

X 光劑量 對健康的影響

在發現和利用 X 光輻射的初期，由於不了解輻射對生物所引起的效應，而發生不同程度的輻射反應或輻射損傷，嚴重的甚至死亡。從此研發人員開始研究 X 光輻射生物學，以及了解輻射防護的必要性。

■ 楊界雄、曾干容

X 光輻射在醫療上的用途為人所熟知，它可以協助醫生診斷及治療多種疾病。在發現和利用 X 光輻射的初期，由於不了解輻射對生物所引起的效應，且欠缺輻射防護的知識，致使某些從事放射工作的人員和一些接受輻射治療的病人，曾因受到較大劑量照射，而發生不同程度的輻射反應或輻射損傷，嚴重的甚至死亡。從此研發人員開始研究 X 光輻射生物學，以及了解輻射防護的必要性。

大部分的人可能都有照胸部、牙齒、骨頭 X 光的經驗，因此對以下輻射劑量學中的各種名詞及單位應該有基本的認識。

暴露量

定義是每單位質量的乾空氣與 X 或 γ 射線作用所產生的正或負電荷量，其傳統單位是「侖琴」(Roentgen, R)，使 1 公斤乾空氣產生 2.58×10^{-4} 庫倫電量是 1 R。國際單位則使用 [C/Kg]， $1 R = 2.58 \times 10^{-4} C/Kg$ 。

侖琴是目前最古老的輻射劑量單位，顯示輻射使空氣游離的量，用來紀念 X 光的發現者侖琴 (Wilhelm Conrad Roentgen, 1845-1923)。一般來說，單位暴露量等同於在生物組織中所造成的單位等效吸收劑量，其最早單位是侖目 (rem, Roentgen equivalent in man)。



X 光輻射可以協助醫生診斷及治療多種疾病 (圖片來源：種子發)

克馬

又譯為比釋動能，定義是：不帶電或間接游離輻射時，每單位質量（m）的物質釋出的所有荷電游離粒子的初期動能的和（E_{tr}），又稱為能量轉移，以 $K = dE_{tr}/dm$ 表示，其國際單位以 [J/kg] 表示。

克馬與通量、質能轉移係數的關係如下：

$$K = \Phi E \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)$$

式中 Φ 是通量，是通過單位球體截面積的粒子數， E 是能量， μ_{tr}/ρ 是質能轉移係數。克馬在輻射劑量偵測上是一有用的觀念，它容易計算，但不易度量。近年來，實用劑量測定術有以空氣碰撞克馬代替暴露量的趨勢。

吸收劑量

定義是單位質量物質（m）吸收輻射的平均能量（E_a），以 $D = dE_a/dm$ 表示。單位是戈雷（Gray, Gy），1Gy = 1 J/kg = 100 rad，是目前吸收劑量的國際專用單位，用以取代較早的單位雷得。

輻射種類	ICRP 60	ICRP 103
光子	1	1
電子	1	1
中子		如右圖
< 10 keV	5	
10 ~ 100 keV	10	
100 keV ~ 2 MeV	20	
2 ~ 20 MeV	10	
> 20 MeV	5	
質子	5	2
阿伐、重核粒子	20	20

國際放射防護委員會（ICRP）針對不同種類的輻射訂出輻射加權因數，代表不同輻射對人體組織造成的不同程度的生物傷害，而 ICRP 60 與 ICRP 103 分別是 1991 年與 2007 年所訂定的輻射加權因數。（資料來源：國際放射防護委員會）

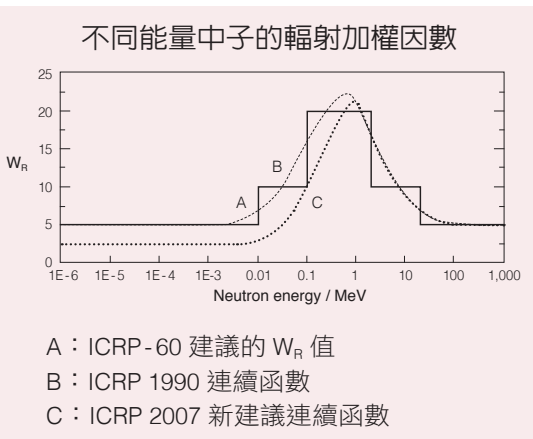
吸收輻射劑量的多寡，和輻射線的強度與種類、射源的距離、接觸輻射線時間的長短、屏蔽材質與厚度、吸收物質的種類等有關。

等價劑量

吸收劑量率與放射源種類，對生物的輻射防護沒有任何指標作用，必須考慮到其對生物的影響性，也就是不同種類的輻射照射到人體的組織或器官時，即使人體組織有相同的吸收劑量，卻會造成不同程度傷害的現象。

為此，國際放射防護委員會（International Commission on Radiological Protection, ICRP）針對不同種類的輻射訂出輻射加權因數，代表不同輻射對人體組織造成的不同程度的生物傷害，而 ICRP 60 與 ICRP 103 分別是 1991 年與 2007 年所訂定的輻射加權因數。

等價劑量（HT）是人體組織的吸收劑量乘上輻射加權因數，以 $HT = D \times WR$ 表示，它已含有輻射對組織器官傷害的意義。



由於人體各組織器官對輻射的敏感度不同，因此雖各接受相同的等價劑量，但是造成的健康損失，也就是罹患癌症或不良遺傳的機率風險卻不同。

其使用單位是「西弗」(Sievert, Sv)， $1\text{ Sv} = 1\text{ J/kg} = 100\text{ R}$ 。

西弗是目前等效劑量的國際專用單位 (SI unit)，等同於 100 侖目，用以取代較早的單位侖目 (rem)。

有效劑量

由於人體各組織器官對輻射的敏感度不同，因此雖各接受相同的等價劑量，但是造成的健康損失，也就是罹患癌症或不良遺傳的機率風險卻不同。也就是說，不同的器官組織，照射相同的輻射量所造成的傷害不同。因此又訂出「組織加權因數」(WT) 代表各組織器官接受輻射對健康損失的機率，這值也是由 ICRP 訂定的。ICRP 曾在不同時間 (1977、1991 和 2007 年) 更新 WT 值，即 ICRP 26 (西元 1977 年)、ICRP 60 (1991 年) 和 ICRP 103 (西元 2007 年)。

HE 的定義是把各組織器官的等價劑量 (HT) 與加權因數的乘積再加以總和，表示為 $HE = \sum (HT \times WT)$ 。HE 代表全身的輻射劑量，用來評估輻射導致失去健康的風險，單位也是西弗 (Sv)。

在輻射防護學上，ICRP 對各種組織器官受放射性輻射的影響，提供了一個計算輻射劑量總和的概念，也就是上面所說的有效劑量。我們可以發現，不同年分中各種人體組織器官的 WT 值並不是一個固定的值，而是由 ICRP 成員在不同年分開會決定的。因此近幾年有不少有效劑量的議題，也討論有效劑量在放射診斷學中是否是一個有用的概念。

各組織器官的 WT 值

器官或組織	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103
生殖腺	0.25	0.20	0.08
紅骨髓	0.12	0.12	0.12
結腸		0.12	0.12
肺	0.12	0.12	0.12
胃		0.12	0.12
膀胱		0.05	0.04
乳腺	0.15	0.05	0.12
肝		0.05	0.04
食道		0.05	0.04
甲狀腺	0.03	0.05	0.04
皮膚		0.01	0.01
骨表面	0.03	0.01	0.01
腦			0.01
唾液腺			0.01
其他	0.30	0.05	0.12

資料來源：國際放射防護委員會

有效劑量是針對癌症發生率、癌症死亡率、壽命縮短和遺傳風險而訂定出的一個單一數字，做為衡量輻射損害的標準。但各種組織器官受輻射所產生的癌症發生率、死亡率、造成的壽命減短、遺傳的風險所占的比率，卻是根據 ICRP 成員主觀的決定而制定的，沒有客觀的標準。

以差異最大的生殖腺和乳腺的 WT 值來看，曾有學者指出在 1991 年到 2007 年，乳腺的 WT 值從 0.05 上升到 0.12，不是因為在這幾年中了解到輻射誘發乳癌的關係，而是因為在 2007 年 ICRP 委員會決定著重於癌症的發生率而不是癌症的死亡率，才會有所改變。

有效劑量的概念廣泛運用在幫助醫生及病患評估何種檢測技術與成像方式能夠有較低的輻射劑量，以達到風險較低的輻射防護。

根據研究顯示，不僅僅是組織器官，不同年齡、不同性別在相同的輻射照射下造成的風險也不同。但由 ICRP 訂定出的 WT 值是由不同年齡性別平均得到的，只有單一的數字可供參考，沒有辦法反映出個別患者的風險，因此許多學者認為需要進一步改進。

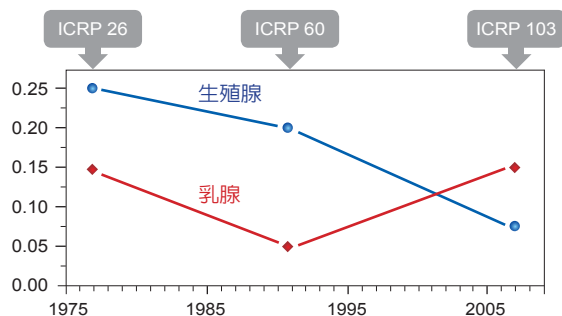
另外，在細節上，不管是中文名稱或英文名稱，有效劑量（effective dose）容易與等價劑量（equivalent dose）、吸收劑量（absorbed dose）混淆，也在很多文獻中統稱為劑量，容易產生誤解。而且有效劑量本意是衡量放射性損害風險的程度，卻採用單位（Sv），也不易被人理解。

有效風險

基於以上幾種原因，專家學者近年來提出了另一個衡量劑量風險的名詞，希望用來取代有效劑量，稱為「有效風險」。目的就是改善上述所說的問題，並且讓不管是醫療人員、從事放射性工作的人員，甚至一般的普通大眾，對劑量風險的了解能更有感覺，而不只是一個冰冷的數字而已。

所謂的有效風險，其實與有效劑量的計算方式差異不大，都是為了總結所有組織器官的劑量，不同的地方在於加權因數的部分。有效劑量的組織加權因數是由 ICRP 委員會所產生，而這邊提出的有效風險的加權因數，是根據實際流行病理學為基礎的癌症風險，消除了 ICRP 委員會的主觀影響。

R 的定義是 $R = \sum (HT \times RT)$ ，其中 HT 是在放射線照射下組織或器官（T）的等價劑量，與有效劑量公式中的 HT 相同。而 RT 代表不同年齡、不同性別，不同組織造成一生中癌症發生率的風險係數，單位是在



生殖腺與乳腺的組織加權因數在不同年分的變化（資料來源：David J. Brenner, Columbia University, New York）

0.1 mGy 的暴露量下，每 10 萬人會有多少人死亡。從定義式來看，有效風險的計算方式與有效劑量相同，因此在計算上相當容易。

雖然有效劑量有許多問題，但還是目前醫療上量化輻射劑量與互相溝通的重要標準。在患者接受 X 射線或放射性核素的診斷時，可針對可能會吸收多少輻射進行劑量的比較，因此有效劑量仍廣泛運用在幫助醫生及病患評估何種檢測技術與成像方式能夠有較低的輻射劑量，以達到風險較低的輻射防護。未來 ICRP 會不會參考有效風險的建議，有效劑量又會有什麼樣的變化，或是有更科學的計量方式，都是很有趣的課題。

楊界雄

交通大學光電學院影像與生醫光電研究所

曾千容

交通大學光電學院照明與能源光電研究所