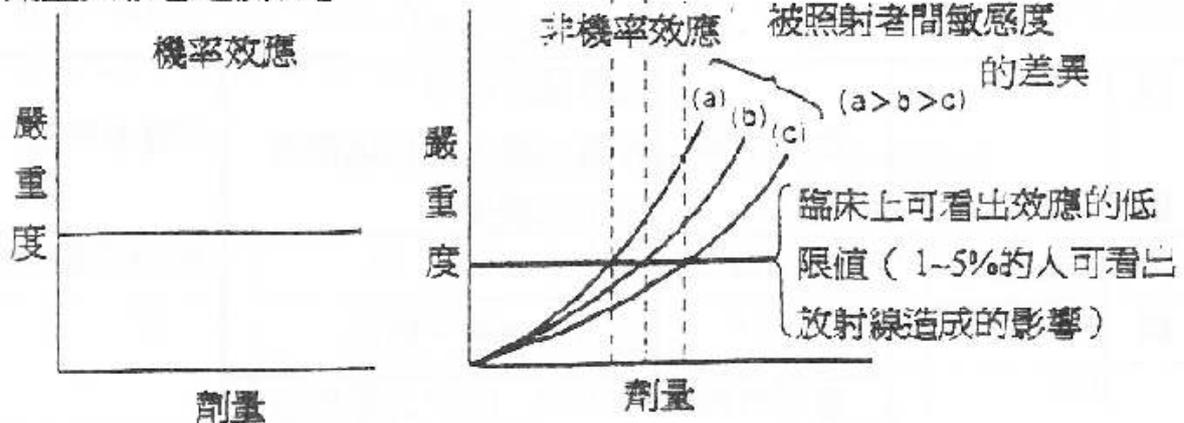


圖 3. 機率效應與非機率效應的影響【資料來源：ICRP 41 號報告】

不經過(2)化學作用，而由(1)物理作用的過程立即引起(3)生物作用的方式，叫做直接作用。低 LET(linear energy transfer: keV/  $\mu$ m)的放射線，能夠產生直接作用的頻率很低。而間接作用則是經過(2)化學作用的過程而引起(3)生物作用的方式。

#### b. 對 DNA 的影響：

DNA(去氧核糖核酸)：是構成遺傳物質的基本分子，它是由磷酸(p)、五碳糖(s)及鹽基所組成的雙重螺旋構造，是細胞核內一種化學物質的大分子構造。鹽基共有四種：腺嘌呤(adenine)、胸腺核甘(thymine)、鳥糞嘌呤(guanine)

及胞嘧啶(cytosine)。

放射線引起的游離和激發所產生之自由游離基會直接或間接使 DNA 損傷。DNA 的損傷包括：鹽基損傷、鹽基之游離、鍵的斷裂(有雙鍵斷裂和單鍵斷裂)、形成架橋(DNA 的鍵間架橋、DNA 的鍵內架橋、DNA--蛋白間架橋)。

放射線引起細胞死亡【增殖死亡(mitotic death)、凋亡(apoptosis)】、細胞突變的影響，被認為是 DNA 受到損傷而引發。

細胞受到放射線後，受損害的細胞可能有下列反應：

- (1)延遲細胞的正常循環，經一段時間後恢復正常。
- (2)受損細胞失去分裂繁殖的能力，最後死亡消失。
- (3)受損細胞不正常分裂繁殖，性細胞遺傳物質改變而影響後代，體細胞不正常繁殖形成癌瘤。
- (4)放射線能量很高時，受照射細胞會立即腫脹破裂。

B.大多數民眾一接受到放射線照射，就馬上擔憂是否會有不良的影響，事實上放射線照射所造成的影響和劑量有密切

的關係。如圖 3 所示，以放射線防護的觀點來看，放射線照射的劑量，其影響可分為機率效應與非機率效應（又稱確定效應）兩種。機率效應是指其發生機率與所受劑量大小成比例增加，而與嚴重程度無關，此種效應的發生無劑量的低限值。至於非機率效應(確定效應)是指其嚴重程度與所受劑量大小成比例增加，此種效應的劑量低限值可能存在。此外，機率效應又可分做軀體效應(癌病)和遺傳效應兩種，如表 5。

表 5、放射線效應之分類

放射線效應	軀體效應	急性效應	皮膚發生紅斑 骨髓、肺、消化道傷害 白血球減少 不孕 噁心、嘔吐、腹瀉	非機率效應  (確定效應:
		慢性效應	白內障、胎兒之影響等 白血病 癌症	
	遺傳效應		遺傳基因突變或染色體變異所發生的各種疾病	機率效應

放射線防護的目的是為了儘量減低機率效應的發生率，以及防止產生非機率效應(確定效應)。游離輻射防護安全標準的年劑量限度、職業曝露、及一般民眾曝露，都設定在非機率效應的低限值之下，使一般民眾在接受放射線照射時，就不會發生非機率效應。因此在放射線的正當使用下，可能接受到的放射線劑量，不致造成工作人員及一般民眾發生非機率效應。

相對的，機率效應是假定沒有低限

值的存在，因此不論照射劑量多寡，都會有人擔憂是否對人體造成不良影響(請參考「放射線診斷與白血病的關係」一文中之圖 3)。但從廣島、長崎原子彈爆發後之倖存者為對象所做之流行病調查結果顯示：當劑量在 200 mSv(毫西弗)以下時，統計資料上看不出有白血病病例的增加，因此若以個人標準而言，只要劑量在 200 mSv(毫西弗)以下，是不需擔憂會發生不良影響的。而學者們不設定低限值存在的原

因，是爲了要放射線工作人員遵行放射線防護體系所立的準則：作業正當化 (justification of practice)、防護最適化 (optimization of protection)、個人劑量及風險限度 (individual dose and risk limits)。

原子能委員會於民國 80 年 7 月修正並公布新的「游離輻射防護安全標準」中，含職業曝露及一般民眾曝露之劑量限度，而不論職業或一般民眾所受到的照射劑量，都控制在此限度值以下。

根據國內學術單位以及筆者於 1997 年「放射線劑量測定術暨安全之國際會議」中發表之對亞洲地區各國 (中華民國、日本、韓國、香港、新加

坡、馬來西亞)進行醫療照射問卷調查結果，均顯示醫療照射劑量低於 1994 年 9 月國際原子能總署(International Atomic Energy Agency：IAEA)所提出的基本安全標準 (Basic Safety Standard：BSS)中的醫療照射引導劑量值(guidance level)。

關於放射線的影響，許多先入爲主的想法，誤導民眾產生無謂的擔憂和不安。目前無論國際上或是我國均已將過去放射線對人體造成影響的資料彙編爲完整的放射線防護，納入安全體系。因此對每位民眾而言，接受一般性放射線照射，實不需擔憂造成不良的影響。

表 6.非機率效應 (確定效應) 之低限值

器官 / 組織	影 響	急性曝露 (Gy)	慢性曝露 (Gy/y)
精 囊	暫時不孕	0.15	0.4
	永久不孕	3.5~6	2.0
卵 巢	永久不孕	2.5~6	0.2
水 晶 體	白內障 (低 LET)	5 (2~10)	0.15
	(高 LET)	0.6~5	
	水晶體混濁	0.5~2	0.1
造血器官	機能低下	0.5	>0.4
胎 兒	發生畸形	0.1	
	重度智能發展遲滯	0.12~0.2<	

資料來源：ICRP.60 號報告

最後，謹此感謝前清華大學翁寶山教授之指正。

### ▲什麼是“放射性”和“輻射”(續) (清華大學 朱鐵吉)

問 9、受到多大的輻射曝露就會有危險？  
答：我們的身體受到的輻射曝露來自(1)

宇宙射線；(2)大地產生的輻射；(3)經由飲食攝入體內的微量放射性物質。這些輻射總稱爲天然輻射。這些輻射造成的有效等效劑量平均每年約爲 1.1 毫西弗(1.1 mSv)，表 5 列出了這三種輻射的劑量。此外，我

們受到來自空氣中的氡氣的有效等效劑量平均每年約 1.3 毫西弗(1.3 mSv)。

表 5 來自天然輻射曝露的年有效等效劑量

來自宇宙射線	0.35 毫西弗
來自大地	0.40 毫西弗
來自食物	0.35 毫西弗

人體在地面上受到宇宙射線的粒子照射約為每秒 500 個。宇宙射線的強度隨海拔高度而增強，在平流層，其強度為地面的 10 倍。因此乘飛機的時候自然會受到較多輻射的曝露，但還不致於達到威脅健康的量。不過太空人在太空中長時間的飛行受到的劑量則不可忽視。世界上高輻射背景區如印度的喀拉拉地方為 28.1 毫西弗/年，巴西的加拉培利地方為 12.0 毫西弗/年。因此，大地輻射的強度隨地區而異，因為都是低劑量，所以對居民健康的影響未完全清楚。

天然輻射在地球上生物誕生之前就有了，其強度比現在高得多，人類也是在這種輻射環境中進化過來的。最近了解到，在屏蔽了天然輻射的環境中，生物則難以生育。

有人以為天然輻射是無害的，人造輻射和人造放射性物質的輻射才是有害的；

這種想法是錯誤的。這兩種輻射的本質是一樣。有害與無害的劃分標準是天然輻射的水準低。有人一聽到“輻射”或“放射性”就恐怖不安，感到很害怕，這不是科學的態度。重要的是它的量的大小。有的人神經過敏，連泡溫泉浴、看電視、乘飛機、以致於長途乘飛機都怕輻射的照射。其實什麼事都要作定量的比較再作判斷是最重要的。

表 6 是我們日常遇到的輻射的強度和劑量的比較。吸煙時，煙草中所含的鈾  $^{210}\text{Po}$  會使肺受到照射。胸部 X 射線攝影時，瞬間受到的劑量相當於一年中受到宇宙射線照射的劑量。人類致死劑量為 7000 毫西弗(mSv)。除了對醫療曝露規定了劑量限度以外，目前法律對一般公眾規定的劑量限度為 5.0 毫西弗/年(mSv/y)。

日本山梨縣增富溫泉的放射性物質濃度之高是有名的，一升的溫泉水每分鐘有一萬次輻射。在那裡受到的劑量自然與入浴時間長短有關，但也不至於達到危害健康的劑量。所以，溫泉雖然可看成是個“會接受輻射曝露的收費設施”，但若對於到底去不去溫泉區這個問題而煩惱不已的話，反而對健康才真是沒有好處。

表 6 日常輻射的強度和劑量

電視機表面	0.01 毫西弗/時
乘飛機(日本飛美國)	0.04 毫西弗/時
吸煙(每日 20 支)	0.18 毫西弗/時
胸部 X 射線攝影	0.3 毫西弗/次
胃部 X 射線透視	4.1 毫西弗/次
導致白血球異常	250 毫戈雷/次
脫毛	3000 毫戈雷/次
致死劑量	7000 毫戈雷/次
廣島核爆中心點	100000 毫戈雷/次

癌的治療	2000 毫戈雷/次×30 次(針對癌組織)
核能電廠廠界外劑量限度的法規值	1 毫戈雷/年
核能電廠運轉時廠界外實際測定的值	0.0002 毫戈雷/年

問 10、放射性的活度究竟是怎麼回事？

答：放射性的活度為放射性物質一秒鐘之內發生核蛻變，核蛻變會放出( $\alpha$ 射線、 $\beta$ 射線或 $\gamma$ 射線)的數目。放射性物質的量多，則每秒鐘從放射性物質放出的輻射個數當然也多。但是，同樣是一克的放射性物質，因種類不同每秒鐘放射出的輻射(輻射的放射率)也就不同。換言之，輻射的放射率是由放射性物質的種類決定的。

例如一克鐳 226，一秒鐘內有  $3.7 \times 10^{10}$  個  $^{226}\text{Ra}$  原子發生蛻變。一克鈷 60，一秒鐘內產生核蛻變的數目約為上述數字的 1000 倍，達到  $4.2 \times 10^{13}$  個。與此相反，一克鈾 238，相當於 300 萬分之一克鐳放出的輻射數目，為  $1.2 \times 10^4$  個。可見，放射性活度不僅與放射性物質的量有關，而且與其種類也有關。

放射性物質的量與普通物質的量都可用“克”或“公斤”表示，但用一秒鐘內放出的輻射的量，即用放射性活度來表示時，則這種方法比較便利。放射性活度的單位是貝克(Bq)。貝克為蛻變/秒，即指著放射性物質的活度為 1 貝克時表示它一秒鐘內發生一次蛻變；同時也意味著一秒鐘能發生一次蛻變的那樣的放射性物質的量。

除了貝克外，放射性活度的單位還有一個常用單位稱為居里(Ci)，它是以一克鐳 226 一秒鐘內發生核蛻變的個數(370 億個)為尺度的單位。因此，如果某放射性

物質一秒鐘內產生 370 億個原子核蛻變，那麼它的放射性活度就是一居里。換言之，一居里的放射性物質與其種類和質量無關，都是一秒鐘內產生 370 億個原子核蛻變。貝克(Bq)與居里(Ci)作為放射性活度的單位的同時，也是以放射性活度來測定放射性物質的量的單位。居里與貝克之間的換算係數是 1 居里(Ci) =  $3.7 \times 10^{10}$  貝克(Bq)。

放射性活度也常簡單的稱為放射性。一克鐳的放射性就是一居里。與此相應，約 1 毫克(mg)的鈷 60 相當於一居里(一克的鈷 60 為 1000 居里)。約 3 噸的鈾 238 才相當於一居里。可能會感到不可思議，都是質量為一克，鐳的放射性為鈾 238 的 300 萬倍。

問 11、放射性半衰期是怎麼回事？

答：放射性的活度與人的青春一樣，不是永駐青春而不變的，如圖 2 所示，放射性隨時間而逐漸減弱。例如，現在一個活度為 100 貝克的鈷 60 射源，5.27 年後活度降到 50 貝克，輻射的放射率減少到一半。再過 5.27 年，活度降到 25 貝克。於是我們把活度降低到原來一半所經的時間稱為半衰期。按這個定義，鈷 60 的半衰期就是 5.27 年。

$\alpha$ 射線、 $\beta$ 射線和 $\gamma$ 射線是從組成放射性物質的原子(核)放射出來的，某個原子一旦放出輻射，就失去了放射性而“死”

了，不再第二次放出輻射。這一點與蜜蜂一生只能螫一次很相似。由於組成放射性物質的原子的數量是有限的，而“死亡”的原子數隨時間而增加；反之，“還活著”的原子數目逐步在減少。輻射的放射率，換言之，放射性的活度隨時間而逐步減低也是這個道理。

如前所述，同為一克的放射性物質，其輻射的放射率因核種而異。輻射放射率大的放射性物質，“還活著”的原子的數

量在短時間內就減少一半。所以，輻射放射率大的放射性物質，其半衰期就短。換言之，半衰期短的放射性物質，其活度就大，反過來說，在短時間內，活度就變少。

表 7 列出代表性的放射性物質活度相當於  $3.7 \times 10^{10} \text{Bq}$  時的質量以及與半衰期的關係。鈾 238 的放射性非常弱，因其半衰期極長，與地球的年齡相當。

表 7 每  $3.7 \times 10^{10} \text{Bg}(1\text{Ci})$  的質量與半衰期的關係

放射性物質	每 1Ci 的質量	半衰期
$^{131}\text{I}$	0081mg	8.05 天
$^{60}\text{Co}$	0.87mg	5.27 天
$^{137}\text{Cs}$	11mg	30 年
$^{226}\text{Ra}$	1g	1600 年
$^{235}\text{U}$	470kg	$7.038 \times 10^8$ 年
$^{238}\text{U}$	3000kg	$4.5 \times 10^9$ 年

#### ● 輻協禮聘專才

1. 輻射防護工程師：原科系所、工程與系統科學系所；理工相關科系所畢、役退。
2. 資訊工程師：大專以上理工；資訊相關科畢、役退、熟悉資料庫維修。
3. 化學工程師：大專以上化學、化工、放化相關科系畢、役退。
4. 專業技術人員：高中(職)以上、理工科系畢、役退。
5. 專任行政助理：高中(職)以上、熟悉 P.C 電打。

工作地點：新竹、龍潭。意者請將歷、照、傳、希望待遇寄新竹市光復路二段 406 號二樓輻防協會范小姐收。

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。