

ICRP第103號新建議書概要

SUMMARY OF RECOMMENDATIONS
OF THE INTERNATIONAL
COMMISSION ON RADIOLOGICAL
PROTECTION

朱鐵吉

1

2007年3月由ICRP主委員會通過，但年底才正式出版。內容十分豐富的新建議書英文本長達332頁，共有八章正文(135頁)和兩個附件(184頁)，還有編者的話、目錄、序言、總概要、術語、總參考文獻等。

2

第一階段

- ICRP關於放射防護的基本建議，從早期沒有編號發展到順序連續編號的第1、6、9號出版物(1958、1964、1965年)時期，數十年均一直沿襲著“許可劑量”概念

3

第二階段

- 第二階段始於1977年，ICRP第26號出版物是放射防護指導思想的里程碑式革命，由實踐的正當化、防護的最適化和個人劑量限度構成的“劑量限制系統”淘汰了許可劑量的錯誤概念

4

ICRP建議書中的曝露分類與主要防護標準

建議年份	職業曝露	公眾曝露	醫療曝露	備註
1928*	X射線操作人員的工作條件沒有紀錄劑量	無建議	無建議	
1934*	耐受劑量 0.2 R d^{-1}	同上	同上	
1950*	最大許可劑量 0.3 R w^{-1}	同上	同上	
1954*	最大許可劑量 0.3 rem w^{-1}	最大許可劑量為職業人員的1/10	低至不影響治療	

5

1958 (第1號出版物)	輻射工作人員最大許可累積劑量 $D = 5(N-18)$ 最大許可劑量 $3 \text{ rem} / 13\text{w}$ 其他工作人員最大可劑量 1.5 rem a^{-1}	最大許可劑量 0.5 rem a^{-1}	性腺劑量低至不影響治療要求的最小值	首次提出孕婦及生育年齡婦女職業曝露 (1959年聲明)
1962 (第6號出版物)	同上	同上	同上	首次提出女性患者的曝露 (10日規則)
1965 (第9號出版物)	最大許可劑量 5 rem a^{-1}	劑量限度為職業人員的1/10	限制在不影響治療效果的最小劑量	

6

1977 (第 26 號 出版物)	有效等效劑量限度 50 mSv a ⁻¹	有效等效劑量限度 5 mSv a ⁻¹ *	實踐的正當化 防護的最適化	*主限度 1 mSv a ⁻¹ 附加限度 5 mSv a ⁻¹ (1985 年 巴黎聲明)
-------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------	--

*作為 ICRP 出版物發行之前，收錄於 Birt. J. Radiol.。 註：d:天，w:周，a:年

7

ICRP 60號對職業人員的劑量限度

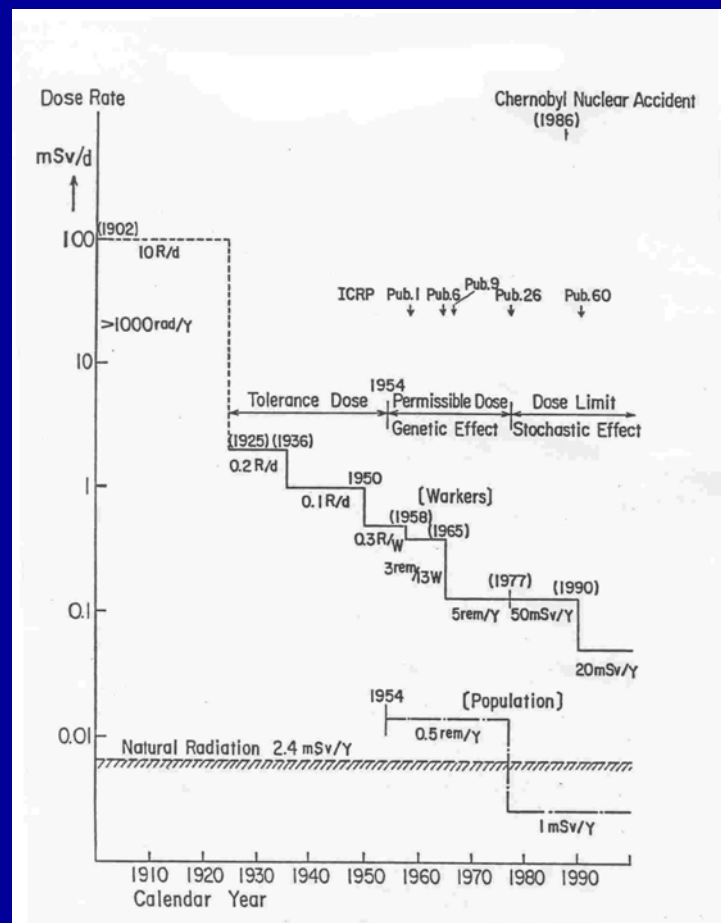
有效劑量	20 mSva ⁻¹ (5 年內的平均劑量)
水晶體的等價劑量	150 mSva ⁻¹
皮膚的等價劑量 (1cm ²)	500 mSva ⁻¹
手、足的等價劑量	500 mSva ⁻¹
孕婦腹部表面的等價劑量	2 mSv / 全孕期 (已知懷孕者)
孕婦的放射性物質的攝入量	1 / 20 ALI

註：ALI=annual limit on intake(年攝入限度)

8

ICRP 60號對一般人的劑量限度

有效劑量	1 mSva ⁻¹
水晶體的等價劑量	15 mSva ⁻¹
皮膚的等價劑量 (1cm ²)	50 mSva ⁻¹



劑量限度降2.5倍的原因

一、來自廣島、長崎原子彈爆炸倖存者的劑量和超額癌例數的變化

- 輻射致癌危險度估計值主要來自廣島、長崎約9萬名原子彈爆炸倖存者的追蹤調查，這項調查已進行了半個世紀。
- 劑量估算數的變化ICRP26號建議書確定輻射危險度是根據由美國橡樹嶺實驗室所做的劑量估計(T65D系統)。後來發現，對廣島原子彈爆炸中中子成分高估了，對室內 γ 劑量屏蔽低估了，這兩個因素都使原來的有效劑量值過高，即可導致單位劑量的致癌危險低估，因此要作劑量修正，新建議書採用修正了T65D的新劑量體系(DS 86劑量體系)。

11

- 超額實體癌症例數增加，ICRP26號建議書追蹤數據來自1950—1975年；新建議書追蹤數據增加到1985年，由於癌的潛伏期，在增加追蹤的11年裡，超額的實體癌由原來的136例增加到260例；超額的白血病由原來的70例增加到80例，這兩個因素，使輻射危險度估計值提高1倍。
- 對英國1.4萬個僵直性脊髓炎病人48年的追蹤調查，得到關於白血病危險度的評估也支持對原子彈爆炸倖存者調查的新估計。

12

二、採用的預測模式的改變

- 預測模式由相加模式改為相乘模式，也使危險度估計值提高，根據對人群調查期間(不是終生調查)的流行病調查結果，預測終生的平均危險度需採用一定的預測模式，它為癌的天然發生率隨年齡變化曲線有關。

13

- ICRP26號建議書採用相加模式，即超額癌年發生率與年齡無關，只與劑量有關；新建議書採用相乘模式，即超額癌年發生率與年齡有關，且與天然發生率成正比，它與流行發生率成正比，它與流行病學資料更符合。但由此預測的輻射危險比相加模式預估的要高約1倍。

14

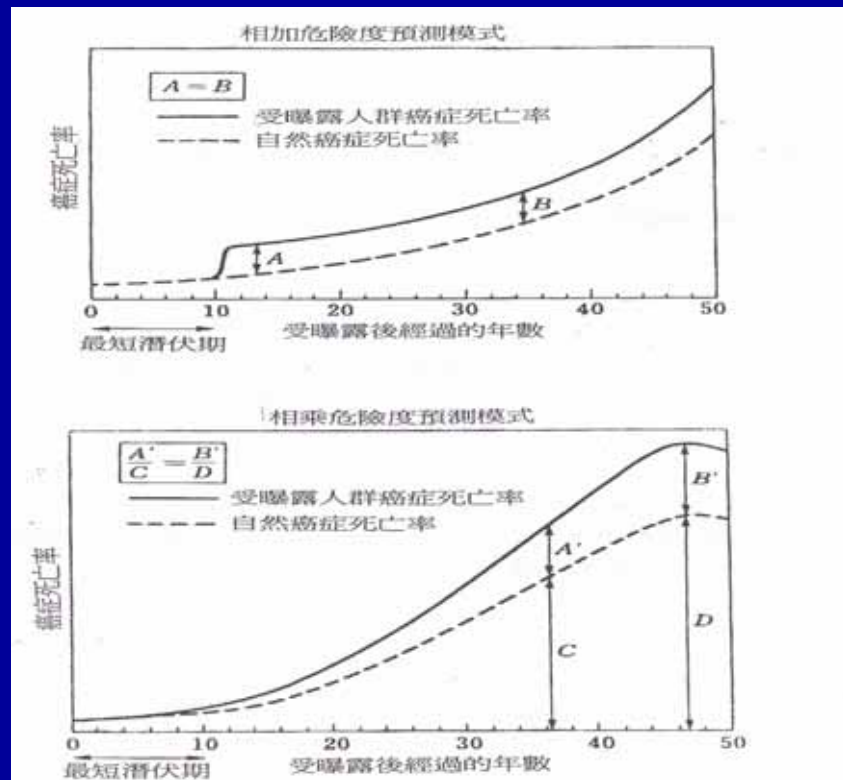


圖1 相乘危險度預測模式和相加危險度預測模式的差別（示意圖）

15

三、輻射“危險”一詞包含的內容有所變化

ICRP26號建議書中“危險”只包括全部致死性癌症和子孫兩代的嚴重遺傳損傷；而新建議書中危險含意包括：

- 全部致死性癌症
- 非致死性癌症，以一定的加權因數計入，平均為全部致死性癌症危險的20%
- 平均壽命損失，以一定的加權因數計入。因為不同年齡人患癌和癌的不同的潛伏期，導致的壽命損失是不同的
- 全部世代的嚴重遺傳損傷，不只是ICRP26號建議書中的子孫兩代的遺傳損傷，它使遺傳效應危險度加倍

16

四、由考慮年齡別的危險機率的加權平均值代替 以往的由平均年齡相應的危險機率

- 因為危險度是與受照年齡、性別有關的。過去在估計一個受照人群(職業人員18-64歲，公眾0-70歲)平均危險度時，採用該受照人群平均年齡相應的危險機率。

17

五、劑量與劑量率效能因數DDREF(Dose and Dose Rate Effectiveness Factor)取為2

- 由於以上原因，其中最主要的是廣島、長崎原子彈爆炸倖存者劑量、超額癌數據的變化和預測模式，由相乘模式代替原來的相加模式，使輻射危險度估計提高了1-2倍。

18

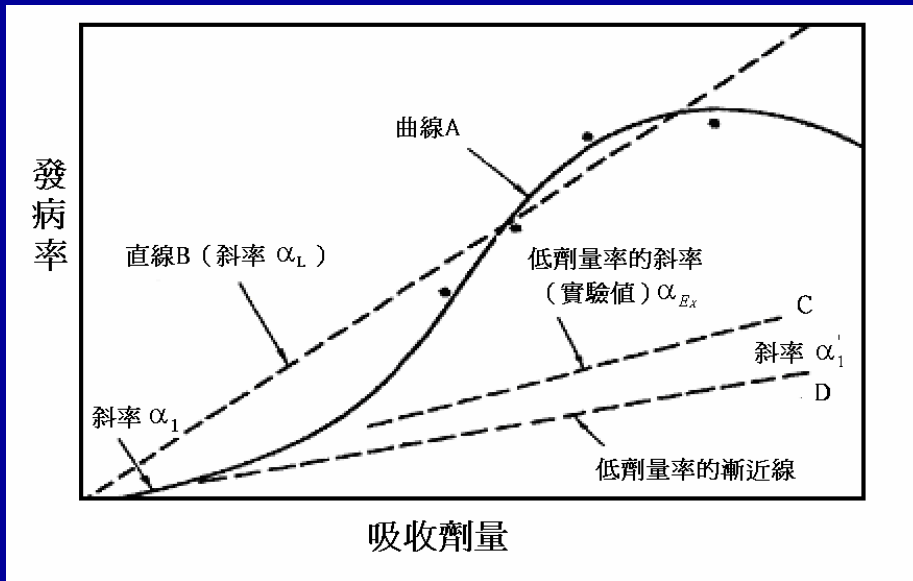


圖2 用於DDREF理論計算的劑量－回應關係示意圖

ICRP 26號建議書的輻射機率效應危險度估計值為 $1.65 \times 10^{-2} \text{Sv}^{-1}$ ，而建議書的估計值(表一)：

表一、 機率效應之機率係數

危害	成年工作者 (10^{-2}Sv^{-1})	整個人群 (10^{-2}Sv^{-1})
致死癌	4.0	5.0
非致死癌	0.8	1.0
嚴重遺傳 效應	0.8	1.3
總計	5.6	7.3

➤ 輻射的實際危險度(客觀值)沒有改變，而是隨著科學技術的發展、知識和資料的累積，我們對輻射危險度的認識—估計值發生了變化。從這個意義上講，單位劑量的輻射暴露所致終生危險，對職業曝露比過去認為的提高了約2.4倍($5.61.65 = 3.4$)。

第三階段

- 1991年，ICRP發表取代26號出版物的60號出版物，進一步充實和改善了放射防護三原則構成的“放射防護體系”

第四階段

- ICRP 2007年新建議書，對構成放射防護體系最關鍵的放射防護三原則沒有根本性變動；但採用區分計畫曝露狀況(Planned exposure situation)、緊急(Emergency)曝露狀況、現存(Existing)曝露狀況等三類涵蓋全部範疇的曝露，取代了原來放射防護體系基於實踐和干預的分類

23

- 這樣一來，放射防護三原則從以前基於活動過程轉向基於曝露狀況的防護方針，固然帶來了許多變化，儘管所用的防護量以及限度一樣，但已經發生了指導的原則和某些概念的改變

24

- 放射防護三原則的應用必須針對計畫、緊急、現存曝露狀況三類分別採取不同方法，還必須考慮針對不同曝露對象(職業、公眾、醫療曝露)的相互交錯

- 這次ICRP新建議書是更新、整合和發展了16年來的新知和累積的科學資料，在不斷完善和發展有關對“輻射源”的游離輻射曝露控制的指導原則上又有重要的新發展。並且關注到人類生存環境的放射防護問題

ICRP第103號出版物《ICRP 2007 建議書》內容：

第1章 引言(1.1委員會歷史，1.2委員會建議書的沿革，1.3本建議書的結構，1.4參考文獻)；

第2章 本建議書的目的和範圍(2.1本建議書的目的，2.2防護體系的基礎與結構，2.3本建議書的範圍，2.4排除和豁免，2.5參考文獻)；

27

第3章 放射防護的生物學方面(3.1誘發確定效應「有害組織反應」，3.2誘發機率效應，3.3誘發癌症以外的其他疾病，3.4胚胎與胎兒的輻射效應，3.5判斷和不確定性，3.6參考文獻)；

28

第4章 放射防護中使用的量(4.1引言，4.2健康影響的考慮，4.3劑量的量化，4.4曝露的評估，4.5不確定性和判斷，4.6參考文獻)；

第5章 人的放射防護體系(5.1源項的定義，5.2曝露狀況類型，5.3曝露的分類，5.4受曝露個人的分類，5.5輻射防護基準，5.6輻射防護原則，5.7正當化判斷，5.8防護最適化，5.9劑量約束和參考基準，5.10劑量限制，5.11參考文獻)；

第6章 委員會建議書的實施(6.1計畫曝露狀況，6.2緊急曝露狀況，6.3現存曝露狀況，6.4胚胎／胎兒在緊急狀況和現存曝露狀況下的防護，6.5放射防護標準的比較，6.6實際執行，6.7參考文獻)；

第7章 患者、慰問者與護理者以及生物醫學研究中志願者的醫療曝露(7.1醫療曝露程序的正當性，7.2醫療曝露防護的最適化，7.3醫療曝露的有效劑量，7.4懷孕患者的曝露，7.5體外射束治療和近距離治療中的事項防範，7.6放射性核種治療中慰問者與護理者的防護，7.7生物醫學研究中的志願者，7.8參考文獻)；

**第8章 環境輻射防護(8.1環境輻射防護目標，
8.2參考動物和植物，8.3參考文獻)；**
**附件A 游離輻射引起健康危險的生物學和流
行病學資料；**
附件B 放射防護中使用的量。

33

新建議書增加對環境問題關心的背景

- 1.國際放射防護委員會（ICRP）自創立以來，不斷地發表了關於**輻射防護**的理念、原則和架構的建議。
- 2.對上次的1990年建議書（ICRP第60號出版物）的修訂工作歷經了8年的努力，才得以出版如今的2007年新建議書。

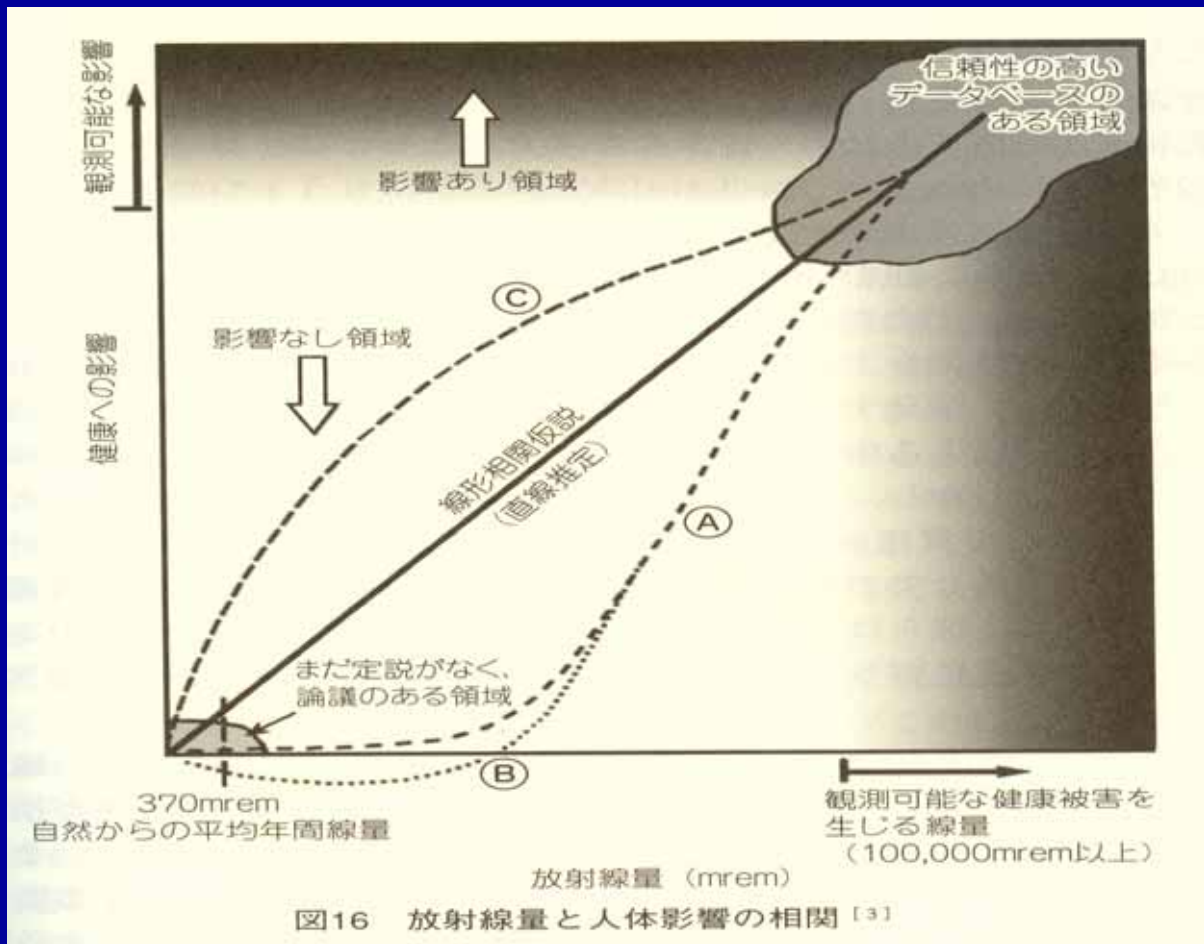
34

3. 在新建議書中，開始引入對環境（人類以外的生物物種）的輻射防護這一概念，並納入ICRP的主建議。強調與利益攸關者 (stakeholder) 的關係的必要性。
4. 認識到輻射防護體系沒有必要作根本性的改變，要重視變化的連續性，主建議應力求簡要。

35

5. 建議書的根本目的是，為對人類或環境受到輻射的有害作用加以適當的防護而做出貢獻。
6. 國際放射防護委員會以低劑量、低劑量率的輻射危險度的推算為基礎，在新的建議書中提出了線性無閾值模型（LNT: linear non-threshold theory）。其理由是如此模型的優點使危險評估和防護體系變得非常簡便。

36



7. 國際放射防護委員會曾將曝露分為三種類型，以便分別進行防護，這三類是職業曝露、公眾曝露和醫療曝露。
8. 新建議書中提出的新的概念是三種曝露狀況，即計畫曝露狀況(planned exposure situation)、緊急曝露狀況 (emergency exposure situation)和現存曝露狀況(existing exposure situation)。這三種狀況涵蓋了所有的曝露狀況，適用於各種輻射防護。

9. 患者在**診斷或治療**時會受到射線的曝露，在曝露過程中其曝露的劑量逐步在增加。爲了使患者在這種**診斷或治療**中得到最大的利益，對醫療曝露進行適當的管理是很重要的。
10. 從人類活動的多樣性來看，今天，對**環境的影響**是世界共同關心的事。在輻射防護領域也是這樣，要致力於研究除人類以外的環境。爲此，輻射防護方面已正式開始研究有關的環境問題。

39

第 1、2 章

新建議書提出的由來和目的

— 重視變化帶來的連貫性 —

40

一· 新建議書提出的由來

1. 1928年，國際放射學大會（International Congress of Radiology: ICR）上創立的國際X射線放射防護委員會於1950年重組，改爲現在的名稱。
2. 先後於1928年、1959年（ICRP第1號出版物）
3. 1964年（ICRP第6號出版物）
4. 1977年（ICRP第26號出版物）

41

5. 1991年（ICRP 1990年(ICRP60號)建議書）等綜合發表了建議書。在1990年的建議書之後，人們對建議書中提出的涉及30個課題的建議值，認爲有必要將複雜化的防護體系加以簡化。
6. 由Roger Clarke前委員長倡導，開始了修訂工作。針對社會的新動向，引入了“環境的輻射防護”概念，強調考量利益攸關者 (stakeholder)的必要性。

42

7. 本次修訂的一大特點是研究過程透明化。修改新建議書的各個環節都已在網上公布，蒐集各方面意見。2004年6月和2006年6月收到對公開的新建議書的意見約200—300條。主委員會討論了這些意見，必要的部分收納於本文。

二· 建議書的目的

1. 本建議書的首要目的是為對人類和環境受到輻射的有害影響進行適當防護做出貢獻。但是，其前提是不要對那些人類想做的、伴隨曝露的活動施加不必要的限制。為達成這個目的，不僅要基於輻射及其對健康影響的科學知識，還要考慮社會的和經濟的觀點，進行必要的價值判斷。

2. 輻射防護要對付兩種有害的效應：劑量超過閾值就會發生的效應是**確定效應**（**有害的組織反應**）；無論是大劑量還是小劑量的曝露後，經過長時間，以統計學檢查出效應發生的頻率增加的是**機率效應**（如癌症和遺傳效應）。

3. 對人類健康有害的效應的防護目的非常明確，**要避免引起確定效應**，**要努力把機率效應的危險控制在儘可能小的範圍內**。“**環境保護**”的定義依不同國家的狀況而異。國際放射防護委員會（**ICRP**）提議採用有代表性的動物物種和植物物種為防護的模式。

三·建議書的範圍

- 1.“**輻射曝露**”是受到輻射或放射性同位素曝露的過程“。**輻射源**”是曝露的來源，不一定意味著就是一種物理的輻射源。
- 2.建議書中涉及的對象有天然輻射源和人工輻射源引起的曝露，但前提是，不管該輻射源、或造成**個人受照的劑量途徑（pathway）**是什麼樣的，都要採用適當的手段加以控制。這種輻射源稱為“**可控制的輻射源（controllable sources）**”。

47

- 3.本建議書**不適用於那些不可控制的輻射源**。
4. 1990年的建議書中對增加劑量的“**實踐(practice)**”和減小劑量的“**干預(intervention)**”作了區分。
- 5.本建議書中劃分為三種狀況，即“**計畫的(planned)**”
“**緊急的(emergency)**”和“**現存的(existing)**”。
- 6.建議書中有**排除(exclusion)**和**豁免(exemption)**兩個概念。前者為不可限制的狀況，後者為不必限制的狀況。

48

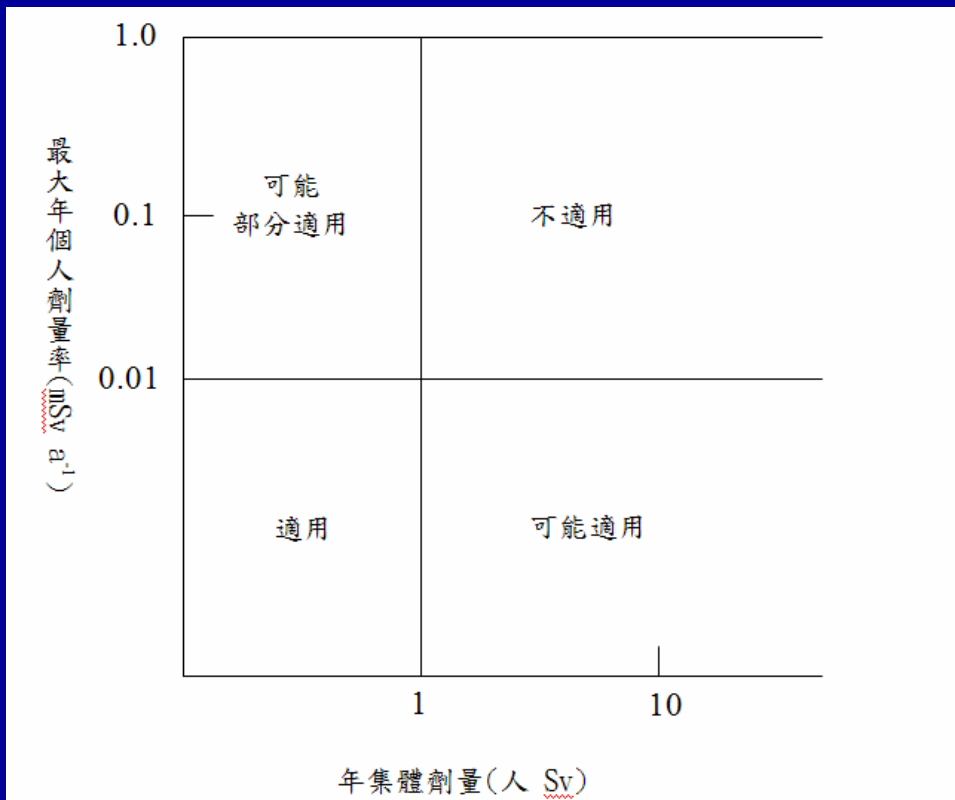


圖 9-1 由個人劑量與集體劑量來劃分豁免 (引自文獻^[11])

第 3 章

生物學方面

— 開始變化的輻射防護體系 —

前言

1.在生物學方面，1990年以來已查明的適應性反應、旁效應（bystander effect）*、染色體組的不穩定性等，還沒有在新建議書中對危險評估產生大的影響。除了遺傳危險外，確定效應的危險係數、或機率效應的危險係數都與過去沒有什麼不同。而且，如今同樣地，線性無閾值（LNT）模型在危險評估和防護中仍然處於重要地位。

51

- 旁效應：受到照射的細胞的附近，未被照射的細胞也顯示出與受照射細胞同樣的輻射回應，這種現象稱為旁效應（bystander effect）。

52

一．新建議書中對輻射防護體系的考量基於科學的輻射防護

- 1.在輻射防護工作中，必須對輻射危險進行評估。
- 2.在對公眾的防護中，低劑量、低劑量率的輻射有沒有效應還是個問題，尚未達到評估的程度。

53

- 3.必須用科學的方法進行評估預測。這一科學，要求以分子細胞層次來看輻射生物效應的分子機制，用此機制的動物模型加以驗證，再與人群的免疫學調查結果作比較研究。基於對這些訊息進行模型化，由此便得到在防護計算時必要的數據。

54

防護的科學和危險評估的科學

1. 基本是將年齡別或性別等作區別的危險度問題。
2. 成爲將年齡等作平均化的一般人群的危險度問題。
3. 名義危險係數只適用於對人群的防護而不適用於個人。

55

線性無閾值（LNT）的假說

1. 國際放射防護委員會（ICRP）的新建議書中，爲推算低劑量、低劑量率時的輻射危險所用的重要的線性無閾值模型（LNT模型）是根據至今還在採用的線性無閾值假說（LNT假說）。

56

2.其理由是，首要的優點是用這個模型則危險評估和防護體系變得非常簡便。其次是，至今還在用的所謂“DNA（去氧核糖核酸）損傷－突變－致癌”的致癌機制不必作大的修正。

3.但1990年以來大為特書的有：DNA（去氧核糖核酸）損傷中有不可能可以完全修復的簇形損傷；人類免疫學調查資料也沒有證據表明危險頻率落在低劑量區域的直線之外。這些生物學及免疫學的科學知識是支援線性無閾值模型（LNT模型）的理由。

概率論與防護的三原則

1. 國際放射防護委員會（ICRP）至今的判斷標準依然是三原則：即，**正當化**、**最適化**和**劑量限度**。線性無閾值模型（LNT模型）是由輻射的生物學知識產生的，但也要有與科學以外的判斷密切相關的功能。

59

二· 輻射引起的確定效應

1. 與以往相同，新建議書中也把輻射效應分為**確定效應**和**機率效應**。
2. 確定效應主要用於高劑量領域，有一定數量的**細胞失去組織功能**，但還沒有引起疾病。

60

3. 如果不超過殺害這一定數量以上細胞所需的閾劑量值就不會生病。但是，即使超過這個閾值，由於治療得當，也能抑制生病，不能斷言為“確定性的”。因此，建議採用比實體更正確的表達術語“組織反應 (tissue reaction)”。

4. 此外，也不能單純地區分確定效應和機率效應，確定效應有劑量閾值而機率效應沒有劑量閾值。隨著近年來的研究進展，認識到不能這樣簡單化。作為組織反應發生的白內障是在短的潛伏期內發病的類型，在1 Gy附近能看到明顯的閾值。

三· 輻射引起的機率效應癌症危險 及其基礎

1. 隨著1990年以來的研究進展，認識到一個細胞的去氧核糖核酸（DNA）損傷及其對細胞的回應對於輻射致癌有重要意義。

63

2. 國際放射防護委員會支持所謂“DNA損傷—突變—致癌”的paradimer。這一從DNA（去氧核糖核酸）損傷開始的致癌機制不難理解，但這意味著在理解低劑量時的致癌危險或相對生物效能（RBE：relative biological effectiveness）、輻射加權因數、劑量/劑量率效能因數（DDREF：dose and dose rate effectiveness factor）等方面是重要的。

64

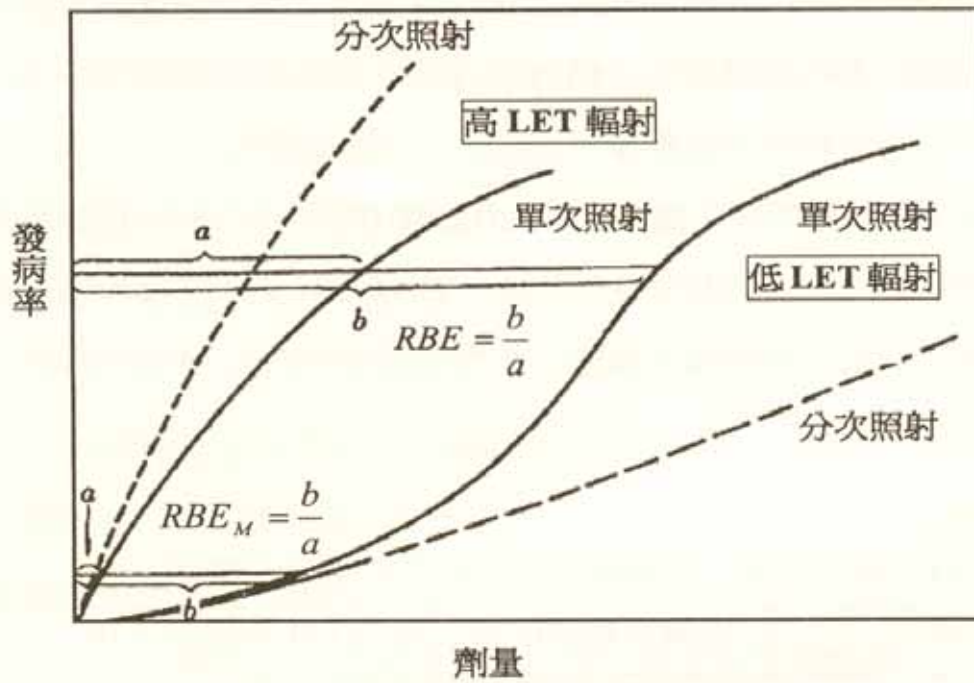


圖 10-1 由高 LET 輻射的劑量—回應關係計算 RBE 的示意圖

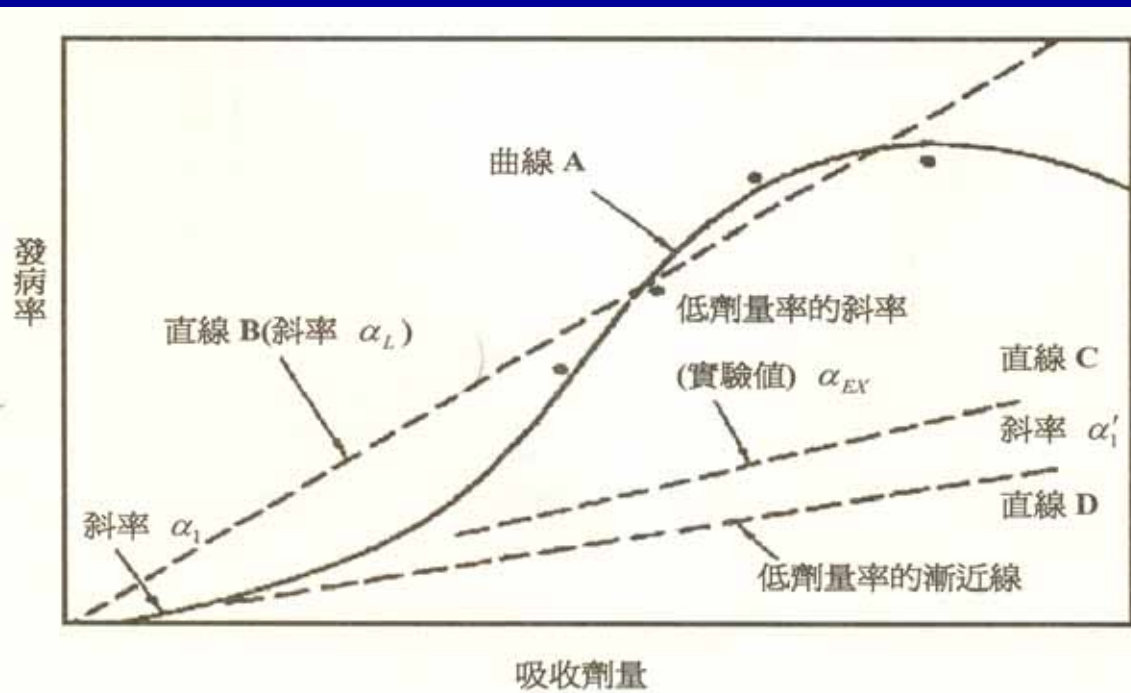


圖 10-2 用於 DDREF 理論計算的劑量—回應關係示意圖

3.基於致癌的DNA（去氧核糖核酸）損傷學說來考慮危險、特別是低劑量時的危險是很重要的。從1990年代開始，Goodhead等人就提出了簇形損傷的說法。無論是低LET（直線能量轉移）的輻射還是低劑量，在二次電子等的徑跡終端，都會形成很高的游離密度。

4.在DNA（去氧核糖核酸）上產生這種高密度的游離時，則在局部就會複製出多樣的損傷，也就是產生複雜的DNA（去氧核糖核酸）損傷（簇形損傷）。在這種損傷中，DNA（去氧核糖核酸）雙鏈的雙向排列資訊就可能失去，得不到完全修復，難以避免致死或突變。這就是線性無閾值（LNT）模型正當性的理論根據。

5. 國際放射防護委員會（ICRP）判斷線性無閾值（LNT）模型在科學上是有理的，是輻射防護的基礎。ICRP也理解低劑量危險的不確切性，希望不要濫用線性無閾值（LNT）模型。

6. 集體劑量或累積劑量的概念是物理上由生物效應的線性導出的。因此如果用**集體劑量**，即使是很低的低劑量/低劑量率，人群的樣本如果大，也能計算出癌症或遺傳效應的數據。實際上，這種方法預測了車諾比爾事故死亡的數據，引起了世人的議論。但ICRP應當管理控制這種計算。

7. 1990年代以來已瞭解適應性反應、染色體組的不穩定性、旁效應，還瞭解低劑量下的輻射高耐受性等輻射的非靶效應。這些都是表示低劑量危險比預測的低或高的證據，在發現的當初就引起了很大的議論。

8. 新建議基於癌的發病率，算出了危險係數，數然後對組織加權因數進行了修訂。關於劑量與劑量率效能因數（DDREF），BEIR VII 根據統計分析，幅度在1.1至2.3，推薦1.5，國際放射防護委員會（ICRP）一直採用2。

遺傳效應

1. 至今尚無因輻射而使人群中遺傳病患者增加的數據。但由動物實驗可以見到這種效應，因此國際放射防護委員會（ICRP）將遺傳效應作為防護的對象。
2. 在新建議書中，遺傳危險度的推算主要是對歷來採用的倍增劑量(doubling dose)法增加了兩點更動。

73

3. 第一點更動是關於是否將發生突變的過程作為倖存兒童的出生查出，即可恢復性(recoverability)的修正，用潛在可恢復性校正因數(PRCF: potential recoverability correction factor)。多個化學變異源誘發的是小的突變（點突變），而輻射誘發的突變多為橫跨多個基因的大缺失。

74

4. 第二點更動是用於**倍增劑量**計算的基礎數據的選擇。以往是在小鼠的特定基因位點（第7基因位點為指標）上用**自然突變頻率**和**誘發突變頻率**計算**倍增劑量**。但自1990年以後，由於實際求出了人類的自然突變頻率，此值比小鼠的自然突變頻率有很大不同，由此可知，人類和小鼠不能同樣比較。

5. 新建議書中遺傳危險度的推算與2001年聯合國輻射效應科學委員會(UNSCEAR)的報告相同，用人類的數據推算**自然突變頻率**，用小鼠的數據推算**誘發突變頻率**，由這兩者計算的**倍增劑量**大致為**1Gy**，與以往的值相同。

6.以往推算遺傳危險度時，是從人群中誘發和選擇兩方面直至達到平衡的世代來考慮，而現在推算時只考慮到受輻射曝露後的第二代。基於這種種考察而得的遺傳危險每1 Sv為0.2 %，比ICRP第60號出版物給的值小很多。

四·非癌效應與胎兒效應

- 1.1990年代以來認清了輻射的非癌效應。由受曝露者的資料和癌症治療患者的資料表明，輻射能使心臟病、血管梗塞、消化器官疾病、呼吸器官疾病等的發病頻率上升。
- 2.但是，尚不明瞭關於這些危險的劑量效應關係。還沒有證據認為其劑量是在100 mSv以下。因此，ICRP在新建議書中沒有將非癌效應的危險度納入防護體系。

3.關於胎體內的曝露，ICRP第90號出版物中有詳細的論述。其中講到，100 mSv的劑量引起著床前胎兒死亡的狀況很少。

關於胎兒期受曝露引起畸形，動物實驗認為100 mSv是個閾值；人類的小頭症的閾值是300 mSv；精神遲鈍的劑量大約在100 mSv以下。

此外，胎兒期受曝露的癌危險與幼兒期受曝露的被判斷為同等程度。

79

五·不確切性問題

1.以危險係數為例來看，新建議書中的附件A第1個欄中列出了所收集的危險係數，其中有許多部分都帶有相當大膽的假設。

2.例如，危險轉移（risk transfer）的問題，用於防護的危險係數應當是全世界通用的，但是原始數值是來自日本的受照者的免疫學數據。由此推廣到包括歐、美人在內的其他人群，就是非常大膽的做法。

80

3.首先是日本人群的危險係數的計算，包括了相對危險模型和絕對危險模型。但爲了推廣到其他人群，在採用這兩種模型計算多種癌的貢獻時，是取其算術平均值作爲特定癌的危險係數。

4.例如來自骨髓的癌，絕對危險模型的貢獻爲100 %；對甲狀腺和皮膚，相對危險模型的貢獻爲100 %；對肺，前者（絕對危險模型的貢獻）和後者（相對危險模型的貢獻）分別爲30 %和70 %；對其他部位爲50% 和50 %。

這表明，這樣得來的危險係數的數值範圍很寬。又如胃癌的危險，在日本高、而在歐、美低，兩者相差12倍，單單用算術平均如何能定得確切？可見危險係數有不確切之處。

5.線性無閾值（LNT）模型成爲現行防護體系的基礎，關於這一點，從以前討論的致癌機制來看，在科學上其可能性是高的。如果線性無閾值（LNT）模型是絕對科學的，那麼用集體劑量或累積劑量進行危險計算就是正當化的。

6.但是，新建議書中對於受極低劑量/劑量率曝露的大人群來說，認爲不能單純地這樣計算出危險度。這表明ICRP本身已認識到線性無閾值（LNT）模型的不確切性。

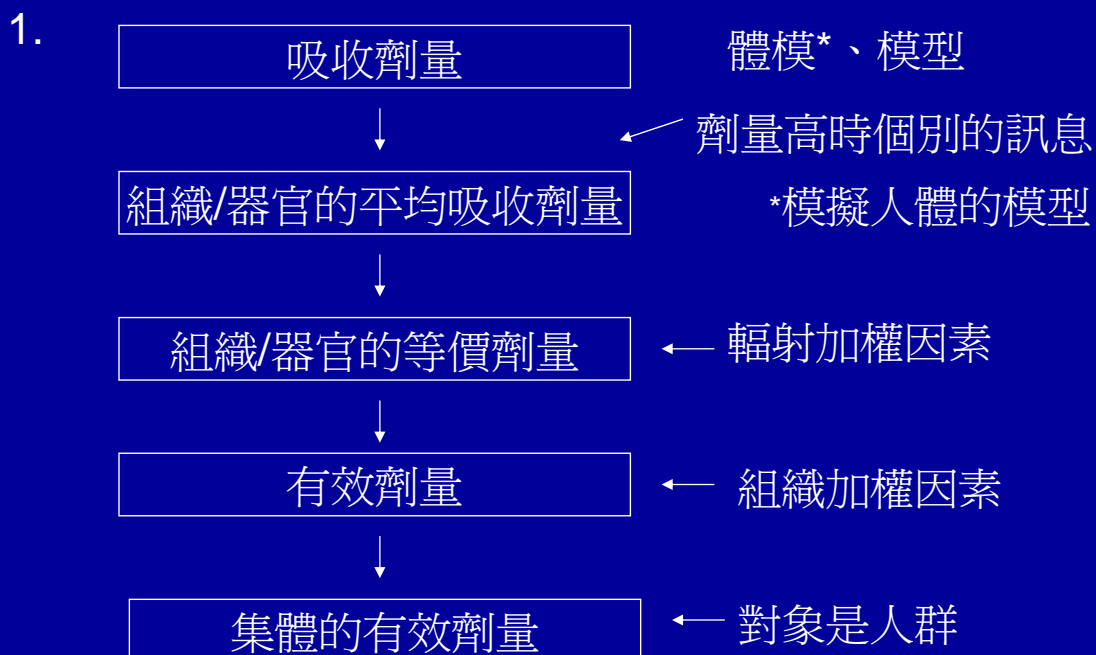
第 4 章

防護中使用的劑量

— 按適用範圍明確地說明 —

85

一 · 劑量有關量的要點



輻射防護中用的劑量有關量的體系

86

2.在輻射防護的實踐中，計算的劑量有關量應有如下特點：

- 是單個的量
- 能表現總的曝露
- 機率效應和發生概率有一定的關係
- 適用於各種輻射
- 適用於急性曝露和慢性曝露
- 適用於體內曝露和體外曝露

87

3.但是，即便科學地嚴密思考，怎麼也不能滿足這麼多的要求。

例如，關於對粒子徑跡的三維結構和DNA層次的損傷的關聯進行的解釋，誰也未能找出合適的方法將其內容編入滿足上述要點的劑量有關量的架構內。因此，沒有考慮到所謂微劑量學*。

88

4.關於等價劑量和有效劑量的適用範圍，首先應當確認，這些量都是與**機率效應**共同有關聯的劑量有關量。在關於組織反應（確定效應）的評估或處理的定義中，不能使用這些量的時候，應當使用以吸收劑量、或合適的相對生物效能（**RBE**）加權後的值。

二·有效劑量的使用目的

- 1.新建議書中對有效劑量的使用目的有如下明確的論述：
 - 爲了計畫階段及防護的最適化的事前劑量評估。
 - 爲了劑量限度的整合性的證明、或劑量約束值與各種參考水準的比較的事後劑量評估。

2.將有效劑量作為安全規則的基礎使用時，人們的身體或器官的質量（重量）、放射性物質在體內的動態等，本是因人而異的參數，不能事先設定一個標準值。此外，各種場合的曝露狀況或攝入的放射性物質的性狀也是無限多個的，因此有必要做有限項目的分類。

3.國際放射防護委員會（ICRP）不推薦在輻射危險免疫學研究中使用有效劑量。這是因為，在有效劑量評估中使用的組織加權因數是假設主要以免疫學數據為基礎的。假如根據這種假設使有效劑量的概念適用於免疫學研究，便將成爲一種循環論證。在輻射危險免疫學研究中，應當對可能適用的器官和組織的劑量進行評估。

表 A-1 輻射防護中使用的基本量

吸收劑量 <i>D</i> : absorbed dose	每單位質量中吸收的能量	J/kg	Gy
等價劑量 <i>H</i> : equivalent dose	加權後的吸收劑量 $H_T = \sum W_R D_{T,R}$	J/kg	Sv
有效劑量 <i>E</i> : effective dose	加權後的等價劑量（雙重加權後的吸收劑量） $E = \sum H_T \sum W_R D_{T,R} = \sum H_T W_T$	J/kg	Sv

93

三·技術面的變更

1. 新建議書在技術面做了如下的變更：

組織加權因數的修訂；

輻射加權因數的修訂；

用於劑量換算係數導出的數學體模的定義；

男性和女性的平均化。

94

2. 新的組織加權因數是基於原子彈爆炸受照倖存者、國際放射防護委員會1990年建議書以來的追蹤調查、其他受照人群的追蹤調查、國際癌死亡統計數據庫及對遺傳效應的新評估結果而定的。

表 A-3 組織加權因數 (W_T)

W_T	0.2	0.12	0.05	0.01
器官和組織	性腺	結腸 肺 紅骨髓 胃	膀胱 乳腺 肝 食道 甲狀腺 其餘器官和組織	骨表面 皮膚

腦和唾液腺平均分配0.01；乳房和“其餘組織和器官”一共從0.05增至0.12；性腺從0.20降至0.08。(ICRP 103號)

3.許多組織和器官的組織加權因數都變了，主要是：腦和唾液腺平均分配0.01；乳房和“其餘組織和器官”一共從0.05增至0.12；性腺從0.20降至0.08。

新的和以前的組織加權因數，大致對全年齡的兩性都適用。

97

表 A-2 輻射加權因數 (W_R)¹⁾

光子	各種能量	1
電子， μ 介子	各種能量 ²⁾	1
中子	能量 < 10 keV	5
	10 keV ~ 100 keV	10
	100 keV ~ 2 MeV	20
	2 MeV ~ 20 MeV	10
	20 MeV	5
質子（不包括回跳質子）	> 2 MeV	5
α 粒子，分裂碎片，重核		20

1) 體外曝露：適用於入射到人體的輻射。

體內曝露：適用於由體內射源發出的輻射。

2) 不包括結合在 DNA 內的原子發射的氡子。

質子從5降至2；帶電的 μ 介子的新值為2； α 粒子、分裂碎片、重粒子與1990年建議的值20一樣。(ICRP 103號報告)

98

4. 新的輻射加權因數收集如下：全部能量範圍的光子、電子、 μ 子與1990年建議的值相同；質子從5降至2；帶電的 π 介子的新值為2； α 粒子、分裂碎片、重粒子與1990年建議的值20一樣。至於中子，在低能區和100 MeV以上者比ICRP 1990年建議的值低、並與中子能量呈連續函數關係。

5. 低能X射線和鈷-60的 γ 射線都是光子，但在細胞培養水準，X射線的效應更大。

6. 可是兩者的輻射加權因數相同，其理由如下：用低能X射線和用鈷-60的 γ 射線對動物做的實驗數據，沒有看到兩者的效應有什麼大的差別。兩者的免疫學數據的差別在測量精度之內。

7.關於質子，輻射防護中對有效劑量的貢獻必須重視的、只是那些從體外入射的高能質子。

8.例如，10 MeV的質子在水中的射程為1.2 μm 左右、在皮膚表面附近就停下來了，對有效劑量的貢獻不大。在新建議書中，這種高能質子的輻射加權因數取2比取5更合適。

101

9.其理由如下所述。目前由動物實驗得到的質子的RBE大概在1和2之間。射質因數Q和直線能量轉移L之間的所謂Q-L關係式適用的100 MeV的質子的Q值約為1.2。

10.由1 GeV的超高能質子誘發的二次帶電粒子的Q-L關係式導出的射質因數比5小得多，按1.8左右計算。

102

11.關於 α 粒子有一些免疫學數據，但限於用作輻射加權因數的研究。其中，對肺癌和肝癌，相對生物效能（RBE）值在10和20之間，對骨癌和白血病則比這個數低。動物實驗資料為10，比這個值大。無論哪個值，對劑量評估模型其依存性都大。

12.若Q—L關係式適用於6 MeV的 α 粒子，Q為20。以上的最新數據和研究不一定積極支援輻射加權因數的變更。可以認為，維持ICRP1990年建議的值20是合適的。

13. ICRP 1990年建議書中，給出的輻射加權因數與中子能量的關係式為分段式函數。在新建議書中，從容易計算的實用觀點出發，改為連續函數。

1 MeV以下的中子，其二次輻射中直線能量轉移（LET）高的輻射成分的RBE值為25

14. 國際放射防護委員會（ICRP）長年使用的所謂MIRD體模是作為基本的數學體模。這個體模在1970年前後作成，當時的電腦的性能對表現實際的人體的真實性受到限制。

15.現在，用各邊長為微米級的、稱為小室（box cell）的長方體集合來表現人體，所謂小室體模是由許多原始的CT數據等設計的。即使ICRP使用了這樣新確立的技術，也還是決定採用小室體模對體內和體外輻射源的劑量換算係數進行計算和整合。

16.國際放射防護委員會（ICRP）採用的策略，首先是定義參考人，其次從現存的小室體模中選擇比較接近參考人的體模，小室體模的優點是有可伸縮性，可以升級或降級，使其與參考人一致。這種修訂的具體工作由德國的輻射環境研究所負責。

17. 新建議書中指出了男、女平均的方法。首先，以男、女各自的小室體模計算出各組織和器官的等價劑量。將男、女的值求平均，取此值作為各組織和器官的等價劑量。然後乘上各組織和器官的組織加權因數並合計之。規定的前面所述的組織加權因數，適用於全年齡的男人和女人。

18. 國際放射防護委員會（ICRP）第二專門委員會正在準備基於最新模型的劑量換算係數，和用於個人監測的解釋的資料，預計將在一兩年之內發表。這些模型等將由國際放射防護委員會（ICRP）定期重估，採用科學的新的數據或訊息逐步得到合適的修訂。

- 新建議書關於體外曝露和體內曝露的劑量計算，使用基於人體醫學斷層影像而建立的參考計算體模(如男性、女性三維的體素模型)，取代過去使用的各種不同數學模型(諸如MIRD體模，以及特定性別或者特定年齡的模型)。對於成年人，等價劑量將使用由男性和女性體模所得到的按性別平均數據進行計算。有效劑量的計算將使用新修訂經年齡和性別平均的組織加權因數。顯然有效劑量的計算是對“參考人”而非個體。

- 新建議書關於體外曝露和體內曝露的劑量計算，使用基於人體醫學斷層影像而建立的參考計算人體模型(如男性、女性三D的人體模型)，取代過去使用的各種不同數學模型(諸如MIRD人體模型，以及特定性別或者特定年齡的人體模型)。

- 對於成年人，等價劑量將使用由男性和女性人體模型所得到的按性別平均數據進行計算。有效劑量的計算將使用新修訂經年齡和性別平均的組織加權因數。顯然有效劑量的計算是對“參考人”而非個體。

113

第 5、6 章

人類防護的架構及其實踐

—“正當化”和“防護的最適化”基本原則—

114

一·考慮人類的輻射防護時的基本概念

(1) 曝露的事象與狀況的網絡

- ① 考慮人類的曝露時，來自輻射源的輻射或放射性物質經環境中的種種途徑到曝露的過程稱為“曝露事象與狀況的網絡”（事象指事情，現象）。這樣領會曝露是爲了對各種曝露途徑實施防護。各曝露途徑的防護要以曝露與健康效應的比例關係（LNT模型）爲前提，故可獨立操作。

115

(2) 曝露的分類

國際放射防護委員會（ICRP）對曝露進行分類以便獨立防護操作。在新建議書中仍繼續採用如下三種曝露的分類：

- 職業曝露
- 公眾曝露
- 醫療曝露（作爲患者受到的曝露）

116

(3) 與輻射源相關的手段和與個人相關的手段

- ① 與輻射源相關的手段關心的是一個輻射源，是評估人所受的劑量和考慮防護對策。
- ② 與個人相關的手段關心的是某個人，是使此人受到曝露的輻射源為對象，以評估劑量作為防護的對象。

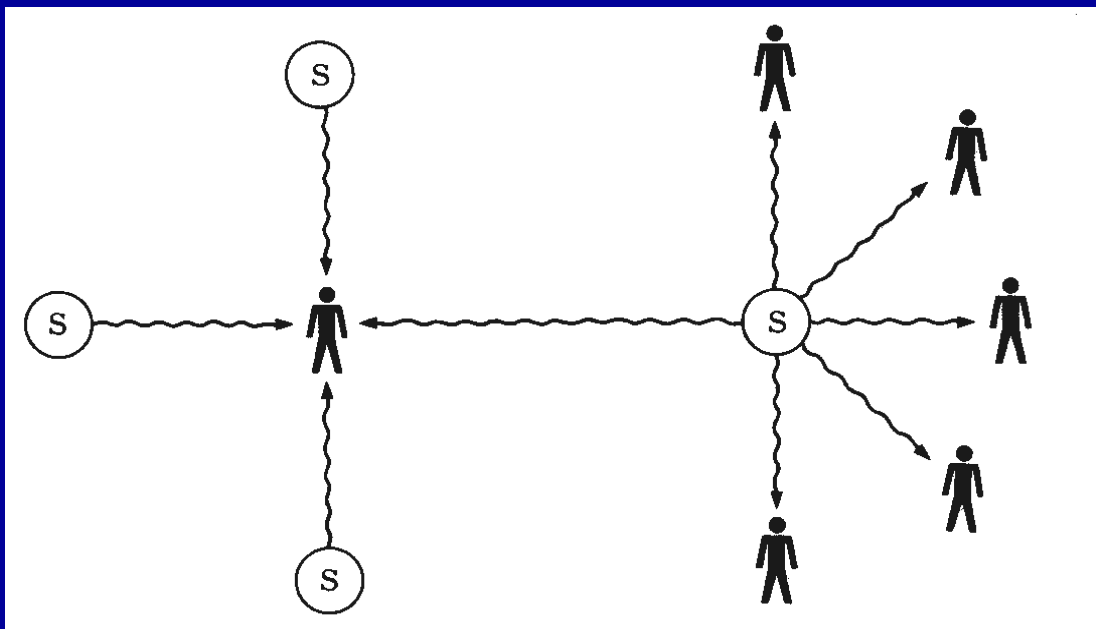
117

(4) 三種曝露狀況

- ①
 - 計畫曝露狀況
 - 緊急曝露狀況
 - 現存曝露狀況
- ② 國際放射防護委員會（ICRP）建議書中輻射防護體系就包含了事故輻射和天然輻射。將新產生曝露的人類活動稱為“實踐”，將為減小來自已經存在的曝露事象與狀況的網路的曝露活動稱為“干預”。

118

- ③ 實踐帶來曝露的狀況、有計畫地實施可預測曝露的人類活動，能夠引入輻射防護方案。
- ④ 新建議書中把這種曝露狀況稱為“計畫曝露狀況（planned exposure situation）”。



個人相關的評估 射源相關的評估
圖1-1. 射源相關的評估和個人相關的評估的特點(註：
S=source)

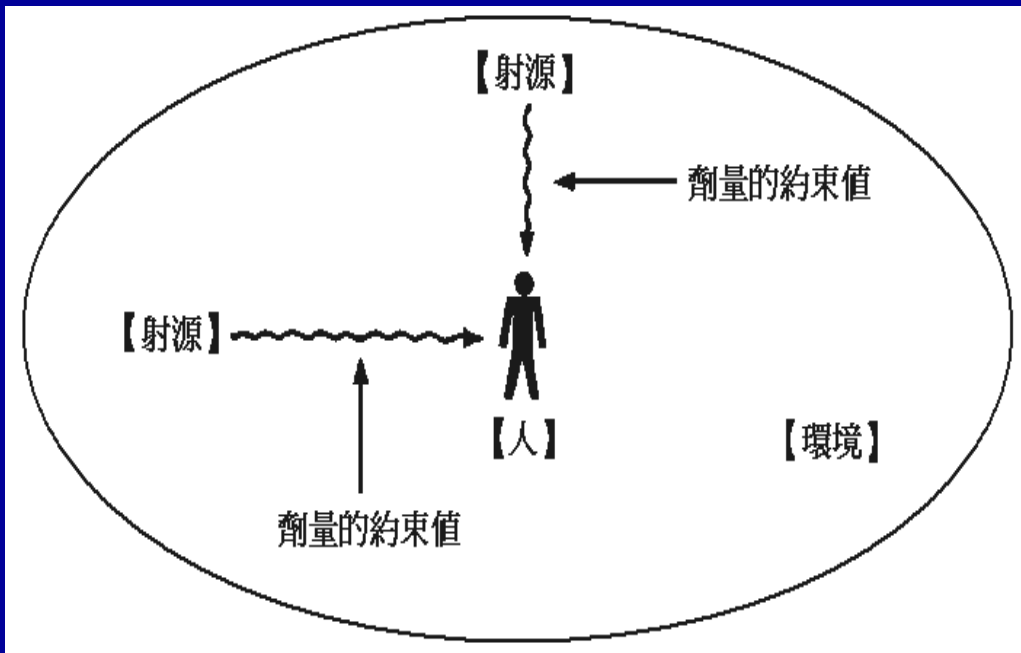


圖3-1 曝露網絡與劑量約束值

(在職業工作人員的狀況下，圖中的“輻射源”改為“職業種類”，
“環境”改為“工作環境”)

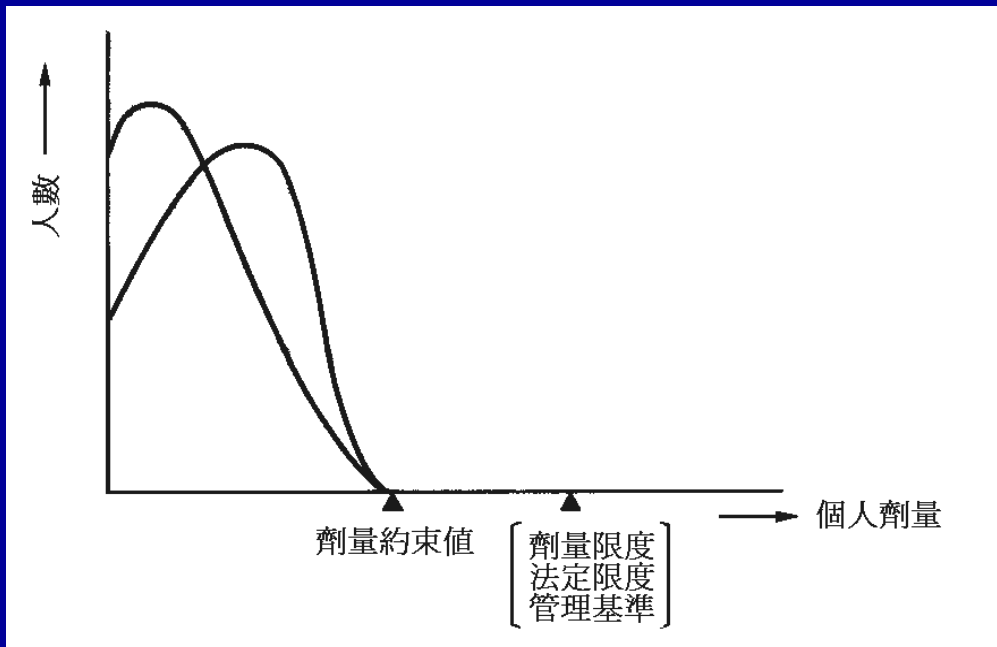


圖3-2 輻射防護最適化時的個人劑量分布
(有時劑量限度與劑量約束值相同)

劑量約束值僅是判斷防護最適化的限制條件，不能由於設定了劑量約束值就省略了防護的最適化。

- ⑤ 由事故、天然輻射和放射性物質引起的曝露的事象與狀況的網路已存在時，由於干預可以減少曝露。不可預測的事態、或事故時的曝露狀況稱為“緊急曝露狀況（Emergency exposure situation）”

- ⑥ 事故中產生污染、在事故後經相當時間產生的曝露、由天然輻射和放射性物質引起的曝露等帶來的曝露狀況，因在決定輻射防護方案時曝露的事象與狀況的網路已存在，就稱為“現存曝露狀況（Existing exposure situation）”。

- ⑦ 這三種曝露狀況是“實踐”，和“干預”中置換的新概念。三種曝露狀況是覆蓋全部曝露的，是明確能適用於任何輻射防護的。

二· 人類的輻射防護架構

1. 輻射防護的原則

(1) 正當化的原則

正當化的原則要求：因引入的活動而產生新的曝露時，活動帶來的利益應大於曝露帶來的損害。容易理解的例子是，通過放射診斷發現疾病，因而得到好處，如果這種利益超過曝露產生的機率效應的危險，這一醫療曝露就是正當化的。

- 正當化原則必須確保任何擬決定要改變輻射曝露輻射曝露狀況時，應盡力做到更多的“利大於弊”

127

② 國際放射防護委員會（ICRP）考量如下事例都不是正當化的曝露：

- 故意往食品、飲料水、化妝品、玩具、寶石等中添加放射活化物質或使其活化。
- 於個人無益的放射檢查、或爲了職業上、保險上或法律上的目的而實施的放射檢查。
- 對人群實施醫療篩查時，對個人或人群不管有沒有利益，但因放射損傷、增加經濟的和社會的費用而沒有足夠利益的檢查。

128

(2)防護的最適化原則

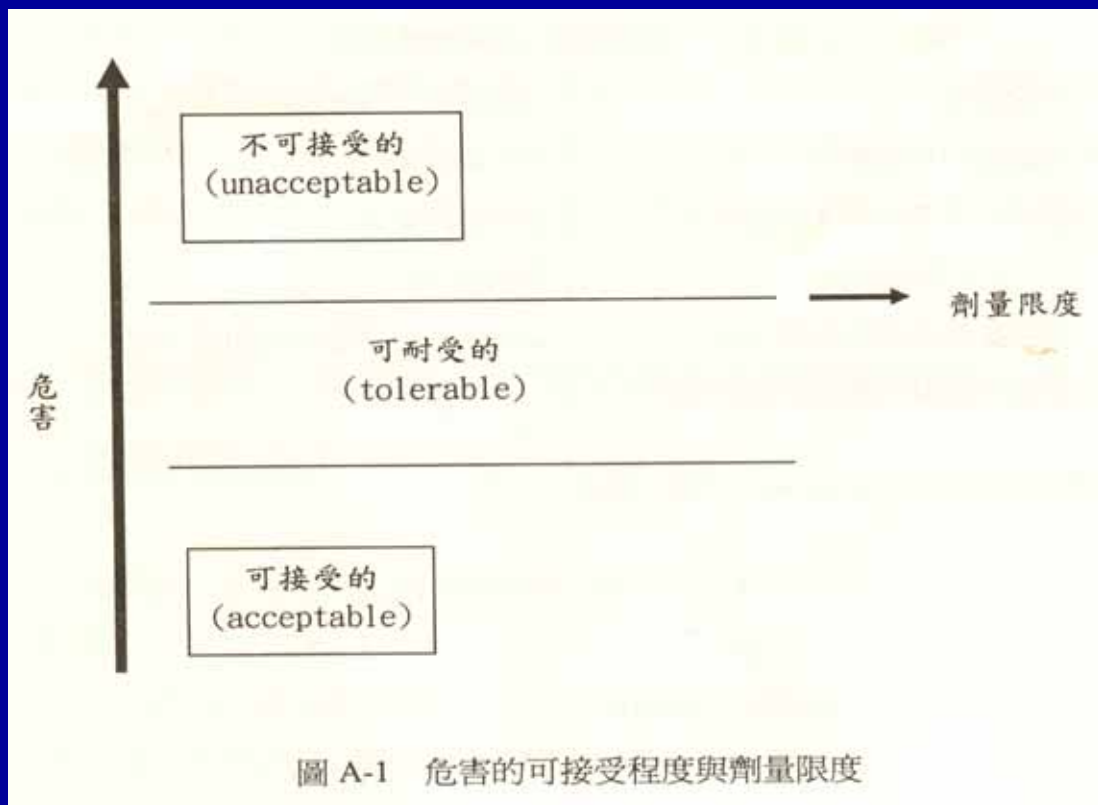
- ① 防護的最適化原則要求：產生曝露的可能性、受照人數、或曝露的劑量，在考慮經濟的和社會的要素之後，要合理地達到儘可能低。
- ② 防護的最適化原則是輻射防護上、實施正當化的曝露時必要採用的原則。

129

“防護最適化”是：與正當化的實踐相關聯的某特定輻射源引起的個人曝露的劑量，受曝的人數以及曝露的可能性（潛在曝露）在考慮了經濟的、和社會的諸因素之後，應當保持在可以合理做到的儘量低的程度。在這種情況下，個人劑量不應當超過劑量約束值

130

- ③ 這個原則是假設，在劑量和健康危險之間沒有閾值的直線關係而存在的。但有時，容易被誤解為曝露的最小化。
- ④ 防護的最適化，是從確定的幾種可供選擇的防護對策中、實施在所處狀況下最適合的那種選擇。



劑量限度是一個設定的劑量（或危險度）值的上界值，用以確保在正當狀態下個人受到的來自所有輻射源的總曝露或危險度（適於潛在曝露，即考慮到曝露的可能性以及曝露的影響）不會達到不可接受的程度

- ⑤ 在計畫曝露的狀況，最適化的上限值是劑量約束值。
- ⑥ 而在緊急曝露狀況和現存曝露狀況，最適化的目標值為參考水準。

(3)劑量限度

- ① 劑量限度是只適用於計畫曝露狀況的與個人相關的原則。但是，劑量限度是對職業曝露和公眾曝露所採取的限值，不適用於醫療曝露。
- ② 劑量限度，除醫療曝露外，只適用於計畫曝露的狀況，其數值在歷來的建議中一直沒有變。對組織的劑量限度用等價劑量。

135

三·劑量約束值和參考水準

- 1.劑量約束值和參考水準適用於對輻射源相關的個人的防護。在ICRP 1990年的建議書中，適用於計畫曝露狀況的劑量約束值，是由於實施最適化時對個人防護不一定公平而引入的概念。

136

2.例如，在核電廠要對發電的利益和伴隨曝露帶來的負面影響進行最適化時，享受利益的是社會的全體公眾，而輻射曝露對健康造成的危險則限於該核電廠周邊的居民。爲了減小社會全體公眾和周邊居民之間的不公平感，就引入了劑量約束值。

表 3-2 公眾曝露的劑量約束值示例

輻射源	劑量約束值
核能、輻射設施	0.5 <u>mSv a⁻¹</u>
技術進步造成的天然背景及輻射商品	0.2 <u>mSv a⁻¹</u>
將來預測部分	0.3 <u>mSv a⁻¹</u>

表 劑量約束值和參考水準的架構

劑量範圍 (mSv) 1)	曝露狀況的特徵	輻射防護的要點	舉例說明
20—100	來自不可控輻射源的曝露或減小劑量的對策不平衡、難進行的狀況	<ul style="list-style-type: none"> · 要減小劑量 · 要提供降低個人危險的措施的情報 · 要做個人劑量評估 	緊急時的參考水準
1—20	對個人有直接利益，對曝露本身不限。控制輻射源或控制曝露路徑	<ul style="list-style-type: none"> · 需要減小劑量時，給個人提供一般情報 · 計畫曝露狀況下，實施個人監測 	<ul style="list-style-type: none"> · 計畫曝露狀況下的職業曝露的約束值 · 服用放射性藥劑的患者或照料人和護理人的約束值 · 室內氡的參考水準
1以下	對個人幾乎無益，但對社會全體有益。事前可有計畫地控制輻射源	<ul style="list-style-type: none"> · 提供曝露水準的情報 · 按曝露水準，定期確認曝露路徑 	<ul style="list-style-type: none"> · 計畫曝露狀況下的公眾曝露的約束值

1)急性曝露或年劑量

2)例外：為救命或防止惡化的狀況，志願工作者提供必要的情報中，有時超過上述範圍的曝露。

139

四．人類的輻射防護的實施

- 1.計畫曝露時，劑量約束值是在輻射防護的計畫階段、應當與預測的劑量比較的量，比較的結果，實際的曝露即使超過約束值，在法規上也不要緊。在法規上劑量約束值和劑量限度是明顯不同的兩種概念。

140

2.即使在緊急曝露狀況或現存曝露狀況，為降低有關的輻射工作者受到的曝露，如果曝露處於可控制的狀態，可以作為計畫曝露狀況來處理。

3.關於計畫曝露狀況中的公眾曝露，最適化中個人的公平性受到重視，為使公眾的防護上的“個人”更明確，作為新建議書的相關出版物的ICRP第101號出版物中，提出了**代表人（representative person）**的新概念。**代表人**表示的是假想受到最大曝露的個人，用以代替以往的關鍵群體的基本概念。

4. 緊急時的參考水準與以往建議的不同。以往在干預水準或對策水準以下時，不謀求最適化。而在新建議書中，參考水準是在緊急時對策的研究階段爲了防護對策的最適化所用的目標值。

5. 參考水準設定爲20 mSv到100 mSv的劑量段。

143

6. 在1 mSv到20 mSv的劑量，參考水準應當由法規當局負責設定。特別是氡-222，作爲參考水準的濃度上限值，建議室內居住時爲600 Bq m⁻³，在工作環境中爲1500 Bq m⁻³。

144

第 7 章

患者的醫療曝露

— 謀求切實的管理 —

145

一 · 前言

1. 地球上的一切生物，不管願意不願意，自有史以來長年累月都要遭受輻射的曝露。我們人類也生存在生物進化的延長線上，現在我們的身體可以說是與輻射長期共存的歷史產物。

146

2. 醫療曝露的利用分爲診斷技術和惡性腫瘤等的治療。前者，是利用低劑量的射線對廣大的人群進行曝露，後者的特點是限於對患者的局部進行大劑量的照射。從輻射防護的觀點看，診斷用的低劑量曝露是對集體的效應問題，而在放射治療時受到曝露的個人出現的二次致癌危險是主要的關鍵問題。

第7章 患者的醫療曝露

1. 患者的醫療曝露的正當化
2. 醫療曝露中患者所受劑量的防護最適化
3. 醫療曝露中的有效劑量
4. 妊娠或可能妊娠的患者的曝露
5. 防止體外曝露法及小劑量治療中的事故
6. 治療後患者的退出及護理和照護人員的防護
7. 生物醫學研究中的志願者

醫療曝露的正當化

關於醫療中輻射利用的正當化，以下三種基準適用：

- 第一基準，使用醫療曝露患者得到的利益大於害處的原則。
- 第二基準，為特定的目的進行的特定醫療行為的正當化（例如，對呈現某症狀的患者做特定的檢查，或為人群體檢所做的X射線攝影）。
- 第三基準，對單個患者的醫療行為的正當化（對單個患者的利益大於害處）。

149

劑量的最適化

- ① 利用射線做診斷時，一般不使用防護最適化中用的約束值，而用診斷參考基準。這是為了患者接受的劑量符合醫療目的的管理手段。
- ② 診斷參考基準適用於醫療中為了診斷目的的曝露，不適用於放射治療。

150

- ③ 放射治療中的最適化，是在給予成爲靶的腫瘤以足夠的劑量的射線的同時，應當計畫對靶以外的健康組織的防護。

醫療曝露中的有效劑量

1. 受到醫療曝露的人群的年齡構成有可能與職業曝露和公眾曝露的不同。因此，醫療曝露的危險評估中，應當分別考慮受到醫療行爲的人的年齡和性別。

妊娠的問題

1. 在放射診療中，預先判斷女患者有無妊娠或可能妊娠是很重要的。胎兒的輻射敏感性高，據推算，妊娠中的胎兒因受曝露而在以後一生中致癌的危險與幼兒期受曝露的一樣高。放射治療中受高劑量曝露時，有可能造成發育障礙。

153

2. 當妊娠中受到輻射曝露時是否中止妊娠，這要考慮多方面的因素，由個人判斷，但曝露的劑量在100 mGy以下者，不會成爲中止妊娠的理由。
3. 關於胎兒的曝露危險，國際放射防護委員會（ICRP）2003年的建議書（ICRP第90號出版物）中有詳細的報導。對於妊娠或可能妊娠的患者，包括中止妊娠的問題在2000年建議書（ICRP第84號出版物）中都有詳述。

154

防止放射醫療事故

核醫學治療後患者的退出

1. 國際放射防護委員會（ICRP）2004年的建議書中，關於用非密封的放射性核種治療後的患者的退出做了建議。對於與嬰幼兒或直接護理無關的一般公眾，規定1 mSv為他們的公眾劑量限度。

155

志願者的曝露

1. 志願者參加醫學生物學研究，直接或間接地對科學的發展有很大的貢獻。並非全部研究都是在醫療機構進行，但國際放射防護委員會（ICRP）還是把志願者所受的全部曝露都作為醫療曝露來處理。

156

新的課題

1. 如何與探索新方法的醫療曝露相對應，對今後的社會來說是很重大的課題。雖然將患者受益作為前提進行容許的醫療曝露，但是不應當忘記在不損害利益的範圍內，力求減小曝露的劑量的大原則。

157

2. 據最近美國的放射防護和度量委員會（NCRP）的資料，每個美國人每年因診斷用的輻射曝露超過3 mSv，這個值高於地球上受到天然輻射的曝露的劑量。

158

診斷儀器的高度技術化

- 1.由於放射診斷用的裝置的高度技術化，可以簡便地檢測身體內部。但在做到短時間、無痛苦、可簡便地獲取資訊的同時，會招致患者受到更多的曝露。

159

- 2.用X射線曝露使膠片感光的方法作診斷時，所用的X射線強度是以膠片顯影後的黑度表現出來。現在用數位偵測儀器時，只用到診斷中必要的最低限度的劑量，因而有減輕曝露的好處，但也可能忽視過量曝露。

160

3. 診斷時X射線透視的數位化，由於淘汰了高價的膠片，便在發展中國家迅速普及，減輕對現場操作的醫師或技師的曝露的教育是個迫切的問題。

4. 現在，放射診斷時造成曝露的最大因素是X射線CT檢查。當然，CT檢查在現代醫療中是不可缺少的方法。開發的當初是一層一層拍攝斷面影像的取樣裝置，而幾年來，偵測器的多系列化迅速進步。結果，一次掃描可覆蓋較大的範圍，可高速拍攝無間隙的連續斷面，但普及這種方法的負面是曝露的劑量急劇增加。

5. 癌的早期發現可得到大的好處，對於曝露危險較小的高齡老年人問題較少，而對於年青人來說必須注意。

血管內治療的普及

1. 利用細導管插入血管內，將血管漲開，注入抗癌藥劑的治療方法正在迅速普及。這種治療方法稱為介入放射療法 (IVR: interventional radiology)。

2.在做介入放射療法治療時，爲了把血管內的導管送到目標位置，需要有非常複雜的技術。爲了確認導管到達的位置，要做X\射線透視，因而患者和手術醫生都會受到較多的曝露。特別是心肌梗塞或腦梗塞等治療時，要把阻塞的血管漲開，要分秒必爭，慢了可能致命，工作中難免受到長時間的X射線曝露。

3.最近技術的進步很驚人，對過去不能治的病（血管完全閉塞或遠端閉塞等），現在可以爲積極治療，改善預後做出貢獻。但是，引入這種高難度的技術的結果必然是延長了X射線的透視時間。

放射治療的高度技術化

1. 隨著癌症治療的高度技術化，輻射防護方面的考慮也有很大的變化。過去用的鈷-60（ γ 射線）曝露裝置、以及後來改用X射線曝露裝置的治療法，都有如何精確確定治療部位的問題。為此，要致力於劑量計算、或照射裝置的合適管理等，要充實物理和工程方面的知識和技術。

167

2. 最近出現了各式各樣的治療裝置，為的是提高向靶（癌細胞）照射的效率、並儘量減小對周圍健康組織的影響。由於提高了靶組織所受劑量的集中性，對周圍組織的照射可能很小，有了這種好處，今後估計會迅速普及。

168

3.由於放射治療的高度技術化，對周圍組織的直接損傷非常有限。雖然沒有直接損傷，但“小劑量”曝露的範圍加大，便成爲新的問題。由於治療精度的提高，使得治療後的生存率提高。但因此會出現新的二次癌問題。

第 8 章

環境的輻射防護

—正式開始建立—

一·前言 — 背景

- 1.“委員會相信爲了保護人類達到當前認爲需要的程度而採用的控制環境的標準，可以保證不致危及其他物種。在偶爾的狀況下，不屬於人類的某些物種中的個體可能受到危害，但不致達到危及整個物種或在各個種之間造成不平衡的程度。
- 2.目前，委員會在關心人類環境方面限於針對放射性核種在環境中的轉移，因爲這是直接影響對人類的放射防護的”

171

- 3.也就是相信“人類受到防護時，環境生物也得到了保護”。因而對環境生物，只考慮環境中的放射性物質向人類轉移的路徑中的一些問題。
- 4.但是，人類的活動會以種種方式對環境產生影響，這已成爲世界關心的事。其中，包括對人類不存在的狀況的環境的影響，輻射防護領域也要致力於研究。這就是在新建議書中提出的、要對人類以外的生物物種進行保護的背景。現實是對環境的影響並非作爲新的問題提出的。

172

二・建議書的內容

- 1.在各種曝露狀況中，維持生物的多樣性、物種的保存和保護生態系統的完整性是環境保護的目的。
- 2.在計算來自環境中的放射性物質對人類的曝露時，導入的參考人（Reference Person）起了很大的作用。與此相同，導入了“參考動、植物（Reference Animals and Plants）”。

173

今後的課題

- 1.這次建議書中沒有具體設定有關“環境保護”的劑量限度，只有基本的考慮和架構的記載。
- 2.聯合國原子輻射效應科學委員會（UNSCEAR）在1996年的報告中首次彙集了人類以外的生物物種的輻射效應。現在做的修訂工作將於2008年完成。
- 3.環境保護的問題只在總論上意見一致，具體的體系構成還在研究之中，這是尚待解決的問題。

174

4.

輻射效應研究的成果



UNSCEAR評估彙集



ICRP的建議（防護的架構）



IAEA等的研討



關於輻射防護的國際標準

制定輻射標準的流程

表 參考動、植物

參考動植物	生存環境		
	陸上	淡水	海水
鹿	○		
鼠	○		
鴨	○	○	
蛙	○	○	
在馬哈魚		○	○
鱒魚			○
蜜蜂	○		
蟹		○	○
蚯蚓	○		
松	○		
稻科的草	○	○	
褐藻			○

影響指標的選定

- 1.防護的目的是“維持生物的多樣性、保存物種、以及保護生態系統的完整性”，但必須選定實現這些目的的具體指標。

177

與人類防護的異同

- 1.關於對環境的保護，引入了參考動、植物等，有環境保護與對人類的防護一樣的處理，但也要注意其不同點。
- 2.對於人類的防護，防護的對象是個人，而環境保護的保護對象則是生物群體。

178

- 3.環境保護的目的是設定為“維持生物的多樣性、保存物種、以及保護生態系統的完整性”而導出的，要做現實的判斷。
- 4.關於輻射的物理量，對於人類是以劑量為標準，而對人類以外的生物物種，則採用劑量率。

179

- 5.此外，對於人類，考慮到輻射的種類或組織的敏感性的差別，可以用“有效劑量”計算。對人類以外的生物， α 射線的生物效應如何估計尚待研究，每個組織有不同的敏感性，都參與劑量評估是否必要就成為議論的對象。

180

結語

- 1.世界上高度關心“環境問題”，從輻射防護這一方面來努力已經正式開始了。
- 2.現在，考慮環境保護的目的不是爲了在新建議書中導入新的法規的架構，在對輻射的處理中，對人類以外的生物也不要忘記對它們進行確切的保護。

181

新建議書，扼要歸納出以下12個要點

- 1.**ICRP**放射防護體系原則上適用於來自於任何“輻射源”的所有游離輻射曝露。但必須是通過合理的手段對各種曝露來源以及所導致個人受曝的劑量狀況的可控性，才能全部貫徹實施；有些曝露遵照有關法規可以排除在外或者豁免。

182

2.根據ICRP 60號出版物以後獲得的可歸因於游離輻射引起的健康危害的生物學和流行病學資料，以及關於游離輻射曝露的物理學進展訊息，新建議書更新了與估算等價劑量和有效劑量直接相關的輻射加權因數 W_R 及組織加權因數 W_T 。

- 並且也更新了對游離輻射危害的估計(例如小劑量低劑量率曝露狀況下，機率效應標稱機率係數，比60號出版物估計值下降，尤其遺傳危險下降較多。

新建議書之表1

2007年新建議和1990年建議的危險度值(10^{-2} Sv^{-1}) 的比較

受照人群	癌症危險		遺傳危險		總危險	
	新建議	1990年 建 議	新建議	1990年 建 議	新建議	1990年 建 議
全年齡	5.5	6.0	0.2	1.3	5.7	7.3
成人	4.1	4.8	0.1	0.8	4.2	5.6

3.

- ① 新建議書保留放射防護三原則作為防護體系的核心，但重新安排三原則如何具體應用於各種輻射源所發出的曝露和個人所受到的曝露。正當化原則必須確保任何擬決定要改變輻射曝露狀況時，應盡力做到更多的利大於弊；

- ② 防護最適化原則更加突出強調，對導致曝露的可能性，以及受曝露人數，個人受曝露的劑量都應該做到可合理達到的儘可能低的基準，同時還應考慮到經濟和社會等因素；正當化和最適化原則適用於新提出的三類曝露狀況。

- ③ 而劑量限度的應用，除了對患者的醫療曝露之外，在計畫曝露狀況下任何人受管制“源”曝露的總劑量都不應超過由委員會規定的相應限度；並且進一步區分了不同對象的三種曝露：職業曝露、公眾曝露、醫療曝露。

- ④ 如果女工作人員已懷孕，需考慮額外控制其劑量達到大致與公眾成員相近的基準，以保護胚胎或胎兒(應控制低於1 mSv)。
- ⑤ 可見新建議書在具體應用實施放射防護三原則時，既要顧及計畫、緊急、現存等三類曝露狀況，又要交叉針對各種曝露狀況上的不同對象的職業曝露、公眾曝露和醫療曝露。

- 4. 新建議書把放射醫療區分為計畫曝露狀況、緊急曝露狀況、現存曝露狀況等三類。取代了過去關於實踐和干預的基本分類。這是放射防護體系著眼點和基礎的變革。
- 5. 關於計畫曝露狀況，保持了以前關於從所有受管制源所導致的有效劑量和等價劑量的個人劑量限度，對於受管制源在計畫曝露狀況下，所致職業工作人員和公眾成員的劑量限度保持不變。

6. 對計畫曝露狀況，在規劃防護的過程中，應考慮到可能偏離正常的作業程序，包括意外事故和惡性事件，這種潛在曝露不是計畫的，但可以被預測。
7. 新建議書進一步強調了關鍵的放射防護最適化原則對所有曝露狀況的指導作用。指出三類曝露狀況均應強化防護最適化原則才能應用和實施好新議書的防護體系。
8. 新建議書強調最適化使用在緊急曝露狀況和現存曝露狀況下的參考基準。

191

9. 醫療曝露防護不僅包括患者，還包括照顧護理或者慰問患者的人員以及生物醫學研究中的志願者。
10. 新建議書關於體外曝露和體內曝露的劑量計算，使用基於人體醫學斷層影像而建立的參考計算體模(如男性、女性三D的身體模型)，取代過去使用的各種不同數學模型(諸如MIRD體模，以及特定性別或者特定年齡的模型)。

192

11. 新建議書繼續保留使用有效劑量等防護量，但澄清一些模糊認識。例如明確有效劑量既不推薦用於流行病學的評估，也不應被用來作為對個體曝露和危險度的詳細具體的追溯性調查。

12. 新建議書更加關注保護環境，專門獨立一章論述。

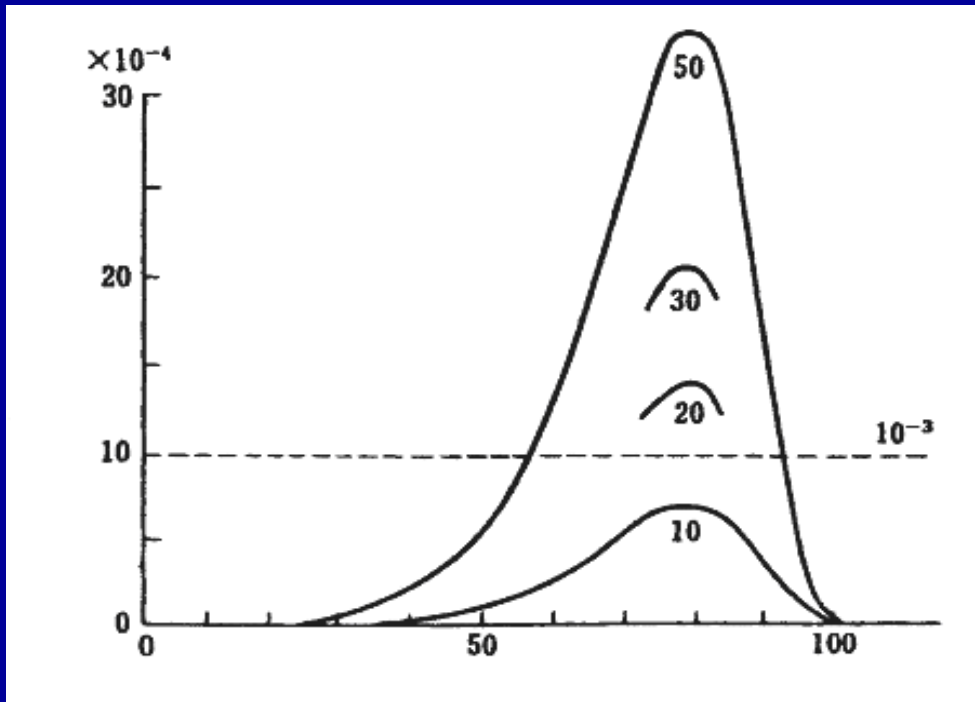


圖4-1 輻射引起的年致死癌機率按年齡分布
 (從18歲到65歲連續受到10 mSv a-1, 20 mSv a-1, 30 mSv a-1, 50 mSv a-1
 的曝露的計算值。)

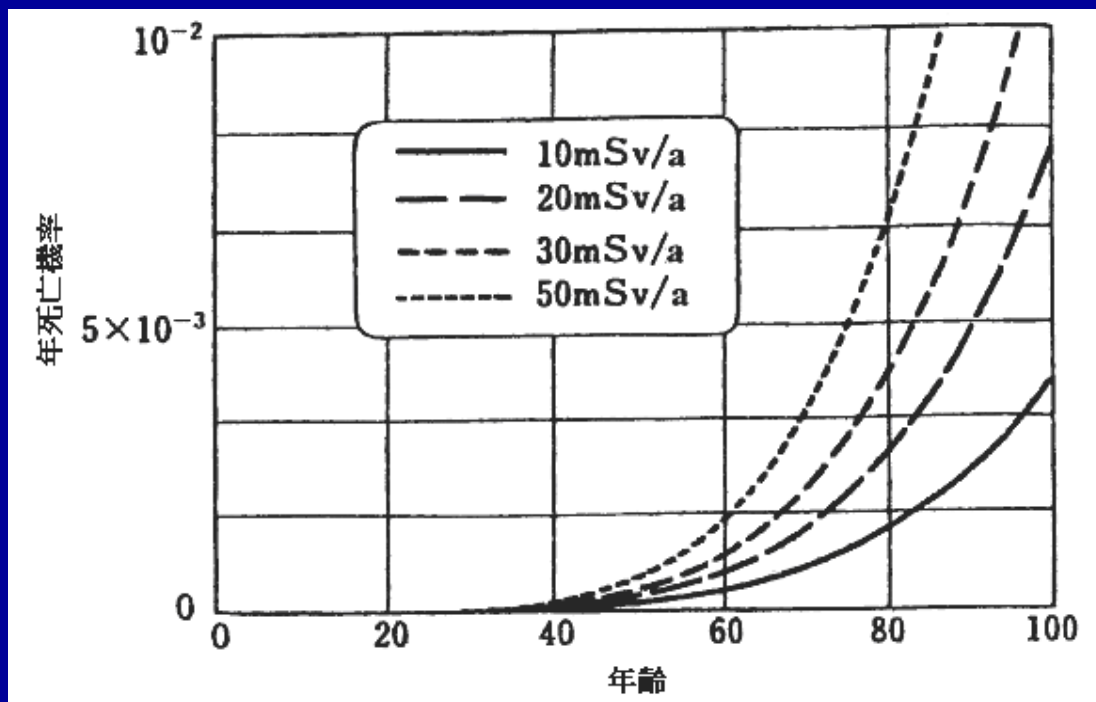


圖4-2 輻射致癌死亡年齡別的死亡率 (條件性年齡死亡機率)
 (從18歲到65歲連續受到10 mSv a-1, 20 mSv a-1, 30 mSv a-1,
 50 mSv a-1的曝露的計算值。)

10.1.3 高LET輻射所致癌症誘發的相對生物效能

高直線能量轉移(LET)的中子或 α 射線等的單位吸收劑量的生物效應通常比低LET輻射的大。

高LET輻射所致癌症的誘發的RBE可以用效應與劑量的變化關係來研究，如圖10-1所示。對於同樣大的效應，低LET輻射的吸收劑量與高LET輻射的吸收劑量之比（ b/a ）即為相對生物效能(relative biological effectiveness, RBE)。

高LET輻射與低LET輻射在單次曝露與分次曝露時的效果不同，低劑量率的連續曝露或分次曝露與高劑量率單次曝露相比，效應不變，也有報導認為低劑量率時的效應反而比較大，即所謂“反劑量率效應”（reverse dose-rate effect）¹⁾。但如圖10-1所示，低LET輻射的劑量－回應關係曲線是下凸（上凹）的，而高LET輻射的曲線是上凸（下凹）的，隨著劑量的減小，RBE增加並接近於一定值（RBEM）。因此，對於輻射防護，估算RBEM是重要的。高LET輻射的RBEM是計算輻射加權因數的基本數據。

197

10.2.3 劑量與劑量率效能因數

在估計低LET輻射的小劑量、低劑量率的效應時，由大劑量、高劑量率時的數據作直線外插確定會造成癌死亡率的過高評估，因此ICRP認為，正當的做法是要考慮小劑量、低劑量率時的效應降低。在ICRP第26號出版物中為了估算危險度係數，考慮由大劑量外插到小劑量時把危險度係數除以25)。在ICRP第26號報告的第29段中指出“如果受到的是小劑量或者所受的劑量是以低劑量率給出的，那麼單位劑量所致的效應的發生頻率也許要低一些。所以把估計值酌降一定的分數，以計及可能存在的危險度的差別也許是合適的”。

劑量率效應是在總劑量相同時，劑量率減低時癌症發生率也降低。但是人類的數據僅來自原子彈爆炸倖存者那樣大劑量、高劑量率的狀況，因此要定量計算劑量率效應將會遇到許多問題。NCRP定義劑量率效應因數（dose rate effectiveness factor ,DREF）為：對於直線無閾模式，符合低劑量率所得數據時的直線斜率與符合高劑量率所得數據時的直線斜率之比。利用圖10-2可以對此定義說明如下：假設線性二次模式的劑量－回應關係（ $E = \alpha D + \beta D^2$ ）成立，在小劑量處的估計值與把符合大劑量的數據所得的線性模式（ $E = \alpha LD$ ）的斜率外插時的估計值之比（ $\alpha L / \alpha l = 1 + (\beta/\alpha l) / D$ ）與DREF一致。考慮到僅降低劑量率時的劑量－回應關係接近於圖10-2的直線D，由上面DREF的定義就可以估計出劑量率效能因數。於是，用由劑量－回應關係曲線的形狀估計理論DREF的方法或由不同劑量率的實驗群的比較求出DREF的方法，NCRP對於致癌或壽命的實驗數據作為結論，認為DREF介於2到10之間⁶⁾。UNSCEAR 1988年報告中也曾提出，DREF隨癌的部位而變化，介於2到10之間。

ICRP把DREF取名為DDREF（劑量與劑量率效應因數），適用於這個因數的狀況是吸收劑量在0.2 Gy以下，對於吸收劑量高於此值者，劑量率應當在0.1 Gy/h以下（74段）。

為了計算DDREF所做的動物實驗數據多為總劑量較大，如連續致癌或壽命實驗時那樣，被認為不施加直接影響的壽命末期應當考慮對“虛耗的”劑量的修正，若要直接應用於人類則問題還很多。有關人類的數據也是有限的，而ICRP則以理論方法為基礎。線性二次模式適用於原子彈爆炸倖存者數據，Pierce與Vaeth根據原子彈爆炸倖存者的數據，求出 $(\beta/\alpha l)$ ，採用DDREF = 25,7)。

198