輻射防護繼續教育

陳建全

台灣醫學物理公司

www.tmpinc.com.tw

陳建全

- 學歷
  - 陽明大學醫放系 學士
  - 成功大學醫工所 碩士
- 專業證書
  - 教育部部定講師
  - 醫學物理師證書(放射診斷)
  - 醫事放射師證書
  - 輻射防護師證書
- 研究成果
  - SCI 第一作者1篇
  - SCI 共同作者11篇
  - 研究計畫主持人1件
  - 研究計畫共同主持人6件
- 經歷
  - 台灣醫學物理公司
    - 總經理
  - 長庚大學
    - 兼任講師
  - 林口長庚紀念醫院
    - 磁振造影中心醫學物理師
    - 影像診療部醫學物理師
  - 中華民國醫學物理學會
    - 常務監事
  - 桃園縣醫事放射師公會
    - 理事
    - 總幹事
  - 考試院醫事放射師檢覈考試
    - 命題/審題委員
  - 國健署乳篩計畫
    - 醫學物理組委員
  - 原能會醫療曝露品質保證計畫
    - 講師
    - 命題及口試委員

最新消息
動態訊息
公告
活動報導

本會原規劃輻射醫療曝露品質保證標籤電子化核發作業，延後實施。

本會原規劃於輻射安全管理系統2.0新增之輻射醫療曝露品質保證標籤電子化核發功能，因配合「輻射醫療曝露品質保證標籤核發作業要點」尚待修正，該電子核發作業暫緩實施。

有關品保標籤電子化核發作業實施期程，本會將另行公告，實施前維持原紙本品保標籤核發作業，仍請醫療機構將紙本品保標籤貼於設備或物質明顯處，以利民眾辨識。

更新時間：2026-08-31 12:29　資料來源：輻射防護組

輻射醫療曝露品質保證計畫之相關表單

» 醫療曝露品質保證校驗紀錄表數位公版匯入檔及使用注意事項

- 醫療曝露品質保證校驗紀錄表數位公版匯入檔使用注意事項 (請先閱讀)
- D01：乳房X光攝影儀品保校驗紀錄匯入檔
- D02：診斷用、核醫用、模擬定位用電腦斷層掃描儀品保校驗紀錄匯入檔
- D03：X光模擬定位儀品保校驗紀錄匯入檔
- D04：醫用直線加速器品保校驗紀錄匯入檔
- D05：含放射性物質之遙控後荷式近接治療設備品保校驗紀錄匯入檔
- D06：含鈷六十放射性物質之遠隔治療機品保校驗紀錄匯入檔
- D07：加馬刀品保校驗紀錄匯入檔
- D08：電腦刀品保校驗紀錄匯入檔
- D09：電腦斷層治療機品保校驗紀錄匯入檔
- D10：心導管或血管攝影用X光機品保校驗紀錄匯入檔

輻射防護相關繼續教育課程

- **輻射防護人員管理辦法--第8條**
  - **課程申請：十五日前 (有例外)**
  - **講師資格：**
    - 一、取得輻射防護師資格者
    - 二、國內公立或立案之私立大學校院或符合教育部採認規定之國外大學校院相關科系之講師以上者。
    - 三、國內公立或立案之私立大學校院或符合教育部採認規定之國外大學校院相關科系研究所碩士學位以上者。
    - 四、國內公立或立案之私立大學校院或符合教育部採認規定之國外大學校院相關科系畢業，並從事有關輻射防護實務工作五年以上者。
  - **結案報告：後十五日內，將合格人員名冊送主管機關備查**
- **課程安排**
  - **教學目的**
    - 輻射防護、醫療曝露品質保證、放射科學新知...
  - **學員類別**
    - 輻射工作人員、學生、醫事人員、一般民眾
  - **課程設計**
    - 核心課程：輻射安全、保健物理等
    - 相關課程：放射物理、輻射生物、輻射度量、輻射劑量、輻射屏蔽、醫學物理、放射性廢棄物與處理、放射化學、環境輻射、同步輻射、核工原理等。
  - **課程評量**

游離輻射基本原理與防護策略

陳建全

台灣醫學物理公司

www.tmpinc.com.tw

1.下列何種天然輻射對生活在都市裡的人產生的危害最大?
A. 宇宙射線　B. 食物、人體輻射　C. 氡氣衰變輻射　D. 建築材料

2.下列何種輻射屬於「電磁波」?
A. α　B. β-　C. β+　D. γ

3.下列何種電磁波屬於「游離輻射」?
A. X光　B. 超音波　C. 紫外線　D. 可見光

4.下列何者是目前法規指定的國際單位制之人員劑量單位?
A. 克馬　B. 侖琴　C. 戈雷　D. 西弗

5.下列何者不屬於法規規定的「輻射源」?
A. 放射性物質　B.核子反應器　C. 微波爐　D. 可發生游離輻射設備

6.下列何者是職業輻射工作人員的法定劑量限度?
A. 0.5 mSv/年　B. 1.0 mSv/年　C. 10 mSv/年　D. 100 mSv/5年

7.輻射防護的基本原則中不包括下列何者?
A. 縮短曝露時間　B. 增加與輻射源的距離C. 增加碘的攝取　D. 適當地使用屏蔽工具

8.X光骨質密度測試儀在我國屬於下列何種設備?
A. 豁免管制類　B. 登記備查類　C. 許可類　D. 特殊許可類

9.X光骨質密度測試儀的輻射防護主要是要防護從何而來的輻射?
A. X光管球的滲漏輻射　B. X光管球的主射束
C. 源自受檢者的散射輻射　D. 主射束產生的散射輻射

10.輻射工作人員每年應接受X小時的輻射防護課程訓練，並應保存紀錄Y年。X、Y分別為?
A.1、5　B.3、10　C.18、5　D.36、3

1.下列何種天然輻射對生活在都市裡的人產生的危害最大?

A. 宇宙射線　B. 食物、人體輻射　**C. 氡氣衰變輻射**　D. 建築材料

2.下列何種輻射屬於「電磁波」?

A. α　B. β-　C. β+　**D. γ**

3.下列何種電磁波屬於「游離輻射」?

A. X光　B. 超音波　C. 紫外線　D. 可見光

4.下列何者是目前法規指定的國際單位制之人員劑量單位?

A. 克馬　B. 侖琴　C. 戈雷　**D. 西弗**

5.下列何者不屬於法規規定的「輻射源」?

A. 放射性物質　B.核子反應器　**C. 微波爐**　D. 可發生游離輻射設備

6.下列何者是職業輻射工作人員的法定劑量限度?

A. 0.5 mSv/年　B. 1.0 mSv/年　C. 10 mSv/年　**D. 100 mSv/5年**

7.輻射防護的基本原則中不包括下列何者?

A. 縮短曝露時間　B. 增加與輻射源的距離**C. 增加碘的攝取**　D. 適當地使用屏蔽工具

8.X光骨質密度測試儀在我國屬於下列何種設備?

A. 豁免管制類　**B. 登記備查類**　C. 許可類　D. 特殊許可類

9.X光骨質密度測試儀的輻射防護主要是要防護從何而來的輻射?

A. X光管球的滲漏輻射　B. X光管球的主射束

C. 源自受檢者的散射輻射　D. 主射束產生的散射輻射

10.輻射工作人員每年應接受X小時的輻射防護課程訓練，並應保存紀錄Y年。X、Y分別為?

A.1、5　**B.3、10**　C.18、5　D.36、3

法規條文 – 游離輻射防護法

第 2 條

本法用詞定義如下：

一、游離輻射：指直接或間接使物質產生游離作用之電磁輻射或粒子輻射。

二、放射性：指核種自發衰變時釋出游離輻射之現象。

三、放射性物質：指可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質。

四、可發生游離輻射設備：指核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。

五、放射性廢棄物：指具有放射性或受放射性物質污染之廢棄物，包括備供最終處置之用過核子燃料。

六、輻射源：指產生或可產生游離輻射之來源，包括放射性物質、可發生游離輻射設備或核子反應器及其他經主管機關指定或公告之物料或機具。

七、背景輻射：指下列之游離輻射：

(一) 宇宙射線。

(二) 天然存在於地殼或大氣中之天然放射性物質釋出之游離輻射。

(三) 一般人體組織中所含天然放射性物質釋出之游離輻射。

(四) 因核子試爆或其他原因而造成含放射性物質之全球落塵釋出之游離輻射。

八、曝露：指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

九、職業曝露：指從事輻射作業所受之曝露。

一〇、醫療曝露：指在醫療過程中病人及其協助者所接受之曝露。

一一、緊急曝露：指發生事故之時或之後，為搶救遇險人員，阻止事態擴大或其他緊急情況，而有組織且自願接受之曝露。

一二、輻射作業：指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。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、廢棄或處置之作業及其他經主管機關指定或公告者。

一三、干預：指影響既存輻射源與受曝露人間之曝露途徑，以減少個人或集體曝露所採取之措施。

一四、設施經營者：指經主管機關許可、發給許可證或登記備查，經營輻射作業相關業務者。

一五、雇主：指僱用人員從事輻射作業相關業務者。

一六、輻射工作人員：指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員。

一七、西弗：指國際單位制之人員劑量單位。

一八、劑量限度：指人員因輻射作業所受之曝露，不應超過之劑量值。

一九、污染環境：指因輻射作業而改變空氣、水或土壤原有之放射性物質含量，致影響其正常用途，破壞自然生態或損害財物。

輻射

- 輻射是一種具有能量的波或粒子，如**電磁波**（如無線電波、微波、可見光、紫外線、X射線、加馬射線等）以及從放射性物質發射出來的微小**粒子**(如阿伐粒子、貝他粒子、中子等)都稱為輻射。其中**能量**較低的，如無線電波、微波、可見光、超音波、紫外線，稱為**「非游離輻射」**；而能量較高的，如X射線與加馬射線，以及粒子輻射則屬於**「游離輻射」**。
- **天然輻射：**來自外太空的宇宙射線、天然存在於地殼或大氣中的天然放射性物質或人體中所含的放射性物質。
- **人造輻射：**在現今的醫療、農業、工業、研究、國家安全等方面，應用非常普遍。







輻射種類

- 來源
  - 天然輻射
    - α、β、γ...
  - 人造輻射
    - X光...
- 能量
  - 非游離輻射
  - 游離輻射
    - 豁免類
    - 登記備查類
    - 許可類

輻射源**豁免管制**標準

第 1 條　本標準依游離輻射防護法（以下簡稱本法）第五十三條第二項規定訂定之。

第 2 條　放射性物質或可發生游離輻射設備符合下列情況之一者，免依本法規定管制：

一、放射性物質單位質量之活度濃度不超過附表第 2　欄所列者。

二、放射性物質之活度不超過附表第 3　欄所列者。

三、軍事用途之瞄準具、提把、瞄準標杆所含氚不超過四千億（4E+11）貝克者。

四、下列可發生游離輻射設備，在正常操作條件下，距其任何可接近之表面十公分處之劑量率每小時不超過一微西弗者：

（一）公稱電壓不超過三萬伏特之可發生游離輻射設備。

（二）電子顯微鏡。

（三）陰極射線管。

（四）其他型式經主管機關核定公告者。

第 3 條　前條第一款、第二款之放射性物質為混合核種，而其個別放射性核種之含量與附表該核種豁免管制量比值之總和不超過一者，豁免其管制。

含未知核種之放射性物質，計算前項比值時，除設施經營者可提出更適合之數值外，應採用附表最後一列「其他未列之放射性核種」之數值。

第 4 條　本標準自本法施行之日施行。

本標準修正條文自發布日施行。

輻射種類

- 來源
  - 天然輻射
    - α、β、γ...
  - 人造輻射
    - X光...
- 能量
  - 非游離輻射
  - 游離輻射
    - 豁免類
    - 登記備查類
    - 許可類

輻射源**登記備查**標準

第 16 條

使用下列放射性物質者，應向主管機關申請登記備查：

一、附表一所列第四類及第五類密封放射性物質者。

二、放射性物質在儀器或製品內形成一組件，其活度為豁免管制量一千倍以下，在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。

三、前二款以外之放射性物質活度為豁免管制量一百倍以下者。

四、其他經主管機關指定者。

使用前項規定以外之放射性物質者，應向主管機關申請許可證。

第 17 條

使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關申請登記備查：

一、公稱電壓為十五萬伏（150kV）或粒子能量為十五萬電子伏（150keV）以下者。

二、櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。

三、其他經主管機關指定者。

使用前項以外或前項第一款非屬醫療用途，而對人體直接照射之可發生游離輻射設備者，應向主管機關申請許可證。

天然輻射

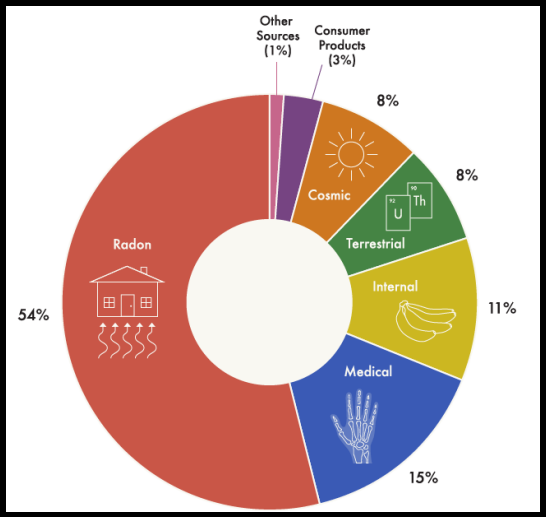
- **宇宙射線**
  - 一般地區每升高約1500公尺，輻射劑量即增加一倍。
- **土壤或岩石**
  - 土壤及岩石中，含有不同濃度的天然放射性核種，是自地殼誕生以來就存在(鉀-40、釷-232、鈾-238)。
- **食物與人體**
  - 食物(鉀-40)及菸草(釙-210)。
- **氡氣**
  - 地殼中之天然放射性核種鈾-238與釷-232，在自然衰變過程中其子核之一為放射性惰性氣體**氡氣(Rn)**。每人每年接受的天然輻射劑量，體內劑量占三分之二，其中約90%係源自氡氣及其子核種所造成。
- **人造產物**
  - 自發光羅盤(^{3}H-氚、 ^{147}Pm-鉕)、煙霧偵測器(^{3241}Am-鋂) 、核武試爆…。

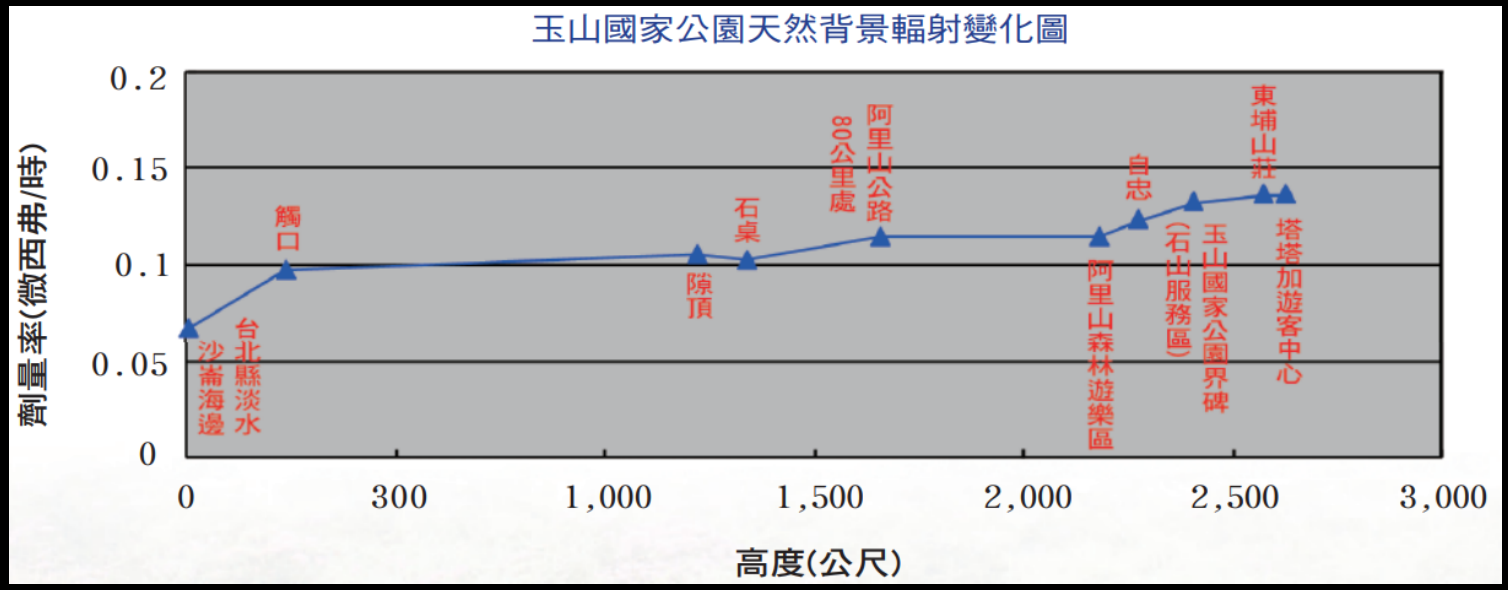
自然背景輻射

輻射來源	全世界[12]	美國[13]	日本[14]	Remark
空氣	1.26	2.28	0.40	主要來自空氣中的氡
食物與飲水	0.29	0.28	0.40	K-40, C-14等
來自地面	0.48	0.21	0.40	與土壤或建材相關
宇宙輻射	0.39	0.33	0.30	與海拔高度相關
小計（自然來源）	2.40	3.10	1.50	
醫療	0.60	3.00	2.30	全世界的統計中排除放射線療法 美國統計中多為電腦斷層與核子醫學
消費	-	0.13		自抽菸、航空飛行、建築物等
核子試爆	0.005	-	0.01	1963年極值為0.01msv，隨時間下降至今，越接近試爆點越高
職業暴露	0.005	0.005	0.01	全世界工人平均為0.7 mSv, 多為礦坑中的氡[12] 美國多為醫療與航空從業者[13]
車諾比核災	0.002	-	0.01	1986年極值為0.04，隨時間下降至今，越接近事故地點越高
核電廠的核燃料循環	0.0002		0.001	接近發生源時可高至0.02 mSv
其他	-	0.003		
小計（人工來源）	0.61	3.14	2.33	
總計	3.01	6.24	3.83	**millisievert per year**

自然背景輻射

- 全球平均值 2.4 mSv/y
- 台灣 1.62 mSv/y
- 高度：
  - 台灣海平面 0.04-0.08 μSv/h
  - 阿里山森林遊樂區(海拔2182公尺) 0.117 μSv/h
  - 每升高1500-2000公尺，宇宙射線會增加1倍







https://www.aec.gov.tw/webpage/UploadFiles/headline_file/2010250120646.pdf



台北往返美國西岸一趟
(0.09毫西弗)



台灣每人接受天然背景輻射劑量
(1.6毫西弗/年)



廣東陽江高天然
背景輻射地區
(6~6.5毫西弗/年)



印度喀拉拉邦
高天然背景輻射地區
(5~15毫西弗/年)



每天抽30支香菸
(13毫西弗/年)

0.1 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 15. 20. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 100.

毫西弗 西弗

一般民眾年劑量限值
不含天然背景輻射及醫療劑量
(1毫西弗/年)



輻射工作人員年劑量限值
(20毫西弗/年)



全身一次急性
曝露1-2西弗：噁心、嘔吐



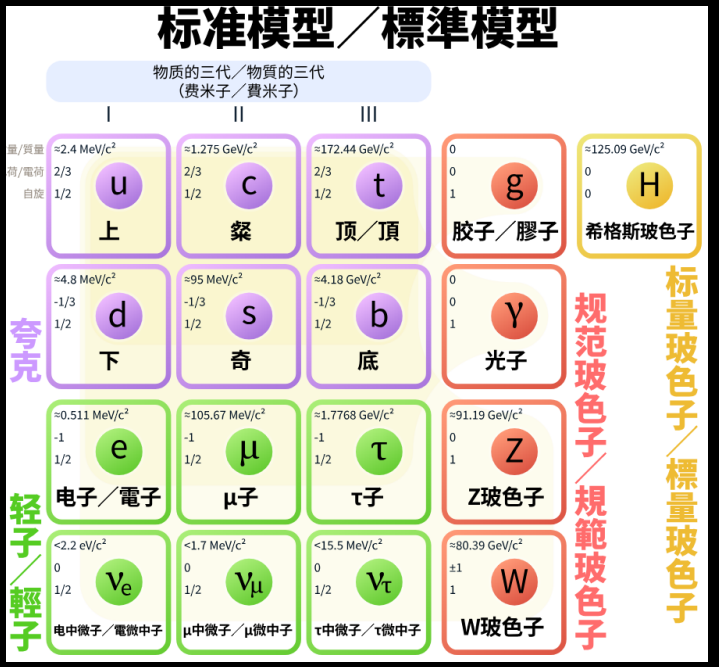
全身一次急性
曝露>6西弗：死亡



註：1 西弗 = 1000毫西弗

原子

- 組成：
  - 質子 (proton)
  - 中子 (neutron)
  - 電子 (electron)
- 原子序：原子中質子的數量
- 質量數：原子中質子+中子的質量



名稱	組成	符號	質量(kg)	能量 (MeV)	電荷	平均壽命
質子	上夸克 x 2 下夸克 x 1	p^+	1.673×10^{-27}	938.3	+1 e	$>2.1 \times 10^{29}$年
中子	上夸克 x 1 下夸克 x 2	n	1.675×10^{-27}	939.6	0	881.5 秒 (自由中子)
電子	基本粒子	e^-	9.109×10^{-31}	0.511	-1 e	穩定

$1\ e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$ (每個電子的帶電量)

原子的性質

鈾的的原子半徑/原子核半徑比例是26634
氫是60250。

- 原子半徑：約 10^{-12} cm
- 莫耳：(亞佛加厥數)12g的碳所含的原子個數 = 6.02×10^{23}
- 同位素：(isotope)具有相同質子數，不同中子數 (例：^{59}Co, ^{60}Co)
- 同中素：(isotone)具有相同中子數，不同質子數 (例：^{89}Y, ^{92}Mo)
- 同重(量)素：(isobar)具有相同質量數 (例：^{40}Cl, ^{40}K)
- 電量：
  - 1 安培 (A)：1秒內通過橫截面的電量為1庫侖(C)時的電流強度。
  - 1 個電子帶有 1.6×10^{-19} C的電量。
  - 1 A = 1 / (1.6×10^{-19}) = 6.24×10^{18} 個電子
- 能量：
  - 1個電子受到1伏特電場的加速，會獲得1.6×10^{-19} 焦耳的能量
  - 1焦耳 = 6.24×10^{18} 電子伏特 (eV)
  - 在空氣中產生一個離子對，需要 34 eV 的能量
- 平均原子量：
  - 例：^{35}Cl 豐度為 75%，^{37}Cl 豐度為 25%

    平均原子量 = 35 x 75% + 37 x 25% = 35.5

原子的性質

- 動能：
  - 電子伏特(eV)：代表一個電子(所帶電量為1.6×10^{-19} C)經過1伏特的電位差加速後所獲得的動能(1.6×10^{-19} J)。

卡(卡路里)	焦耳(J)	爾格(erg)	電子伏特(eV)	百萬電子伏特(MeV)
0.239	1	10^7	$6.24x10^{18}$	$6.24x10^{12}$
1	4.18	$4.18x10^7$	$2.61x10^{18}$	$2.61x10^{12}$

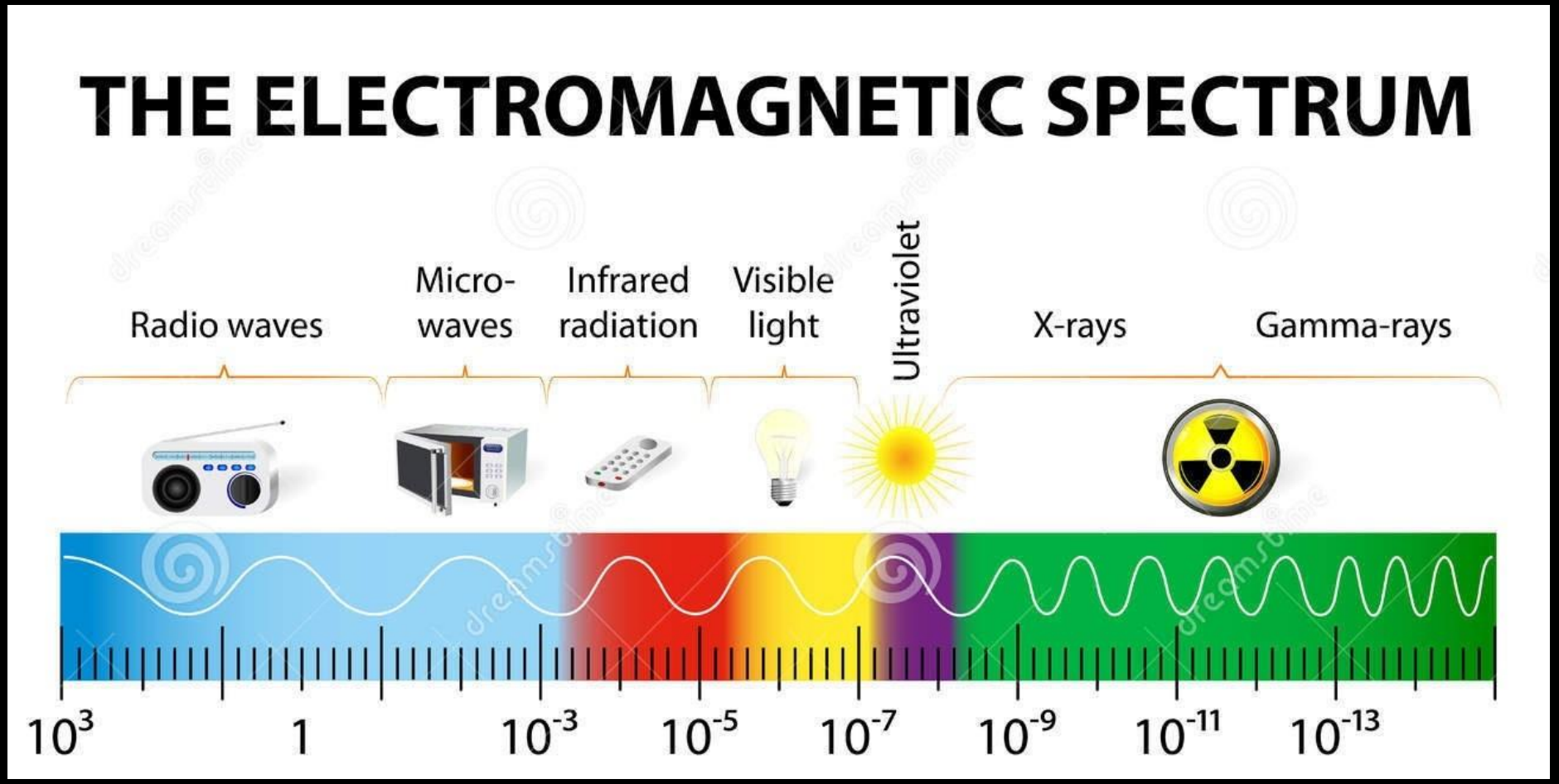
$1\ J = 1\ nt \cdot m = 1\ kg{\cdot}m/s^2 \cdot m$

$1\ nt = 10^5\ dyne = 10^5\ g \cdot cm/s^2$　　$1\ erg = 1\ dyne \cdot 1\ cm$

- 質能轉換：$E = mc^2$　(m 為靜止質量)

$E_{electron} = 9.109x10^{-31} \times (3x10^8)^2 = 8.198 \times 10^{-14}\ J = 0.511\ MeV$

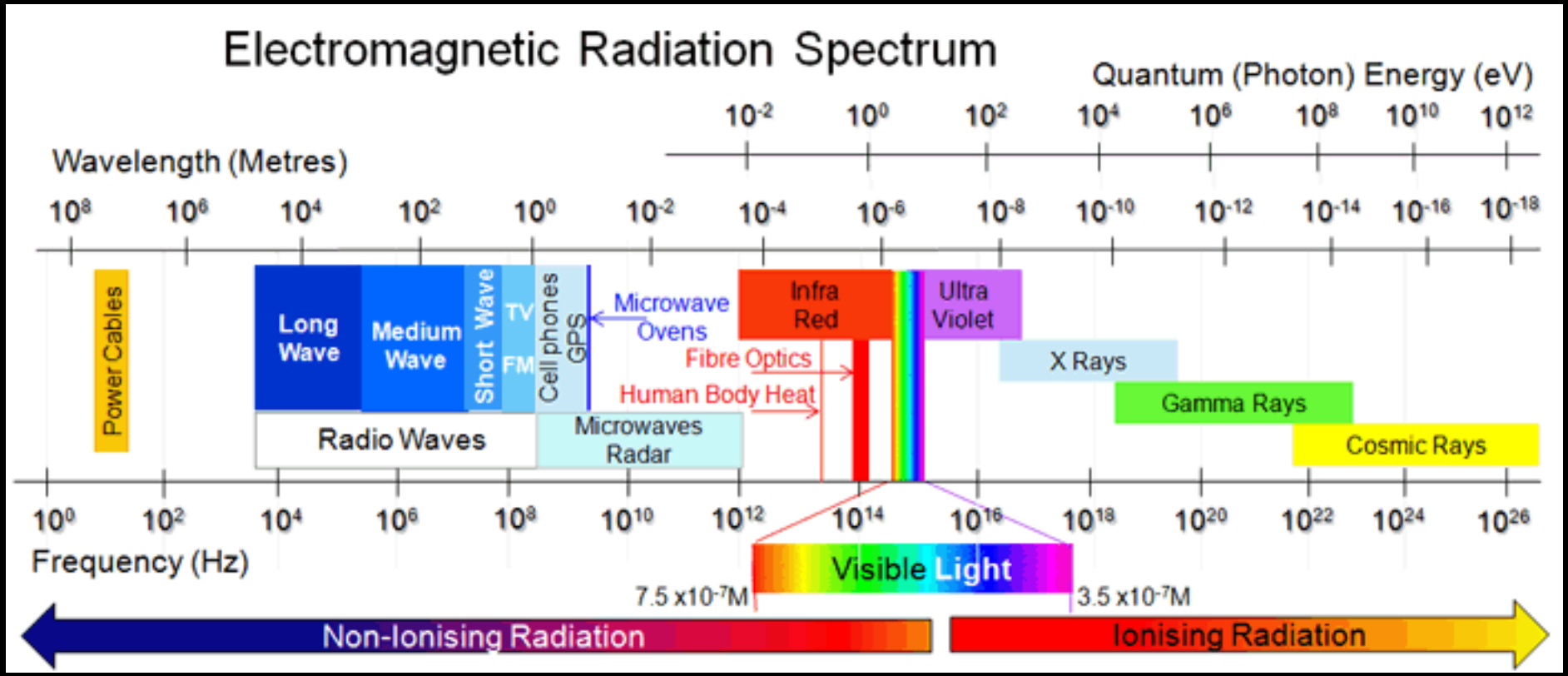
電磁波


THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM
Radio waves
Micro-waves
Infrared radiation
Visible light
Ultraviolet
X-rays
Gamma-rays
10^{3}
1
10^{-3}
10^{-5}
10^{-7}
10^{-9}
10^{-11}
10^{-13}


PHILIPS



Electromagnetic Radiation Spectrum









游離輻射

γ、X-ray　　α、β

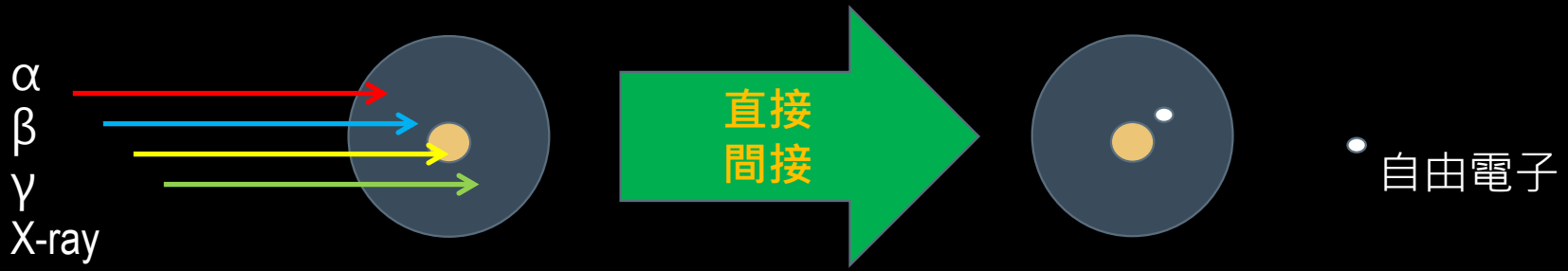
- **指直接或間接使物質產生游離作用之[電磁輻射]或[粒子輻射]。**

游離作用：

水溶液中由於水分子的作用，HCl全部解離成H+和Cl−，因此被定義為強酸

水溶液中由於水分子的作用，CH_3COOH部分解離成H+和CH_3COO^-，被定義為弱酸

光照或高能射線輻射下，氣態原子、分子失去電子變成離子及自由電子e−



間接游離：不帶電粒子 (γ或X光) 與物質的交互作用

光電效應 photoelectric effect

同調散射 coherent effect

康普吞效應 Compton effect

成對發生 Pair-production effect

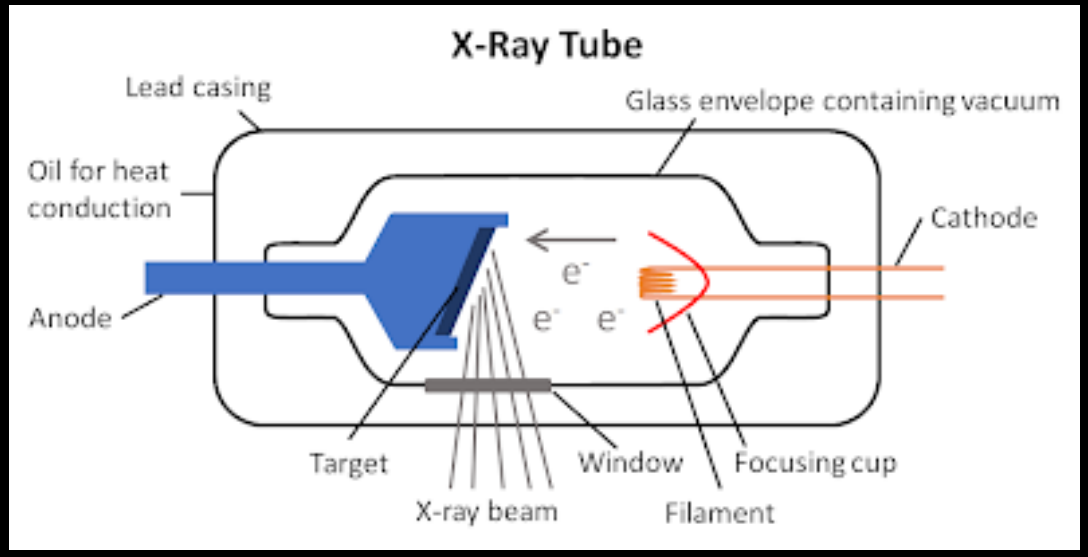
光致衰變 Photon-induced decay

→ 帶電粒子 → **直接游離**

輻射源

- **放射性物質**
  - 可經由自發性核變化釋出游離輻射之物質
- **可發生游離輻射設備**
  - 核子反應器設施以外，用電磁場、原子核反應等方法，產生游離輻射之設備。
- **核子反應器**
- 其他經主管機關指定或公告之物料或機具

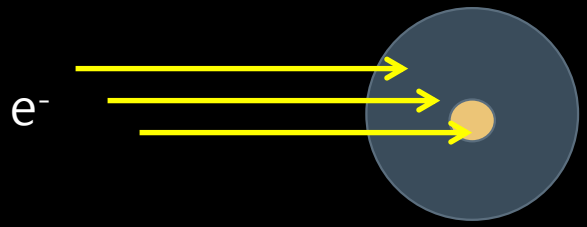
原始核種
鈾-238 ($T_{1/2}$45億年)
鈾-235 ($T_{1/2}$7億年)
釷-232 ($T_{1/2}$141億年)

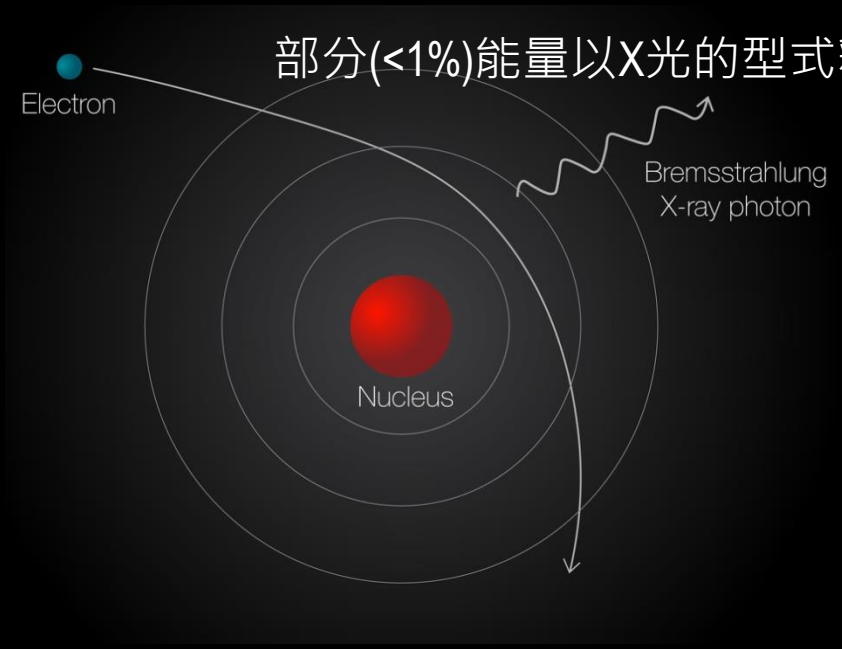


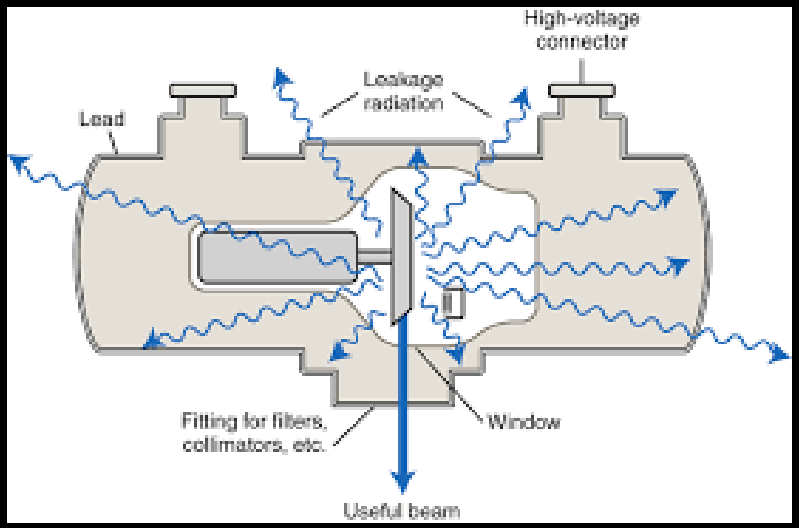
最穩定同位素					
主條目：鉛的同位素					
同位素	豐度	半衰期 ($t_{1/2}$)	衰變		
			方式	能量 (MeV)	產物
^{204}Pb	1.4%	>1.4×10^{17} y	α	1.972	^{200}Hg
^{205}Pb	syn	1.53×10^{7} y	ε	0.051	^{205}Tl
^{206}Pb	24.1%	穩定，帶124個中子			
^{207}Pb	22.1%	穩定，帶125個中子			
^{208}Pb	52.4%	>2×10^{19}y	α	-	^{204}Hg
^{210}Pb	痕量	22.3 y	α	3.792	^{206}Hg
			β$^-$	0.064	^{210}Bi

X光的產生方式

- 加速電子推向X光靶，電子動量受庫倫力作用而改變

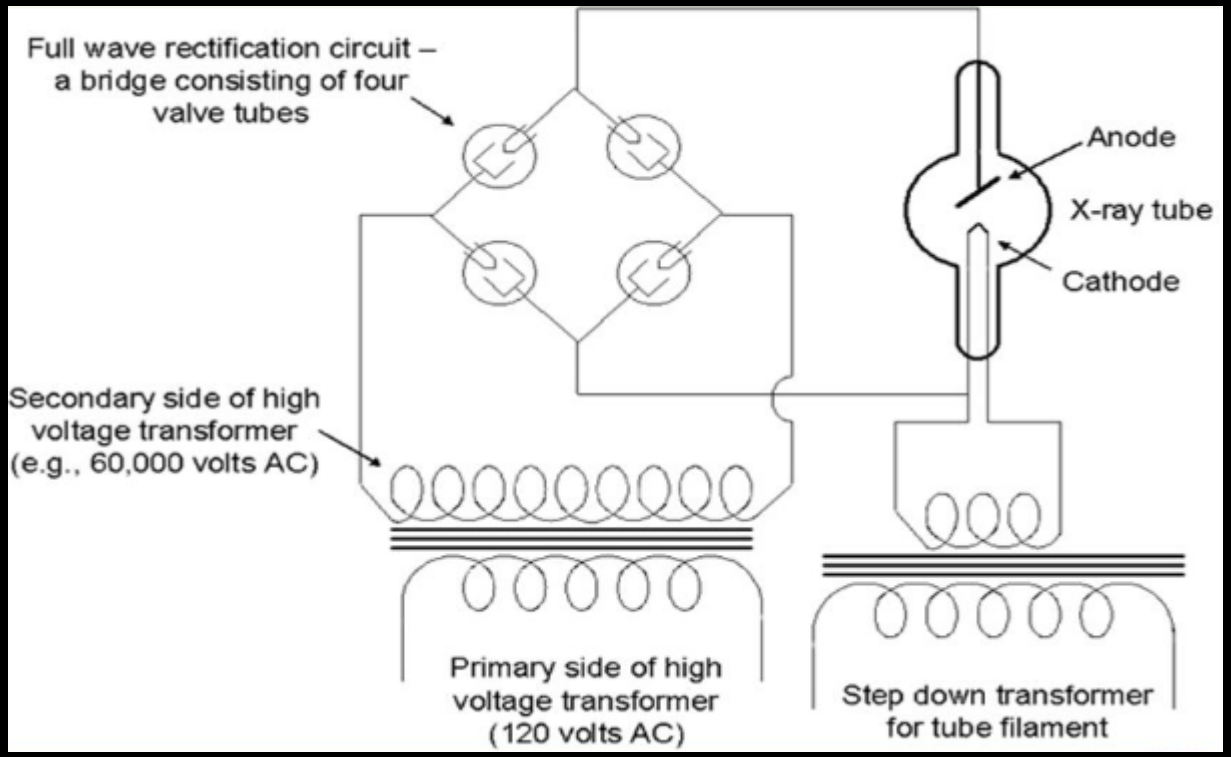


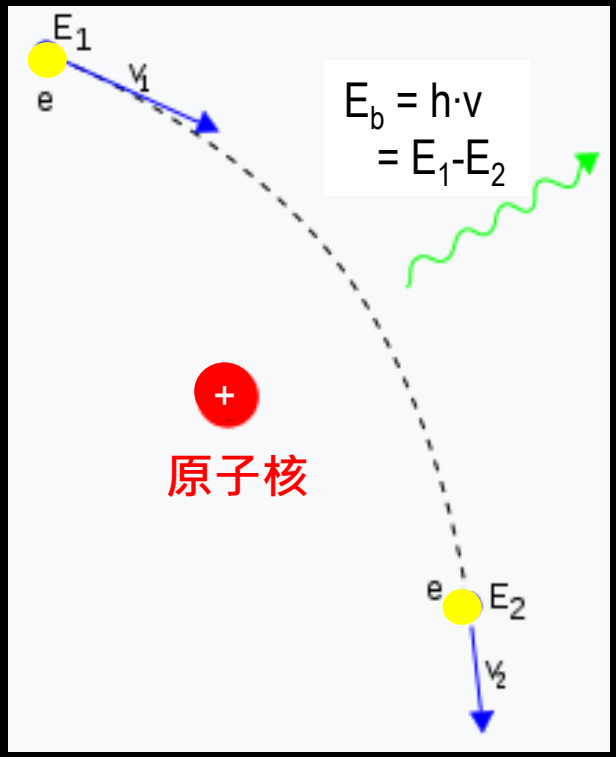




荷電粒子與物質的交互作用

- 制動輻射 Bremsstrahlung radiation





Electric field：kV ~ MV

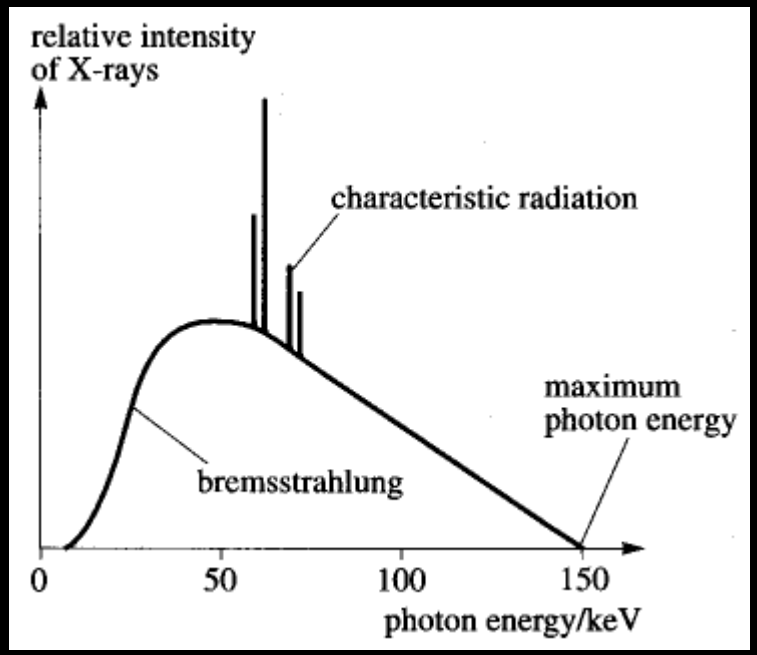
Tube current：mA ~ A

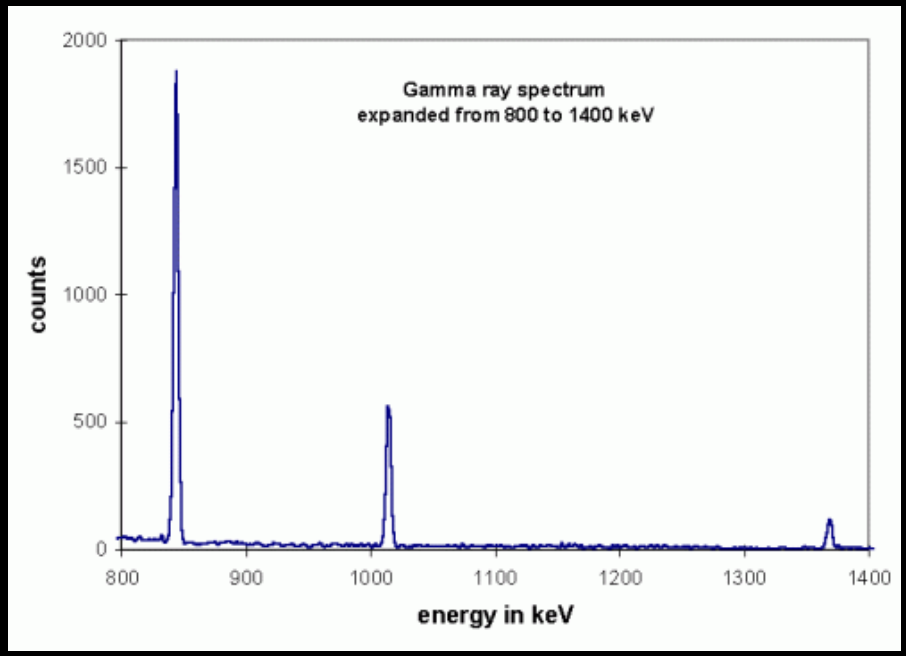


帶電粒子：
速度改變 ($V_1 \rightarrow V_2$)→
動量改變 ($p=mv$) →
能量改變 ($E_1 \rightarrow E_2$)→
制動輻射光子能量 $E_b = E_1 - E_2$

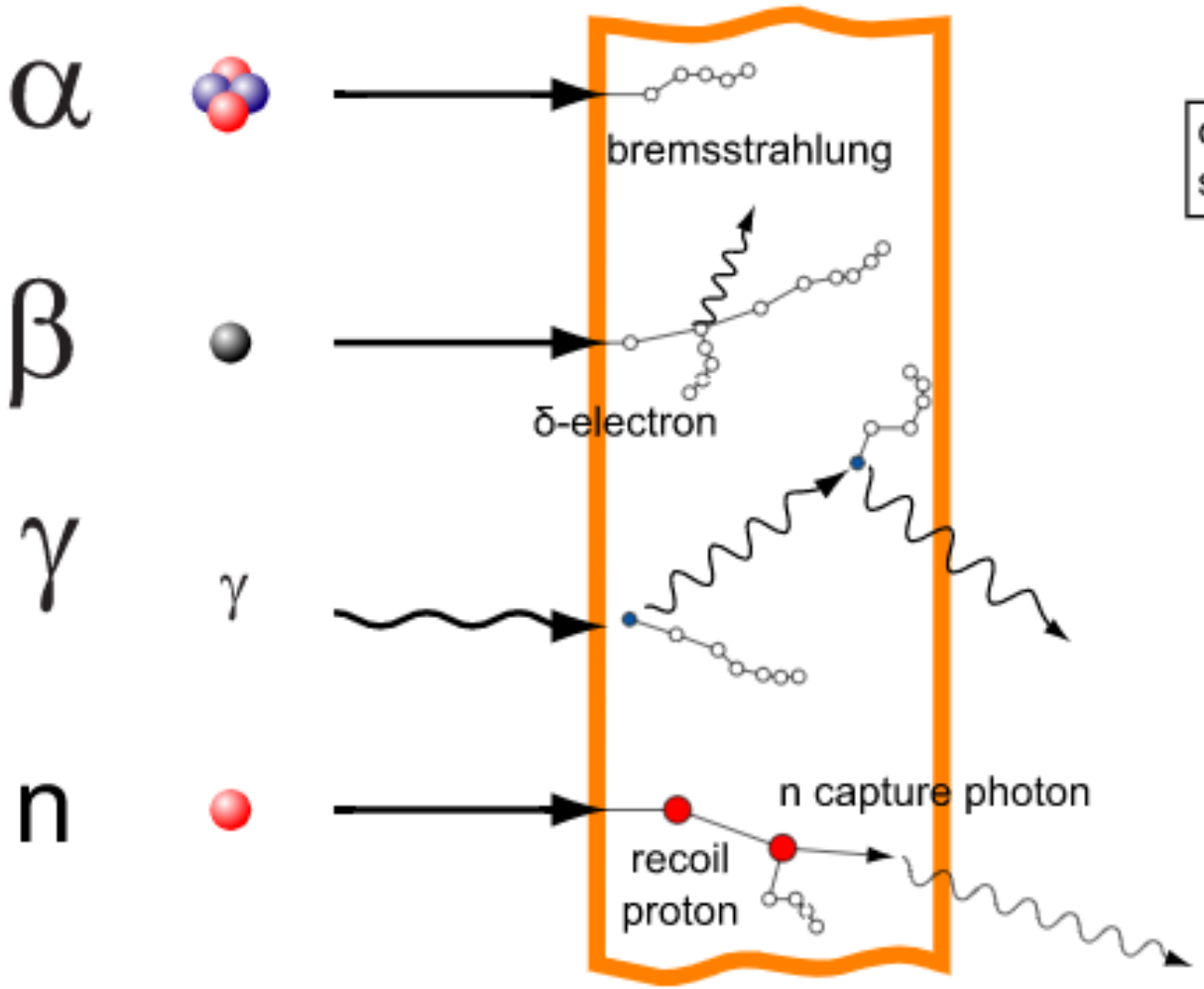
光子/電磁波輻射的特性

- 陰陽極之間的電位差 = 電子的最大動能 = 光子的最大動能
- X光的光譜是連續性的分布 ←→ γ 射線的光譜是單一能量的分布
- 最大數量的光子能量 ~ 1/3 光子的最大動能
- 光子輻射是體外曝露的主要來源，強度與光子能量成正比





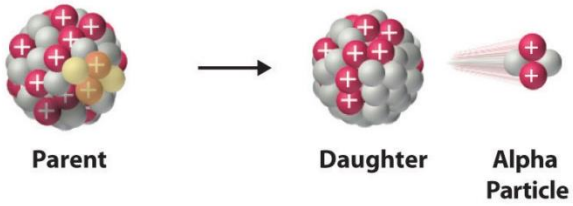
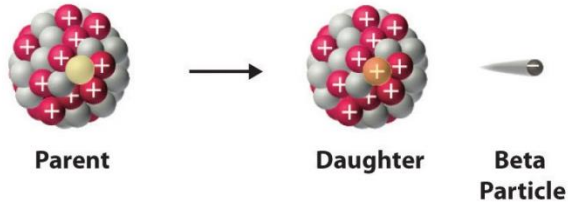
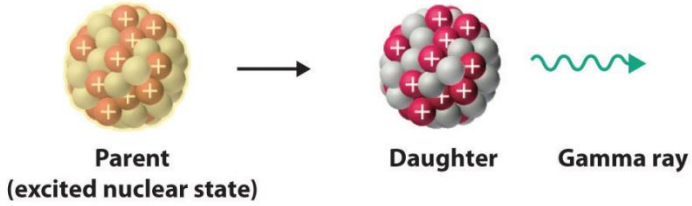
Interaction of ionizing radiation with matter



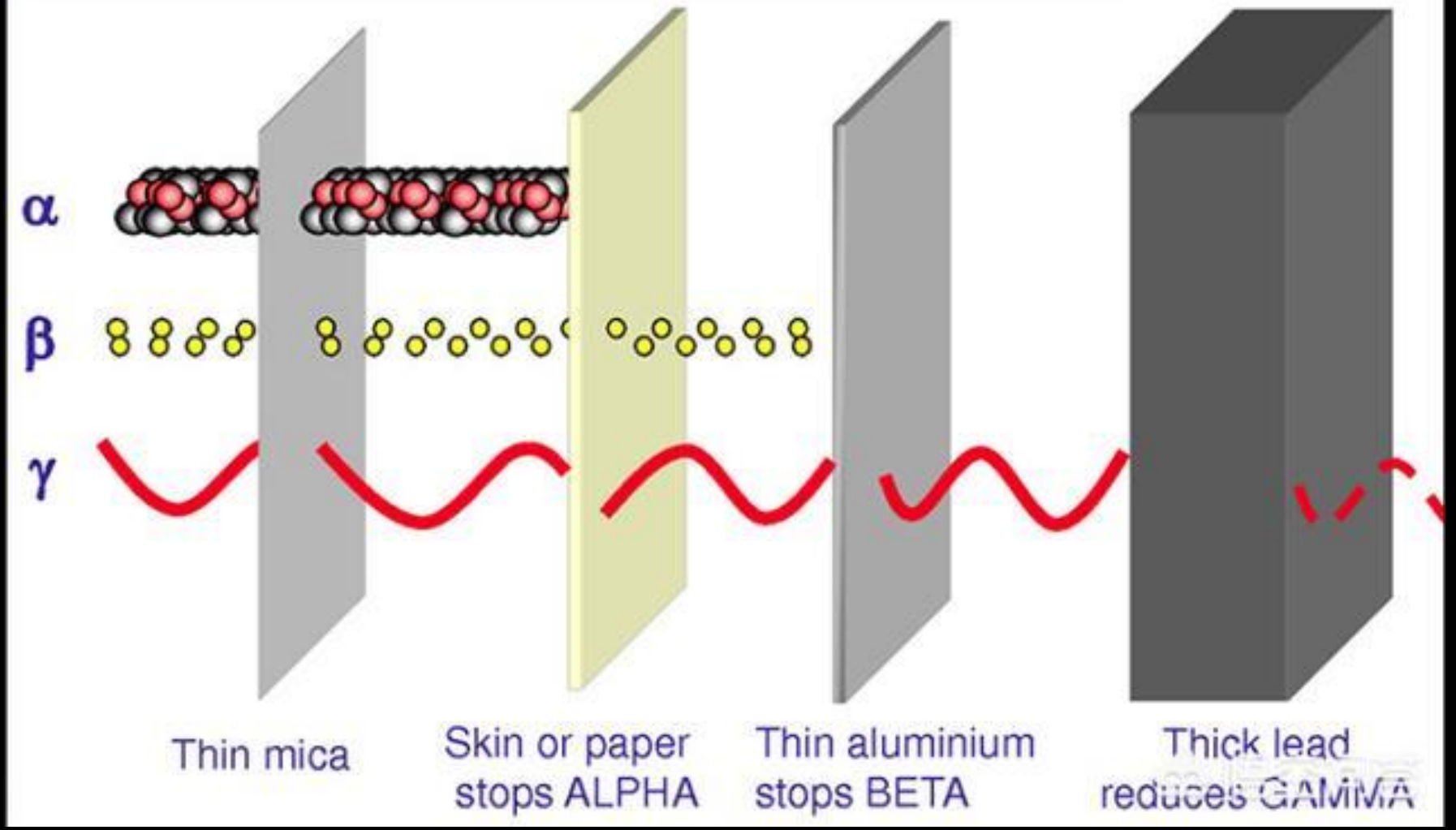
charged particles interact strongly and ionize directly

neutral particles interact less, ionize indirectly and penetrate farther

放射性物質衰變

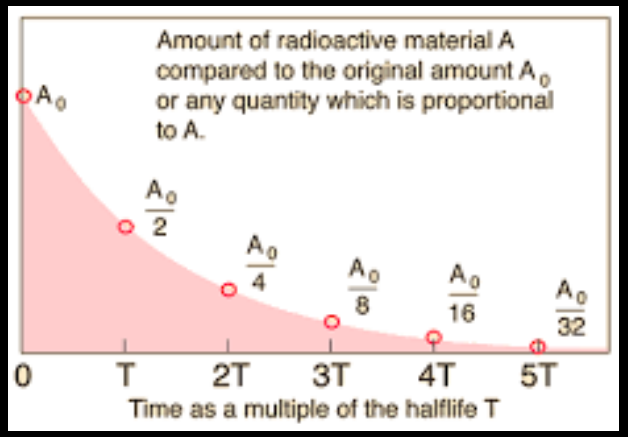
Decay Type	Radiation Emitted	Generic Equation	Model
Alpha decay	${}^{4}_{2}\alpha$	${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}X' + {}^{4}_{2}\alpha$	
Beta decay	${}^{0}_{-1}\beta$	${}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}X' + {}^{0}_{-1}\beta$	
Gamma emission	${}^{0}_{0}\gamma$	${}^{A}_{Z}X^{*} \xrightarrow{\text{Relaxation}} {}^{A}_{Z}X' + {}^{0}_{0}\gamma$	

The penetration power of the three types of radiation.



放射性物質特性

- **物理半衰期 $T_{1/2}$**
  - 活度 (activity) 變為原來的一半所花的時間
  - $A = A_0 e^{-\frac{0.693t}{T_{1/2}}}$
- **生物半衰期 T_B**
  - 在體內存留的數量變為原來一半所花的時間
- **有效半衰期 T_E**
  - 放射性物質的活度在體內變為原來一半所花的時間
  - $\frac{1}{T_E} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_B}$



肺部滯留時間區分

D：T_B < 10 天

W：10 天 < T_B < 100 天

Y：T_B > 100 天

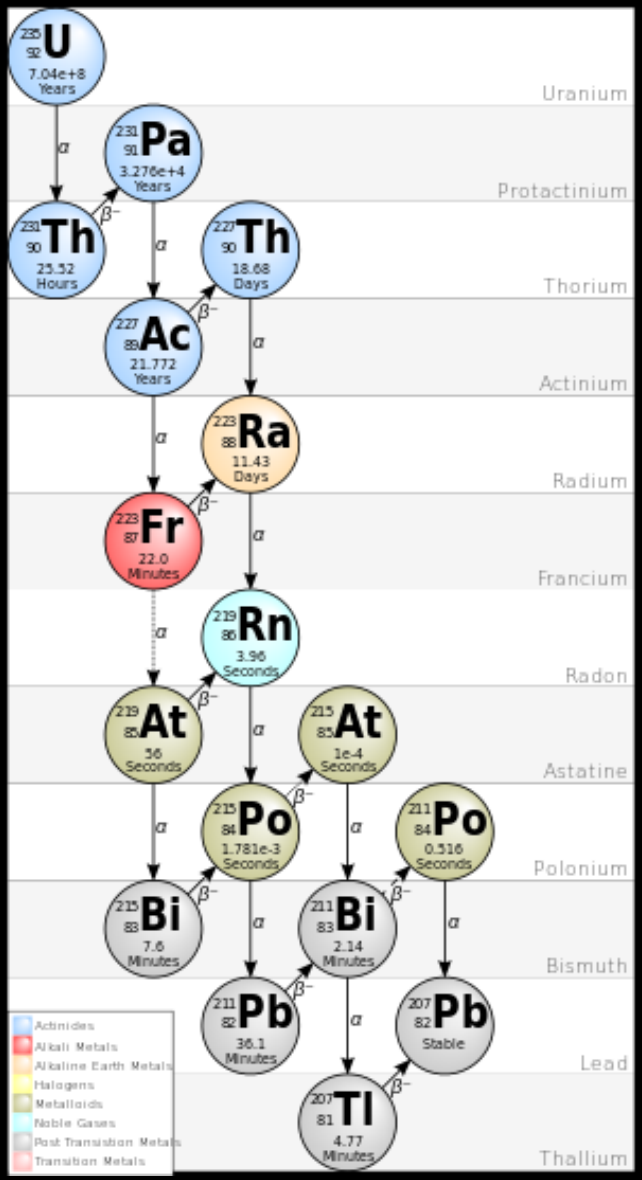
肺部攝入後排除時間區分

F：T_B = 10 分鐘

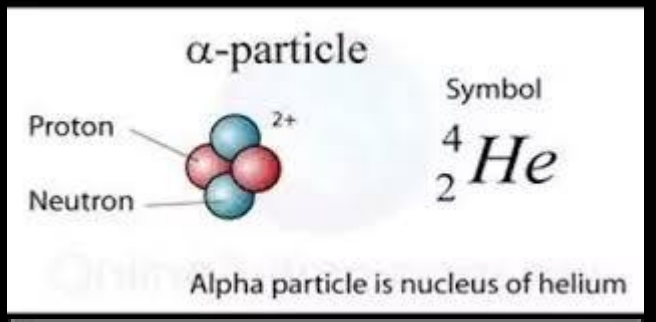
M：10% T_B = 10 分鐘，90%140天

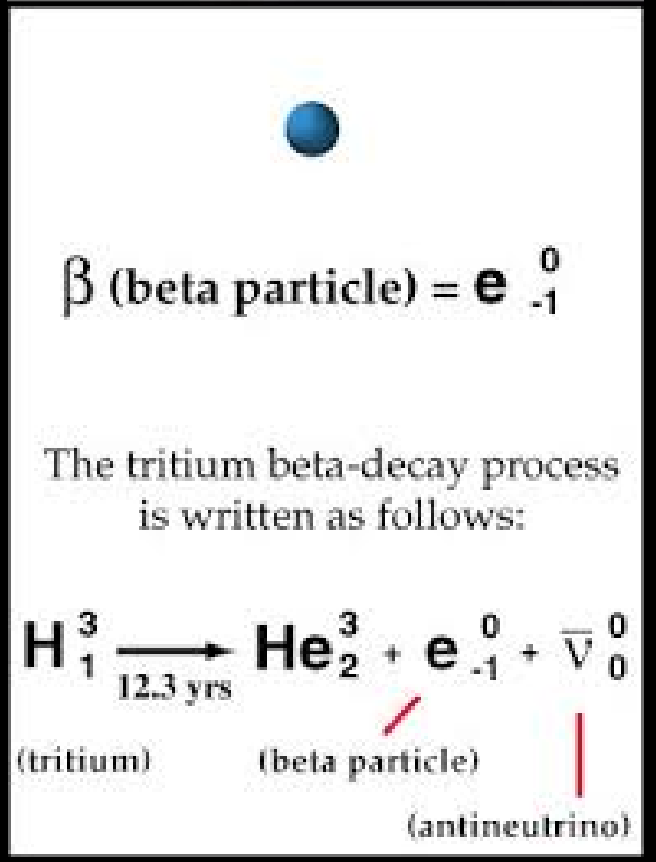
S：0.1% T_B = 10 分鐘，99.9%7000天

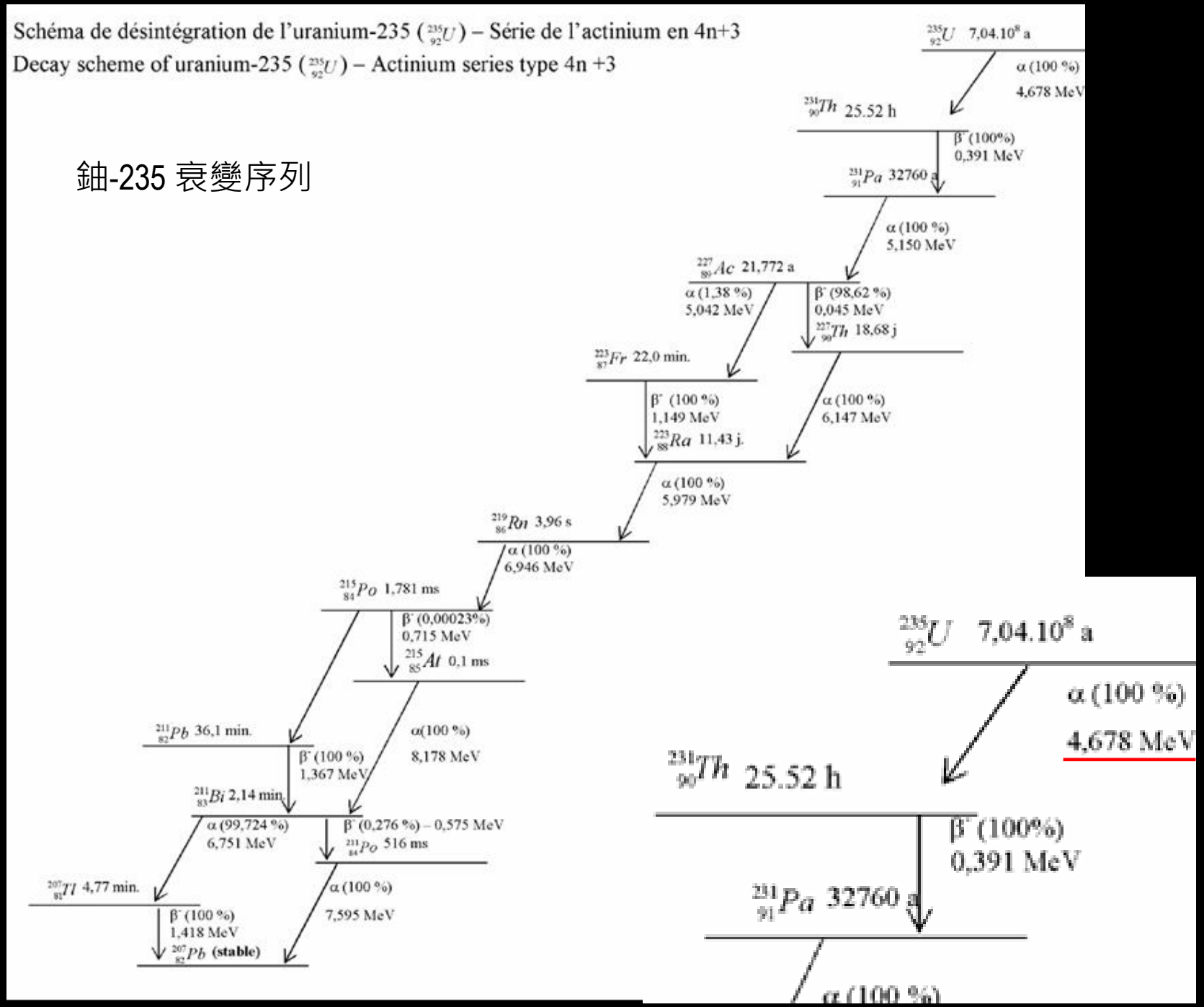
放射性物質連續衰變—U-235



92
91
90
89
88
87
86
85
84
83
82
81



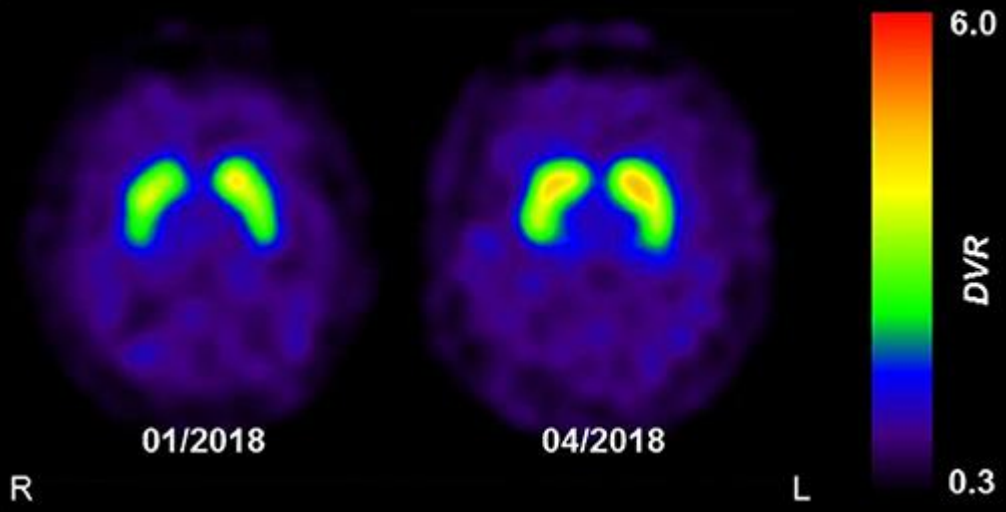



Schéma de désintégration de l'uranium-235 ($^{235}_{92}U$) – Série de l'actinium en 4n+3
Decay scheme of uranium-235 ($^{235}_{92}U$) – Actinium series type 4n +3
鈾-235 衰變序列
$^{235}_{92}U$ 7,04.10^8 a
α (100 %)
4,678 MeV
$^{231}_{90}Th$ 25.52 h
β$^-$ (100%)
0,391 MeV
$^{231}_{91}Pa$ 32760 a
α (100 %)
5,150 MeV
$^{227}_{89}Ac$ 21,772 a
α (1,38 %)
5,042 MeV
β$^-$ (98,62 %)
0,045 MeV
$^{227}_{90}Th$ 18,68 j
$^{223}_{87}Fr$ 22,0 min.
β$^-$ (100 %)
1,149 MeV
$^{223}_{88}Ra$ 11,43 j.
α (100 %)
6,147 MeV
α (100 %)
5,979 MeV
$^{219}_{86}Rn$ 3,96 s
α (100 %)
6,946 MeV
$^{215}_{84}Po$ 1,781 ms
β$^-$ (0,00023%)
0,715 MeV
$^{215}_{85}At$ 0,1 ms
$^{211}_{82}Pb$ 36,1 min.
β$^-$ (100 %)
1,367 MeV
α(100 %)
8,178 MeV
$^{211}_{83}Bi$ 2,14 min.
α (99,724 %)
6,751 MeV
β$^-$ (0,276 %) – 0,575 MeV
$^{211}_{84}Po$ 516 ms
$^{207}_{81}Tl$ 4,77 min.
α (100 %)
7,595 MeV
β$^-$ (100 %)
1,418 MeV
$^{207}_{82}Pb$ (stable)

生活中可以接觸到放射性物質的地方

- 醫療院所
  - Y-90治療術、Tc-99m核醫科檢查、...
- 食物
  - K-40、...
- 建築物
  - 輻射鋼筋、建材...
- 空氣中
  - 核子試爆落塵、...
  - 氡氣、...

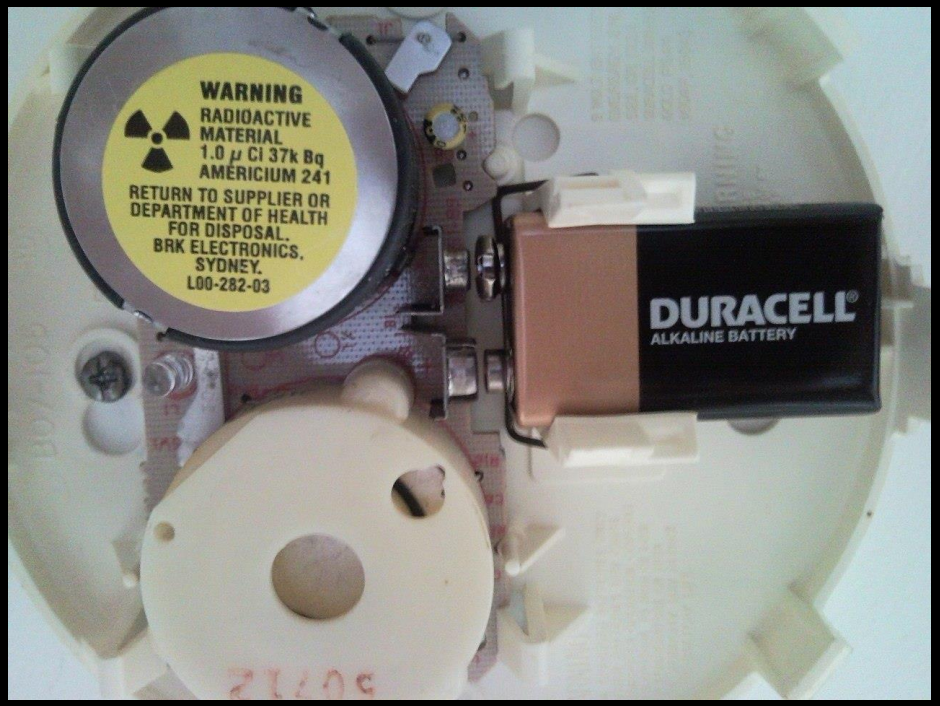






電離煙霧探測器

是一种含有鋂-241的火災警報裝置。
探測器內的鋂半衰期為432.2年，衰變產生的輻射通過電離室，也就是兩片電極間充滿空氣的區間，電極間有著少量的電流。
煙霧進入電離室後會吸收輻射出來的**α粒子**，減少電離的程度，因此改變流通的電流，從而觸發警報。





法規條文 – 游離輻射防護法

第 2 條

本法用詞定義如下：

八、曝露：指人體受游離輻射照射或接觸、攝入放射性物質之過程。

九、職業曝露：指從事輻射作業所受之曝露。

一〇、醫療曝露：指在醫療過程中病人及其協助者所接受之曝露。

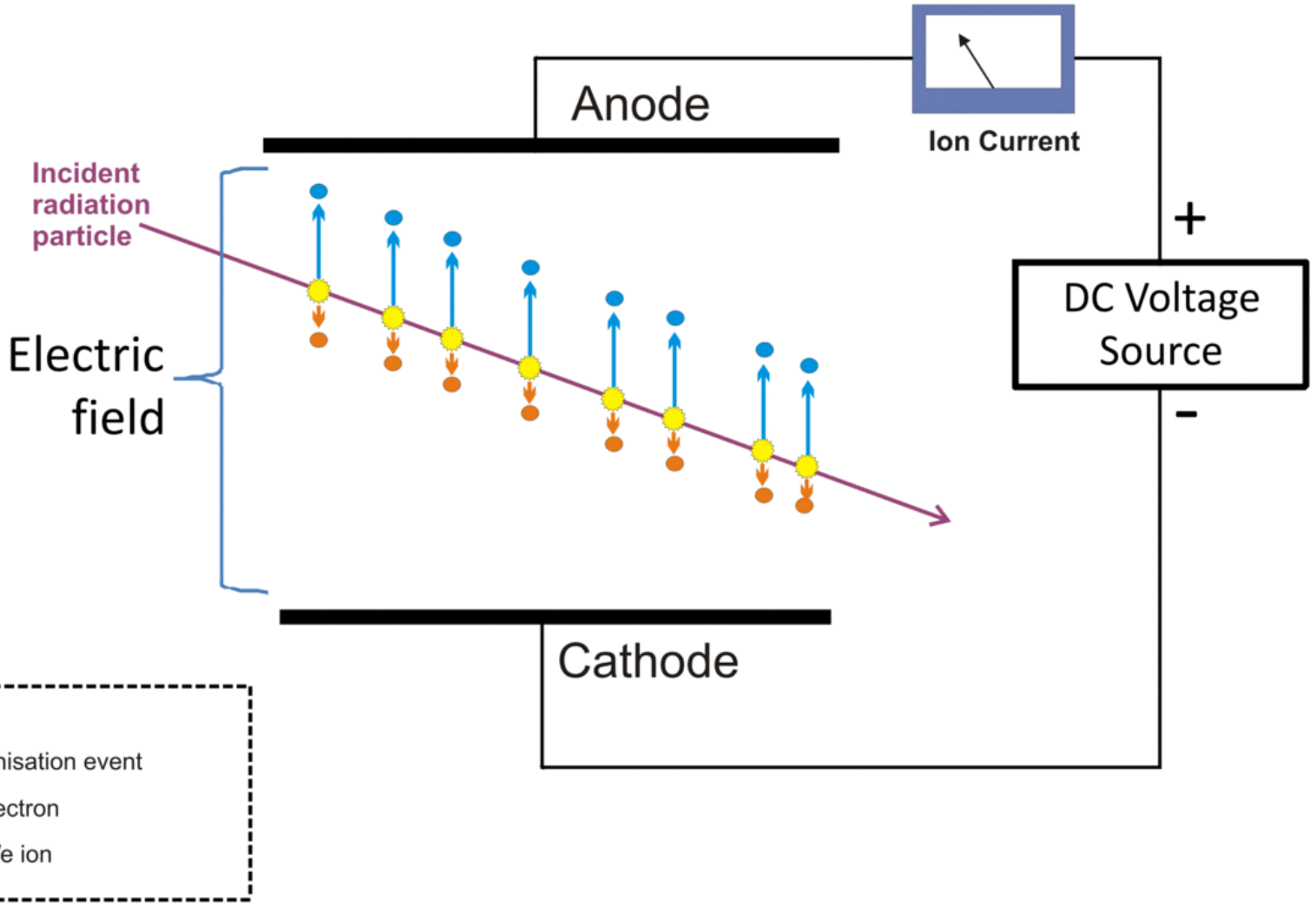
一一、緊急曝露：指發生事故之時或之後，為搶救遇險人員，阻止事態擴大或其他緊急情況，而有組織且自願接受之曝露。

一二、輻射作業：指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。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、廢棄或處置之作業及其他經主管機關指定或公告者。一六、輻射工作人員：指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員。

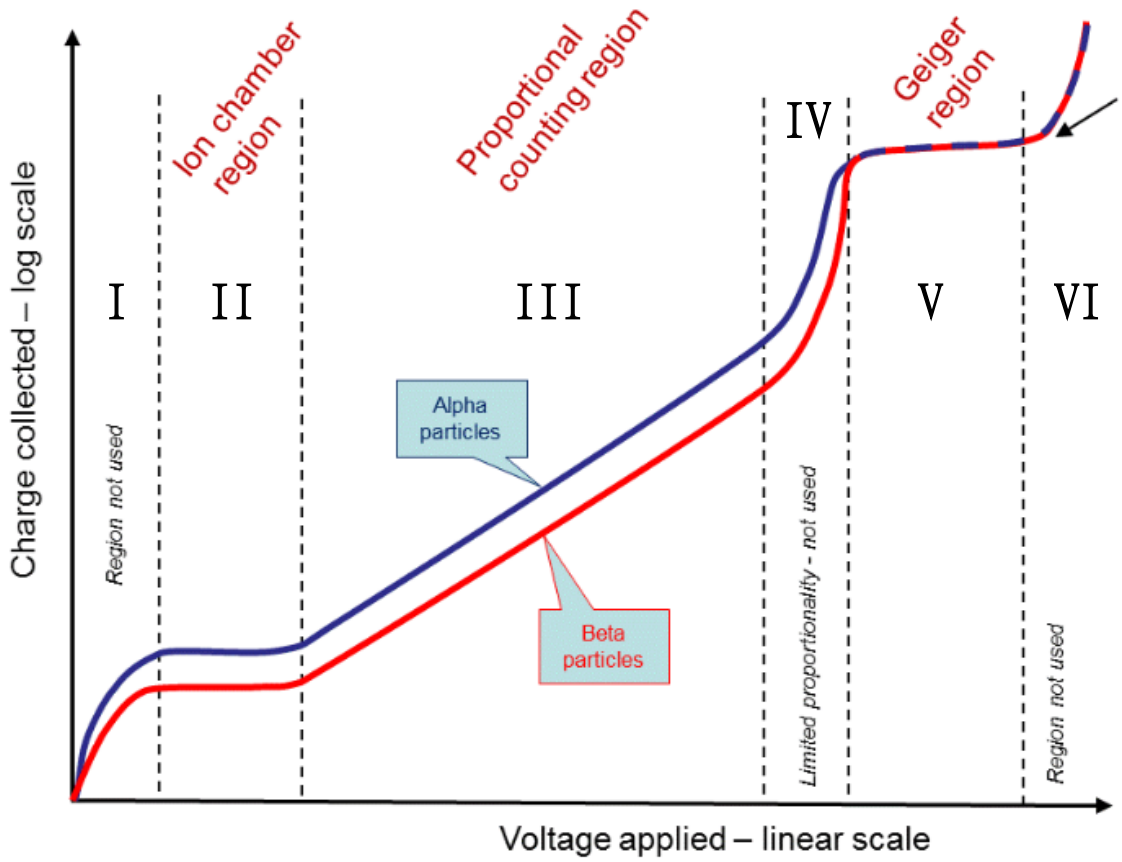
一七、西弗：指國際單位制之人員劑量單位。

一八、劑量限度：指人員因輻射作業所受之曝露，不應超過之劑量值。

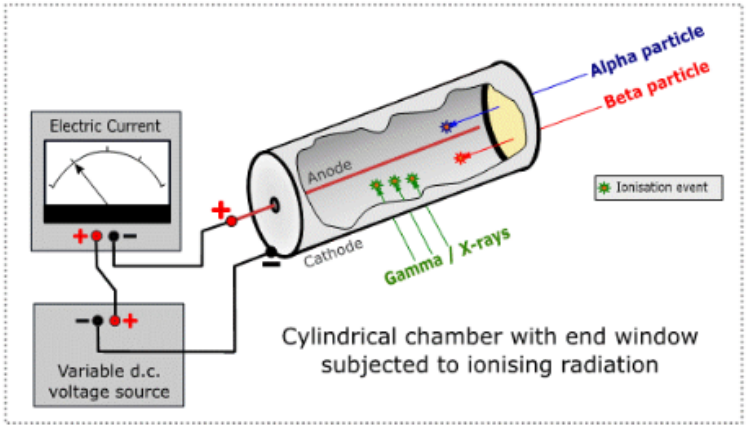
Visualisation of ion chamber operation



Variation of ion pair charge with applied voltage



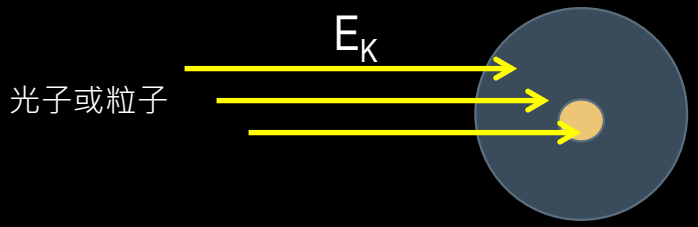
Experimental set-up of a cylindrical chamber



Low-penetrating radiation enters via an end window, but high-penetrating radiation can also enter via the cylinder side wall.

曝露

- 指人體受**游離輻射照射**或**接觸、攝入放射性物質**之過程。



在單位體積中游離空氣產生的電量 → R 或 C/kg
在單位體積中動能的損耗 → rad 或 gray
在單位體積中給予組織的能量 → rem 或 sivert

中文名稱	***Exposure***	***Conventional Unit***	***SI Unit***	***Conversions***
曝露	Exposure	roentgen (R)	coulomb/kg of air (C/kg)	1 C/kg = 3876 R 1 R = 258 uC/kg
吸收劑量 器官劑量	Dose	rad (R)	gray (Gy)	1 Gy = 100 rad
等價劑量 有效劑量	Dose equivalent Effective dose	rem	sievert (Sv)	1 Sv = 100 rem
活度	Activity	curie (Ci)	becquerel (Bq)	1 mCi = 37 MBq

輻射曝露類型

- **體內曝露**
  - 游離輻射由體外照射身體之曝露
  - 光子/電磁輻射為主要來源
  - 可用人員劑量計及/或環境監測曝露狀況
- **體外曝露**
  - 人體接觸或攝入放射性物質而造成之曝露
  - 放射性物質為主要來源，藉由吸入、食入進入人體
  - 可用化學(如硫酸亞鐵)及生物劑量計量測曝露情況



人員劑量配章

法規條文—游離輻射防護安全標準

第二條第五款

劑量：指物質吸收之輻射能量或其當量。

（一）**吸收劑量**：指單位質量物質吸收輻射之平均能量，其單位為戈雷，一千克質量物質吸收一焦耳能量為一**戈雷**。

（二）**等效劑量**：指人體組織或器官之吸收劑量與**射質因數**之乘積，其單位為**西弗**，射質因數依附表一之一（一）規定。

（三）**個人等效劑量**：指人體表面定點下適當深度處軟組織體外曝露之等效劑量。對於強穿輻射，為十毫米深度處軟組織；對於弱穿輻射，為〇・〇七毫米深度處軟組織；眼球水晶體之曝露，為三毫米深度處軟組織，其單位為**西弗**。

（四）**器官劑量**：指單位質量之組織或器官吸收輻射之平均能量，其單位為**戈雷**。

（五）**等價劑量**：指器官劑量與對應**輻射加權因數**乘積之和，其單位為**西弗**，輻射加權因數依附表一之一（二）規定。

（六）**約定等價劑量**：指組織或器官攝入放射性核種後，經過一段時間所累積之等價劑量其單位為**西弗**。一段時間為自放射性核種攝入之日起算，對十七歲以上者以五十年計算；對未滿十七歲者計算至七十歲。

（七）**有效劑量**：指人體中受曝露之各組織或器官之等價劑量與各該組織或器官之組織加權因數乘積之和，其單位為**西弗**，組織加權因數依附表一之二規定。

（八）**約定有效劑量**：指各組織或器官之約定等價劑量與組織加權因數乘積之和，其單位為**西弗**。

（九）集體有效劑量：指特定群體曝露於某輻射源，所受有效劑量之總和，亦即為該特定輻射源曝露之人數與該受曝露群組平均有 效劑量之乘積，其單位為**人西弗**。

吸收劑量 X

射質因數 Q(L)為以國際放射防護委員會在第六十號報告中規定之水中非限定線性能量轉移 L 表示之。

表一中各類輻射加權因數中未包括之輻射類型或能量，可以取人體組織等效球中 10 毫米深處之 $\overline{Q}$ 值作為 W_R 值，其公式如下：

$$\overline{Q} = \frac{1}{D}\int_0^{\infty} Q(L)D(L)dL \quad \text{.....(1.1)}$$

（1.1）式中 D 為吸收劑量，D（L）為 D 對於 L 中之分布。

$$Q(L) = \begin{cases} 1 & (L \le 10) \\ 0.32L - 2.2 & (10 < L \le 100) \\ 300/\sqrt{L} & (L \ge 100) \end{cases} \quad \text{.....(1.2)}$$

（1.1）、（1.2）式中 L 之單位為千電子伏／微米(keV · μm^{-1})

= 等效劑量

器官劑量 X

表一　各類輻射加權因數[1]

輻射種類與能量區間[2]	輻射加權因數 W_R
所有能量之光子	1
所有能量之電子及 μ 介子[3]	1
中子[4]能量<10 千電子伏(keV)	5
10 千電子伏(keV)—100 千電子伏(keV)	10
>100 千電子伏(keV)—2 百萬電子伏(MeV)	20
>2 百萬電子伏(MeV)—20 百萬電子伏(MeV)	10
>20 百萬電子伏(MeV)	5
質子(回跳質子除外)能量>2 百萬電子伏(MeV)	5
α 粒子，分裂碎片，重核	20

= 等價劑量

組織加權因數

等價劑量 X

表二　組織加權因數[1]

組織或器官	組織加權因數 W_T	組織或器官	組織加權因數 W_T
性腺	0.20	肝	0.05
紅骨髓	0.12	食道	0.05
結腸	0.12	甲狀腺	0.05
肺	0.12	皮膚	0.01
胃	0.12	骨表面	0.01
膀胱	0.05	其餘組織或器官	0.05[2][3]
乳腺	0.05		

= 有效劑量

ICRP Report 60

加權因數與組織加權因數

Tissue ($W_{T,26}$)

甲狀腺（0.03）

肺(0.12)

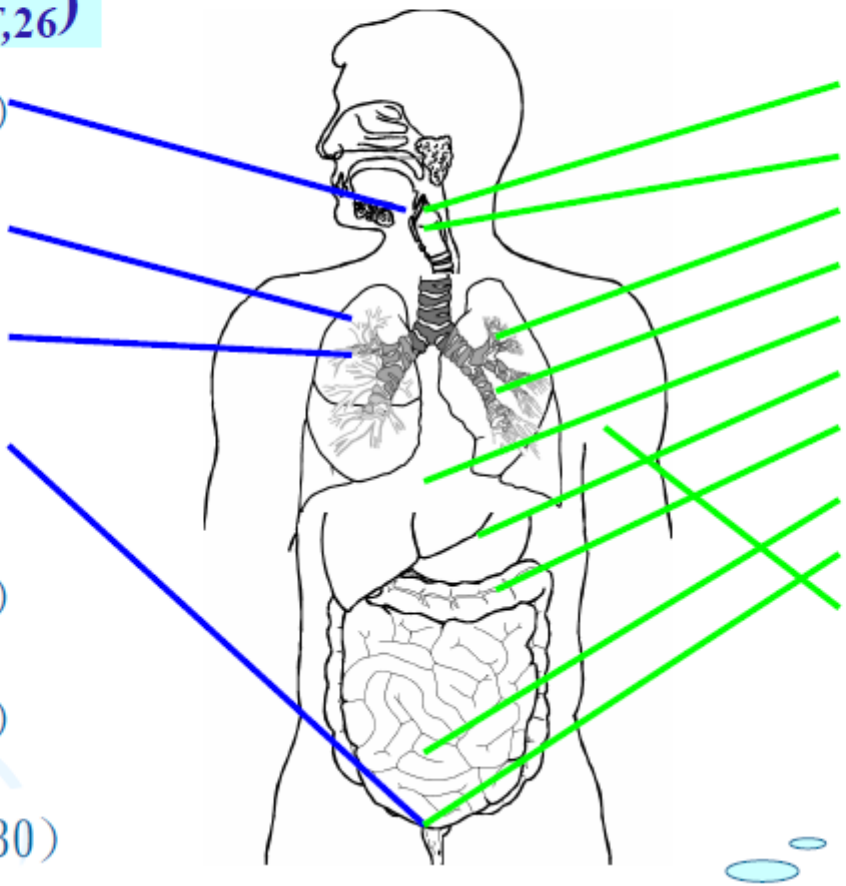
乳（0.15）

性腺(0.25)

骨表面（0.03）

紅骨髓（0.12）

其餘組織（0.30）

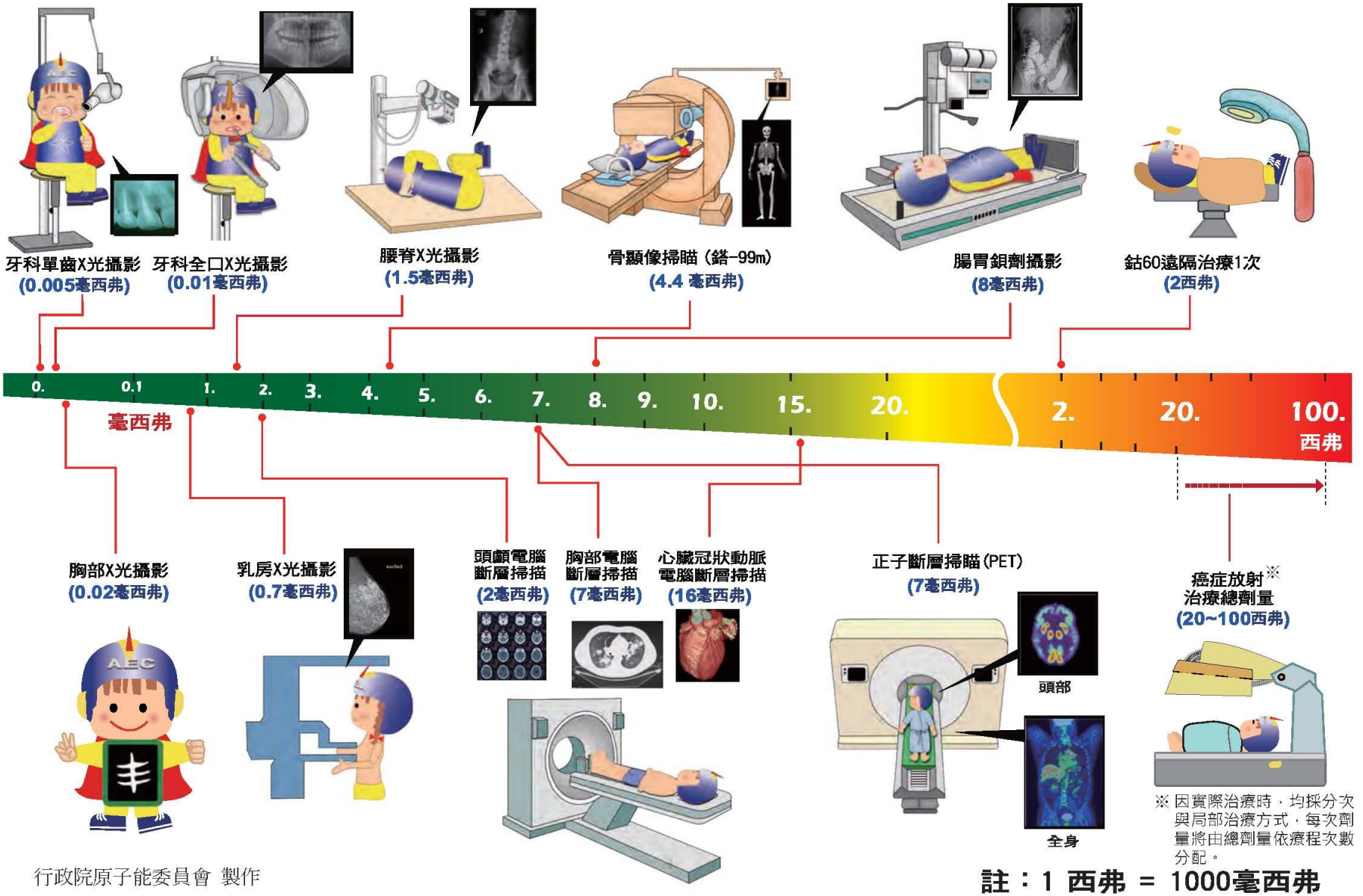


Tissue ($W_{T,60}$)

甲狀腺(0.05)
食道（0.05）
乳腺(0.05)
肺（0.12）
胃（0.12）
肝（0.05）
結腸(0.12)
膀胱(0.05)
性腺(0.20)
皮膚(0.01)
骨表面(0.01)
紅骨髓(0.12)
其餘組織(0.05)

ICRP Report 26

ICRP Report 60



資料來源：行政院原子能委員會網站

法規條文—游離輻射防護安全標準

第 七 條

輻射工作人員職業曝露之劑量限度，依下列規定：

一、每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。

二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。

三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

第 十 條

十六歲以上未滿十八歲者接受輻射作業教學或工作訓練，其個人年劑量限度 依下列規定：

一、有效劑量不得超過六毫西弗。

二、眼球水晶體之等價劑量不得超過五十毫西弗。

三、皮膚或四肢之等價劑量不得超過一百五十毫西弗。

第十一條

雇主於接獲**女性輻射工作人員**告知懷孕後，應即檢討其工作條件，使其胚胎或胎兒接受與一般人相同之輻射防護。 前項女性輻射工作人員，其賸餘妊娠期間**下腹部表面之等價劑量，不得超過二毫西弗**，且攝入體內放射性核種造成之**約定有效劑量不得超過一毫西弗**。

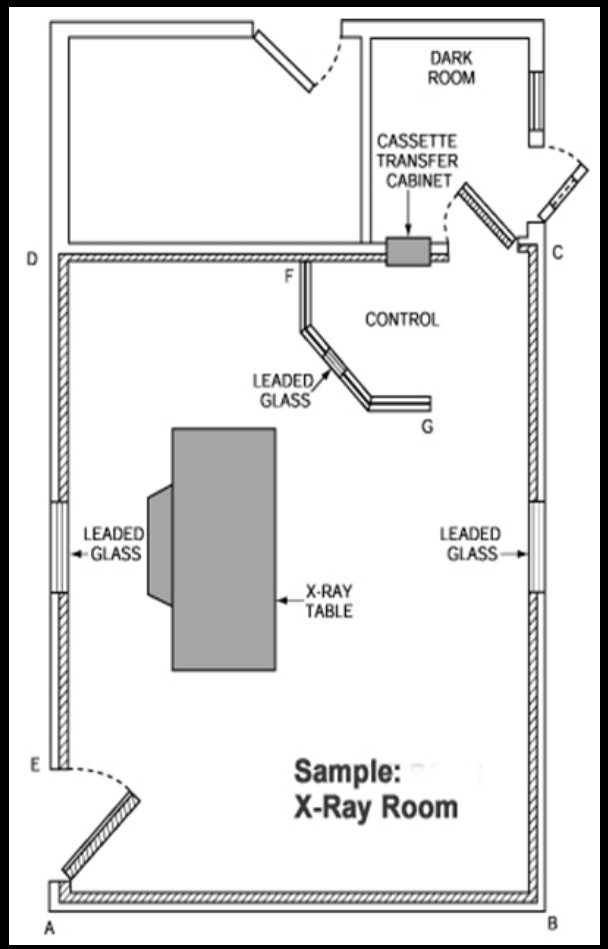
第十二條

輻射作業造成**一般人**之年劑量限度，依下列規定：

一、有效劑量不得超過一毫西弗。

二、眼球水晶體之等價劑量不得超過十五毫西弗。

三、皮膚之等價劑量不得超過五十毫西弗。



輻射工作人員	指受僱或自僱經常從事輻射作業，並認知會接受曝露之人員(在[1]輻射工作場所[2]從事或參與輻射作業之人員)	[3]進入輻射管制區應有健康(體格)檢查、年度訓練、劑量監測
		進入輻射工作場所所受曝露經[4]評估未超過1 mSv/年之虞，得免健康(體格)檢查、年度訓練，進入管制區仍應提供適當之人員劑量計及資訊
一般工作人員	於設施內非輻射工作人員	為加強輻防安全自主管理，雇主可提供健康檢查、年度訓練、劑量監測等全部或部份服務
		進入管制區仍應提供適當之人員劑量計及資訊
民眾		進入管制區仍應提供適當之人員劑量計及資訊

[1] 輻射工作場所：設施經營者應於其輻射防護計畫內依其輻射工作場所之設施、輻射作業特性及輻射曝露程度，劃分為管制區及監測區。管制區應設置實體圍籬，並於進出口處及區內適當位置，設立明顯之輻射示警標誌及警語。但實務上不能或不須設置實體圍籬的場所，得以其他適當方式劃定。監測區邊界之劃定得以適當方法為之。

[2] 排除臨時維修人員、清潔人員、訪客等。

[3] 包括輻射源操作人員。

[4] 應考量操作疏失、裝置故障、意外事故處理等潛在風險

七、X光室之輻射偵測：

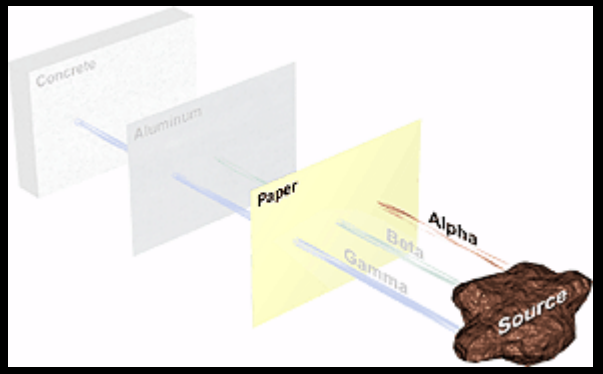
測定條件_____kVp_____mA_____sec	
□管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過10μSv/h。(≧10μSv/h者需附符合工作人員年劑量限度說明)。	□管制區外距任何可以接近X光室四週障壁外表面30cm處之劑量率最高不超過0.5μSv/h。(>0.5μSv/h者需附符合一般人年劑量限度說明)。

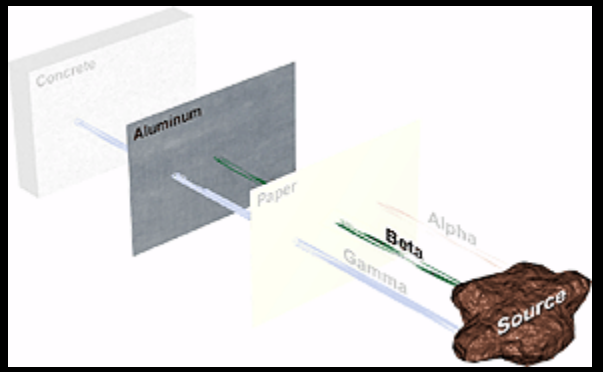
X光室平面圖及周圍環境(測得之劑量平均值請註明於圖上相關位置)

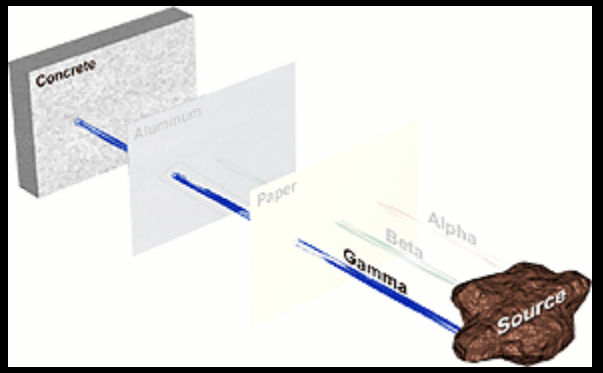
放射性物質的防護

- α、β：避免接觸、攝入放射性物質
  - α 在空氣中平均射程約 3 公分 (1.2 英吋) → 皮膚、紙片可阻擋
  - β 在空氣中平均射程約 300 公分 (10英尺) → 5 公分厚的水、玻璃片或金屬片可阻擋
- γ：與光子的能量有關
  - **半值層** (Half-value layer)：使光子強度減弱為原來一半所需要的厚度
  - $\mathrm{I} = I_0 e^{-\frac{0.693}{HVL}t}$

HVL也與阻擋材料有關







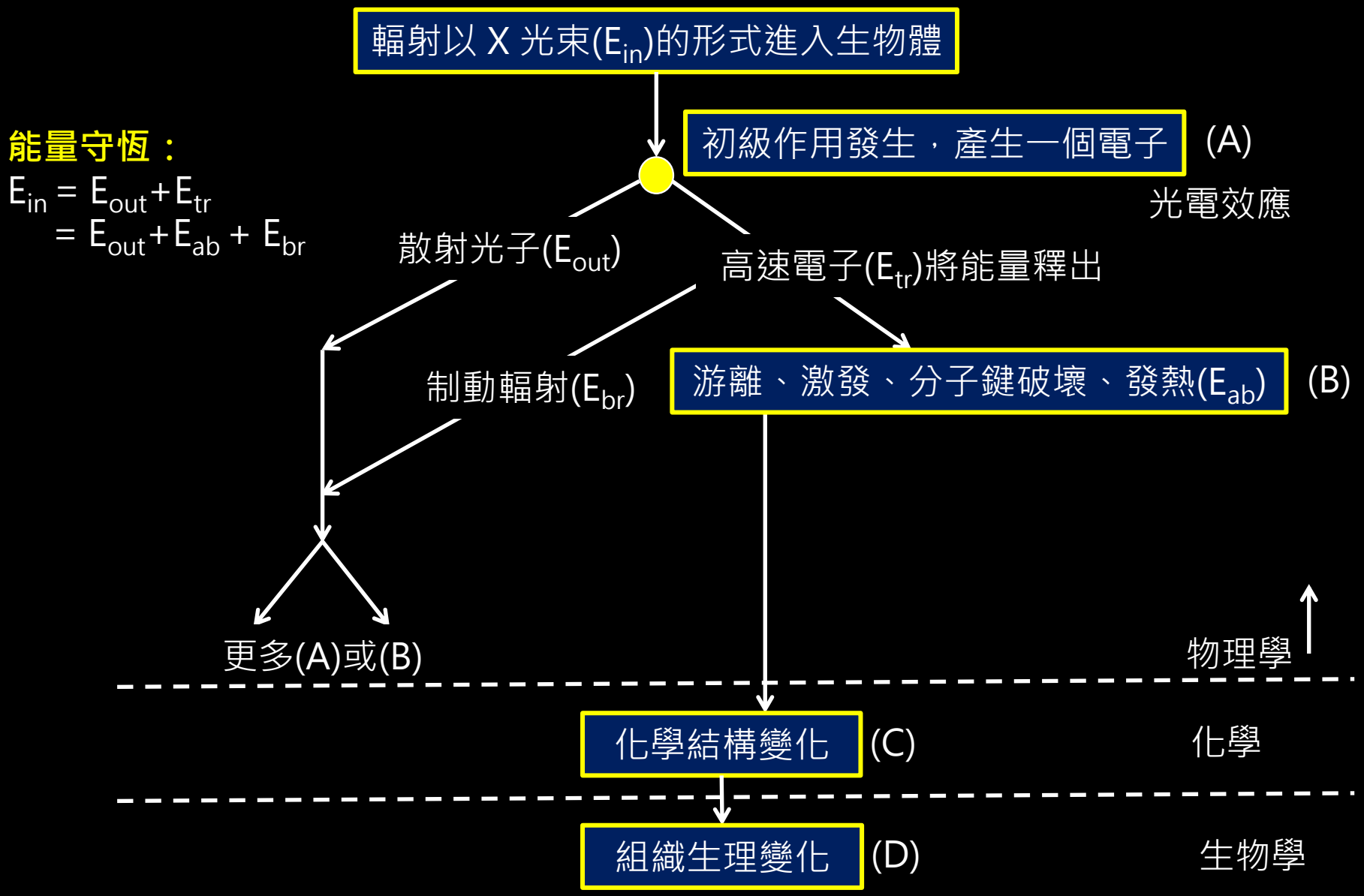
	Half-Value Layer, mm (inch)	
Peak Voltage (kVp)	Lead	Concrete
50	0.06 (0.002)	4.32 (0.170)
100	0.27 (0.010)	15.10 (0.595)
150	0.30 (0.012)	22.32 (0.879)
200	0.52 (0.021)	25.0 (0.984)
250	0.88 (0.035)	28.0 (1.102)
300	1.47 (0.055)	31.21 (1.229)
400	2.5 (0.098)	33.0 (1.299)
1000	7.9 (0.311)	44.45 (1.75)



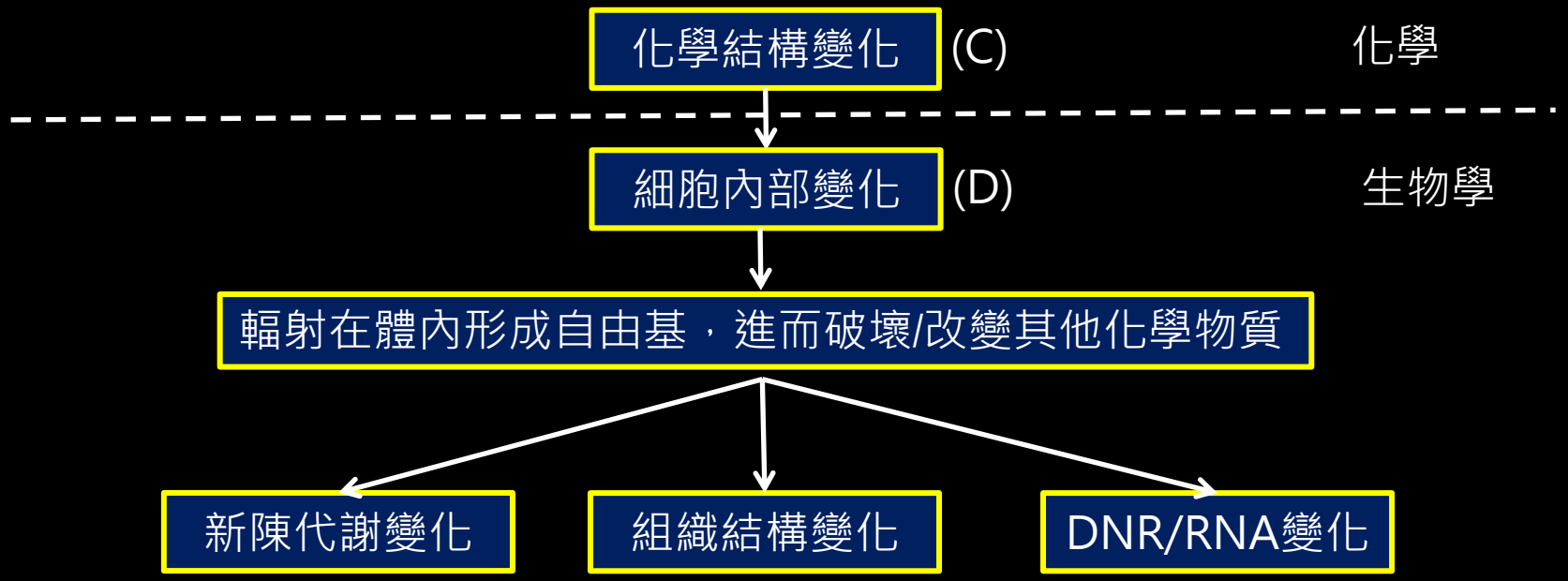
X-Ray 球管技術資料

參考軸	參見下圖參考軸圖
焦點和參考軸之間的公差	1.5 mm
標稱焦點值	0.6 依照 IEC 60336
陽極靶材	（W）鎢(Tungsten)
目標角度	20°
操作方式	連續
單負載額定值	76 W（1 mA，76 kV）長達 30 分鐘
串聯額定負載	76 W（1 mA，76 kV）長達 30 分鐘
輸入功率	76 W (1 mA, 76 kV)
X-Ray 球管電壓連續輸入功率最高值	76 W（1 mA，76 kV）
額定連續輸入功率	76 W（1 mA，76 kV）
永久過濾	3.1 mm Al / 76 kV 依照 IEC 60522
X-Ray 球管電壓	76 kV -陽極(Anode) 至 陰極(Cathode)
電性分類	電性第 I 等級設備
重量	< 18 kg
重複輸出	最大 5% CV
kV 準確度	最大 ± 5%
mA 準確度	最大 ± 20%
焦點到圖像受體上距離	67 cm
患者和圖像接收器之間的材料衰減當量	< 0.3mm Al
最大散熱	130 W

光子/電磁輻射與生物體的交互作用



光子/電磁輻射與生物體的交互作用



確定效應

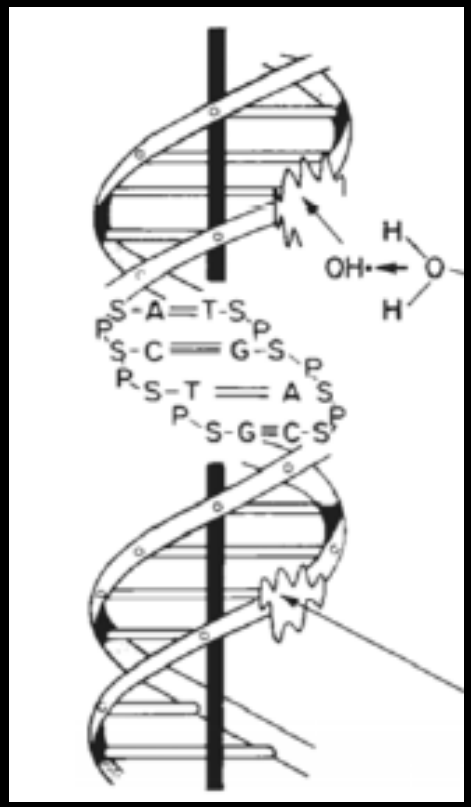
脫髮
嘔吐 (腸胃道系統症狀)
神經系統症狀
皮膚紅腫
血液改變
白內障

機率效應

遺傳變異
癌症

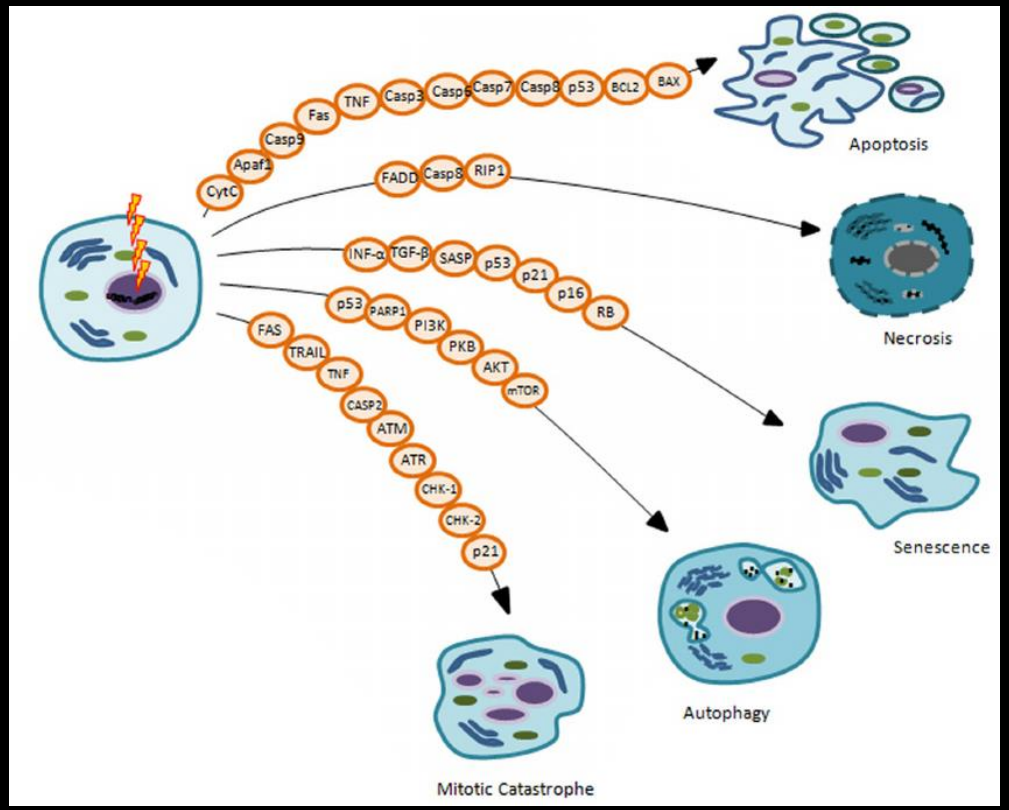
游離輻射對細胞的作用

- 細胞膜：對輻射最不敏感，約需30 – 50 Gy 才會被破壞
- 酵素作用：需高達10,000 Gy 才會被破壞
- 細胞核：需數 Gy 就可造成染色體變異與細胞突變



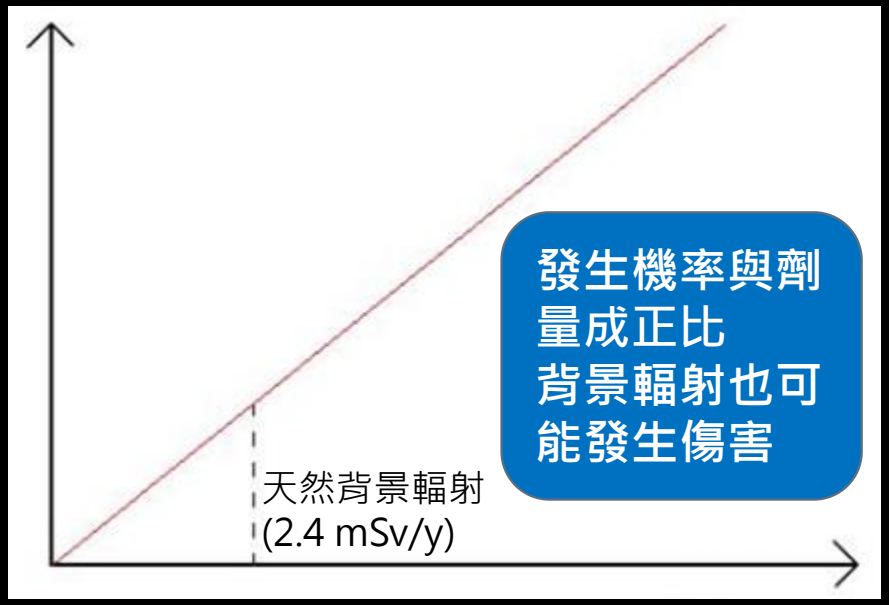
間接作用：
游離水分子產生**自由基**→破壞DNA

直接作用：
DNA直接被輻射破壞



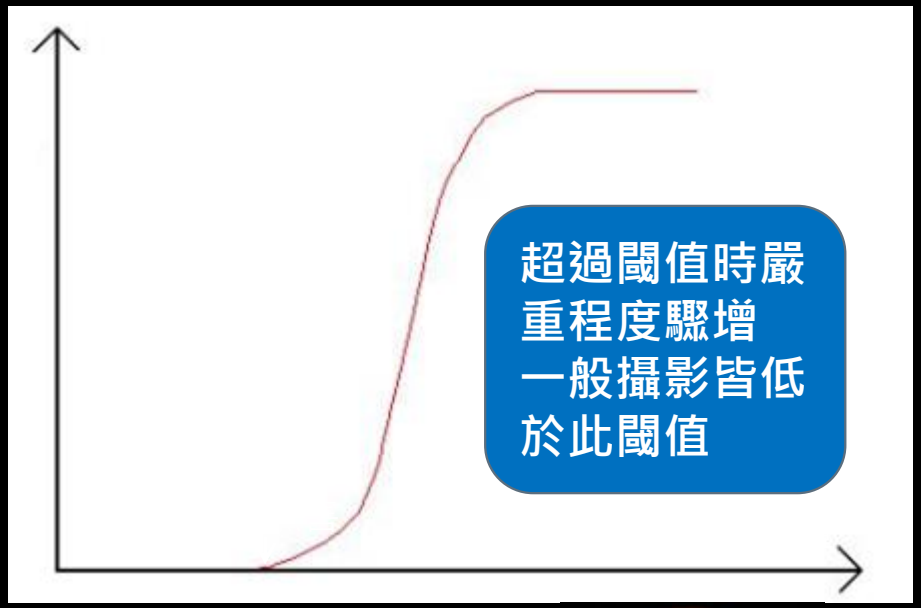
輻射曝露傷害

機率效應 Stochastic Effect



輻射傷害類型：
DNA破壞引發之癌症或遺傳疾病

確定效應 Deterministic Effect



輻射傷害類型：
紅斑
噁心
脫毛
白內障



受曝露者個體因素(細胞/DNA修復能力、年齡、性別、體型、循環系統等)的差異，會使發生機率或閾值改變

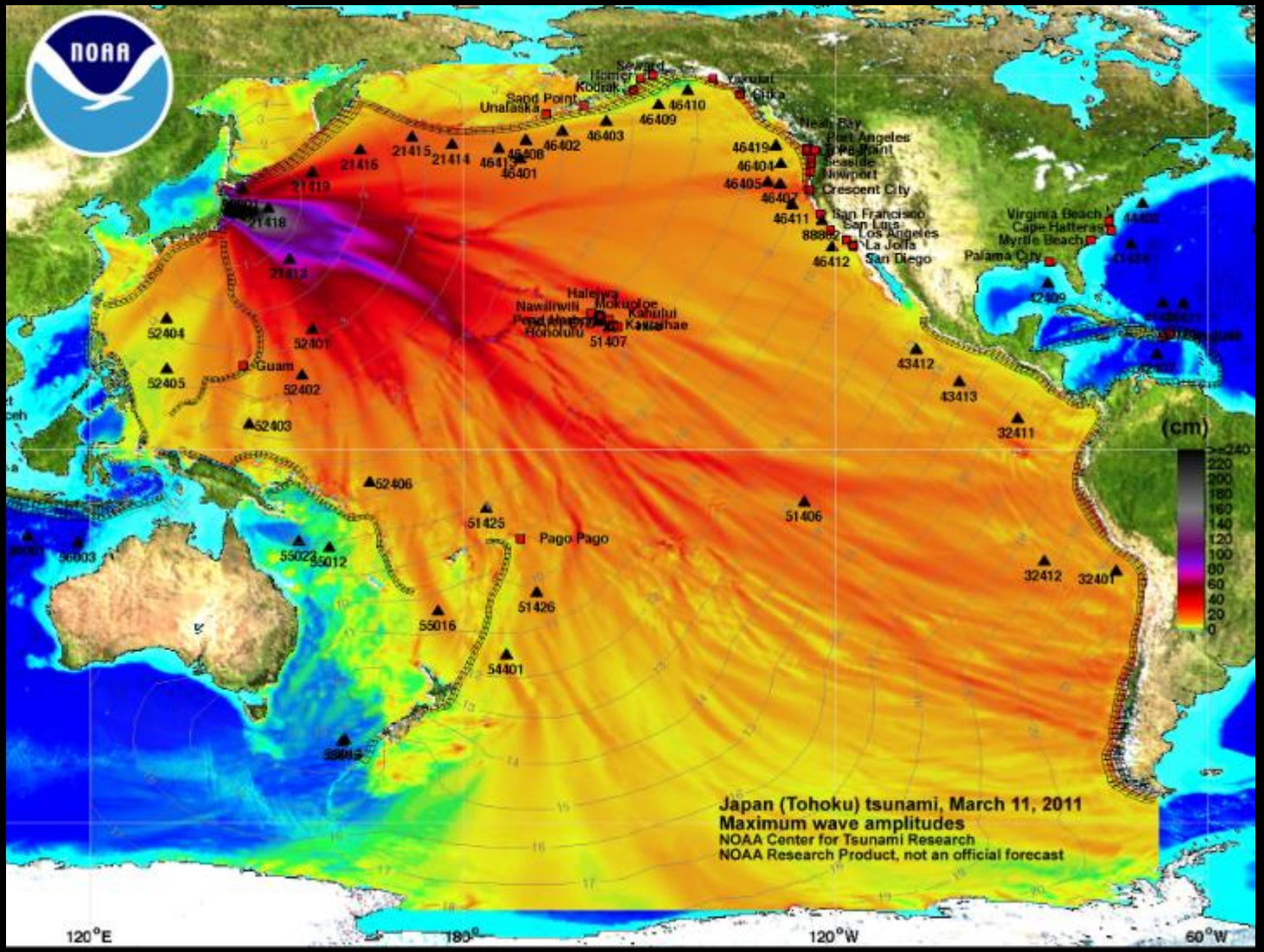
確定效應：急性大劑量輻射傷害症狀
Acute Radiation Syndrome (ARS)

- **ARS (單次大量[>1.5 Gy]輻射曝露)引發症狀**
  - 造血系統症狀 – Hematopoietic syndrome　[幾乎]
  - 消化系統症狀 – Gastrointestinal syndrome　[常見]
  - 中樞神經症狀 – Central Nervous system　[罕見]
- **臨床表現**
  - 噁心、嘔吐、倦怠、喪失食慾

輻射劑量 (Gy)	影響
1	噁心、嘔吐、腹瀉、倦怠等
3 – 5	貧血、出血 50%的人在60天內死亡
7 – 10	小腸損傷、低血壓、潰瘍以及循環系統崩潰 在1 – 2 周內死亡
> 25	昏迷、震顫、共濟失調(ataxia)、抽搐、譫妄(delirium) 在1 – 2 天內死亡

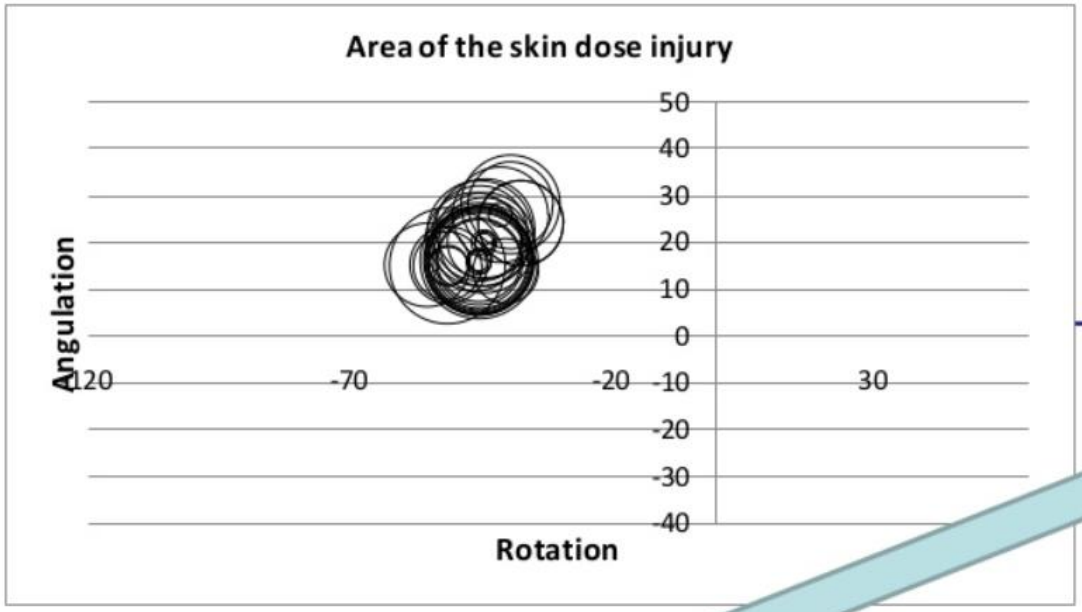
單次體外全身輻射曝露傷害效應

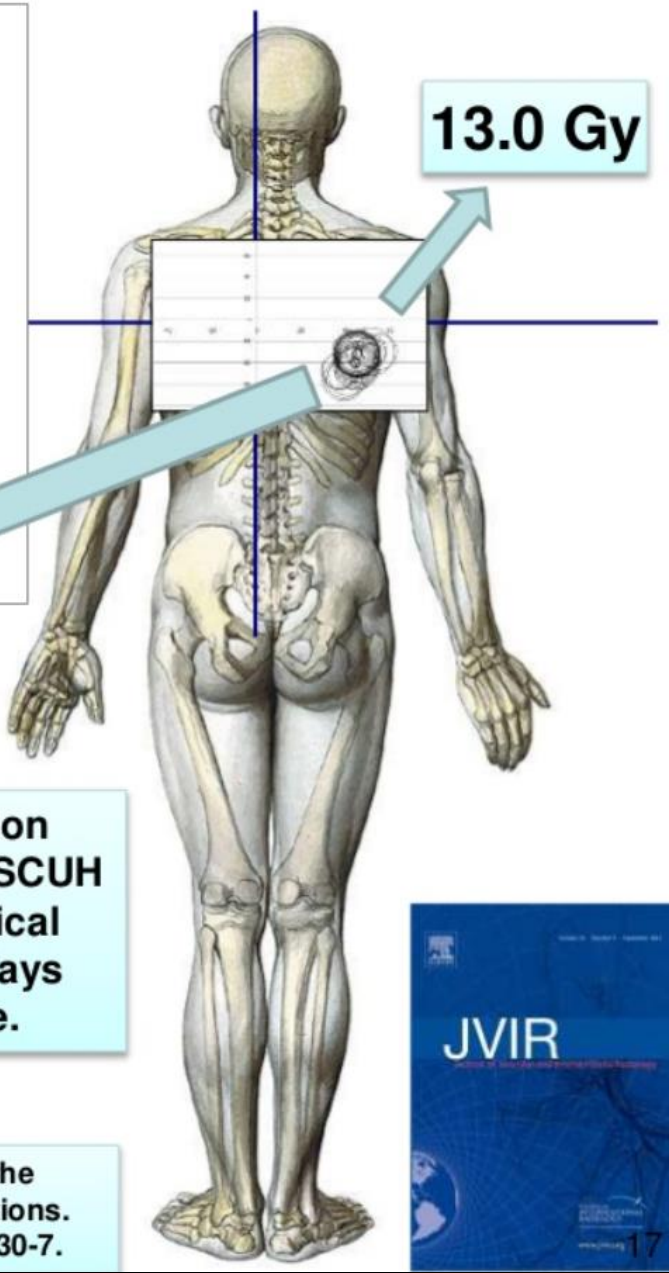
輻射劑量 (西弗Sv)	症狀
< 0.1	無可察覺症狀，但延遲輻射病症的產生仍可能發生
0.1 – 0.25	能引起血液中淋巴球的染色體變異
0.25 – 1.00	可能發生短期的血球變化(淋巴球、白血球減少)，有時有眼結膜炎的發生，但不至發生機能之影響
1.00 – 2.00	有疲倦、噁心、嘔吐現象，血液中淋巴球及白血球減少後恢復緩慢
2.00 – 4.00	24小時內會噁心、嘔吐，數周內有脫髮、食慾不振、虛弱、腹瀉及全身不適等症狀，可能死亡
4.00 – 6.00	與前者相似，但症狀顯示得較快，在2-6週內死亡率為50%
6.00 以上	若無適當醫護，死亡率為 100%


NOAA
Seward
Homer
Kodiak
Sand Point
Unalaska
Yakutat
Sitka
46410
46409
46403
46402
46408
46419
46404
46405
46407
46411
46412
Neah Bay
Port Angeles
Seaside
Newport
Crescent City
San Francisco
San Luis
Los Angeles
La Jolla
San Diego
Virginia Beach
Cape Hatteras
Myrtle Beach
Palama City
21416
21415
21414
46401
21419
21418
21413
Haleiwa
Nawiliwili
Mokuoloe
Kahului
Kaneohe
Honolulu
51407
52404
52401
52405
Guam
52402
52403
43412
43413
32411
(cm)
>=240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
52406
51425
Pago Pago
51406
32412
32401
55022
55012
55016
51426
54401
120°E
180°
120°W
60°W
Japan (Tohoku) tsunami, March 11, 2011
Maximum wave amplitudes
NOAA Center for Tsunami Research
NOAA Research Product, not an official forecast











Chronic total occlusion procedure made at the SCUH on October 2010. Cinical follow-up. Image 45 days after the procedure.

Importance of a patient dosimetry and clinical follow-up program in the detection of radiodermatitis after long percutaneous coronary interventions. Vano E, Escaned J, et al. Cardiovasc Intervent Radiol. 2013 Apr;36(2):330-7.

Table 2.2. Thresholds for tissue reactions (ICRP, 2007).

Tissue and effect	Threshold	
	Total dose in a single exposure (Gy)	Annual dose in the case of fractionated exposure (Gy/year)
Testes		
Temporal sterility	0.1	0.4
Permanent sterility	6.0	2.0
Ovaries		
Sterility	3.0	>0.2
Lens		
Cataract (visual impairment)	0.5	0.5 divided by years of duration
Bone marrow		
Depression of haematopoiesis	0.5	>0.4
Heart or brain		
Circulatory disease	0.5	0.5 (total dose for fractionated exposure)

機率效應

- 低劑量率時的風險因數 (detriment-adjusted nominal risk coefficient)
  - 癌症發生 – 每 1 Sv 會增加 5.5%
  - 基因病變 – 每 1 Sv 會增加 0.2% (動物實驗數據)
- 致癌風險是由機率決定的
  - 單一器官劑量 > 100 mGy 時 → 引發癌化效應

1 chest CT scan ~ 8 mSv → 20 mGy to breast
5 ~ 15 CT scans → carcinogenic effects

機率效應是沒有閾值的

機率效應

Hiroshima and Nagasaki

For the average radiation exposure of survivors within 2,500 meters (about 0.2 Gy), the increase is about 10% above normal age-specific rates. For a dose of 1.0 Gy, the corresponding cancer excess is about 50% (relative risk = 1.5)

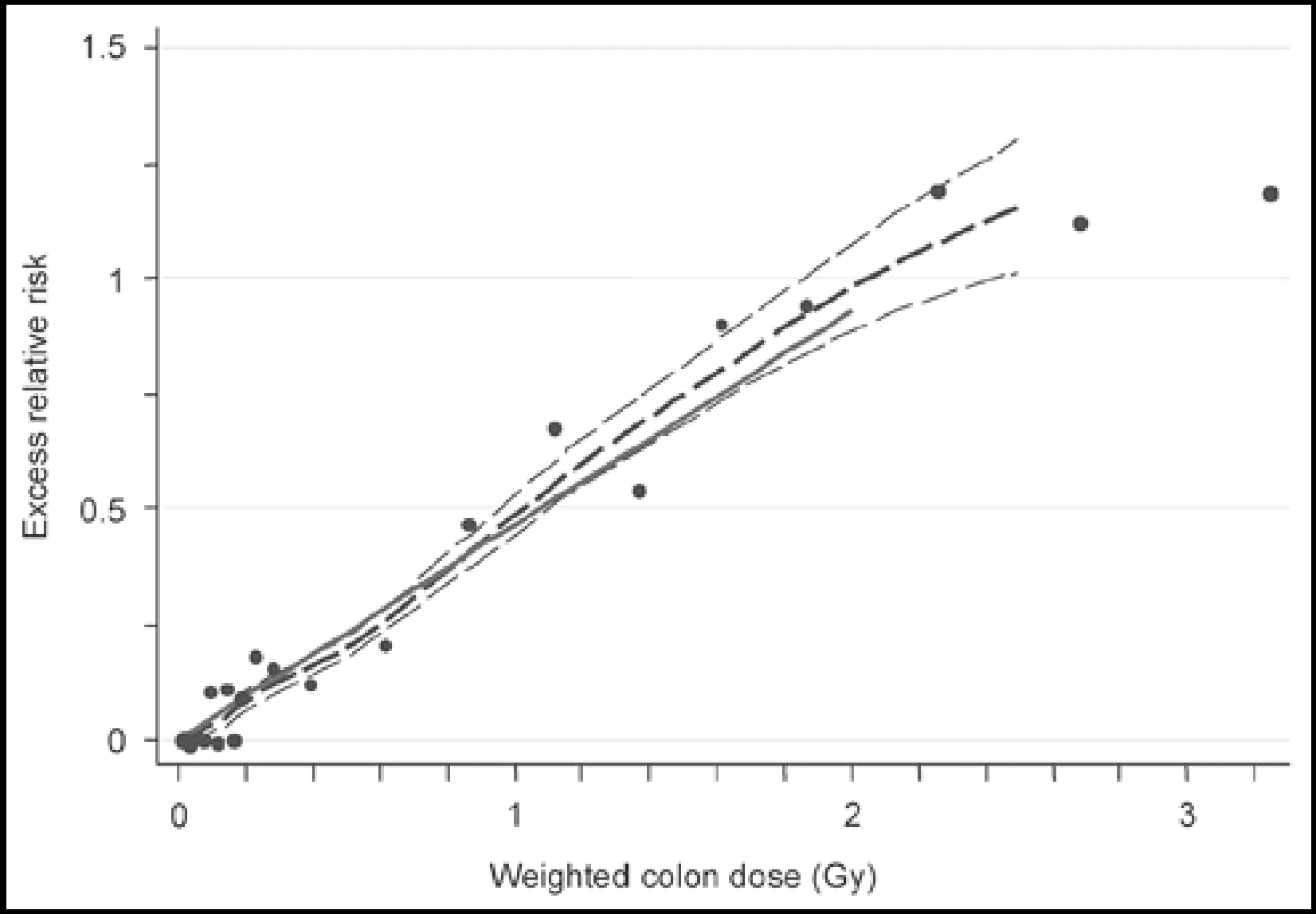
The excess number of solid cancers is estimated as 848 (10.7%)

Table. Excess risk of developing solid cancers in LSS, 1958-1998

Weighted colon dose (Gy)	LSS subjects	Cancers		Attributable risk
		Observed	Estimated excess	
0.005 - 0.1	27,789	4,406	81	1.8%
0.1 - 0.2	5,527	968	75	7.6%
0.2 - 0.5	5,935	1,144	179	15.7%
0.5 - 1.0	3,173	688	206	29.5%
1.0 - 2.0	1,647	460	196	44.2%
>2.0	564	185	111	61.0%
Total	44,635	7,851	848	10.7%

http://www.rerf.jp/radefx/late_e/cancrisk.html

The dose-response relationship appears to be linear, without any apparent threshold below which effects may not occur



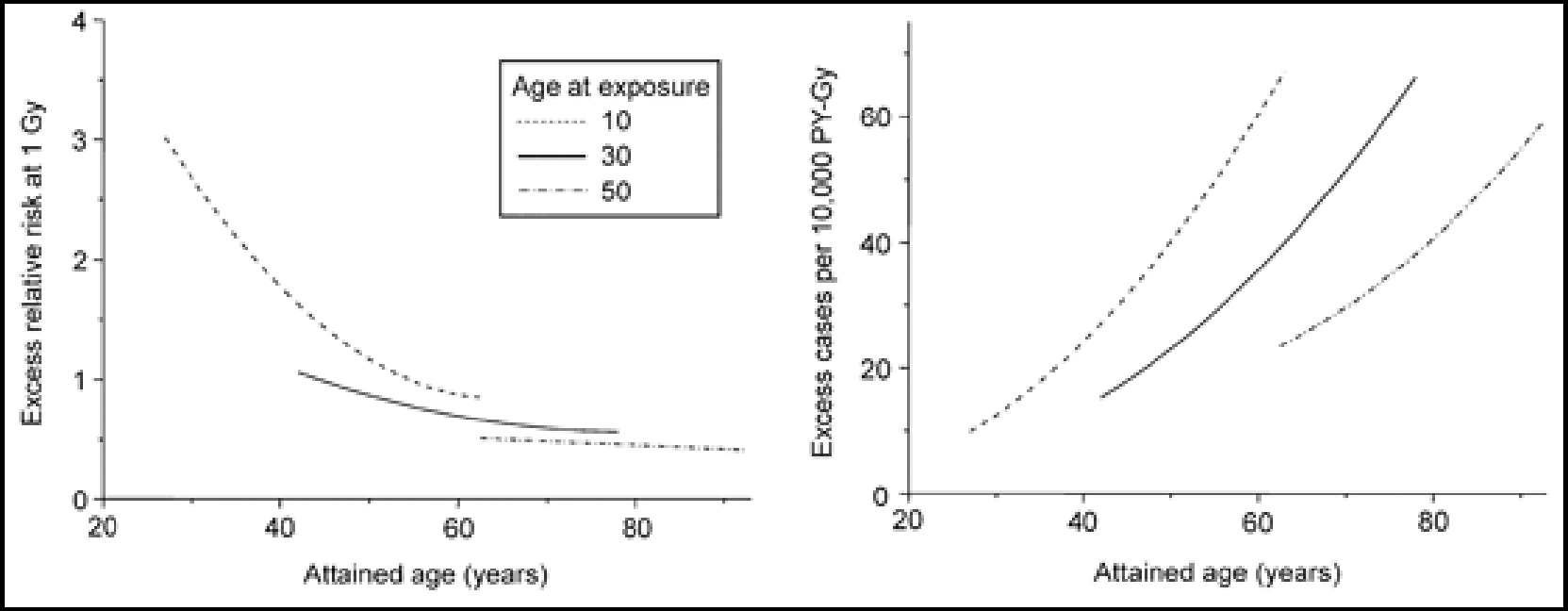
The probability that an A-bomb survivor will have a cancer caused by A-bomb radiation (excess lifetime risk) depends on the

(1)dose received

(2)age at exposure

(3)sex

Other analyses (not shown) indicate that females have somewhat higher risks of cancer from radiation exposure than males do.



一般X光攝影之胎兒輻射劑量

Estimated Fetal Radiation Dose Based on "Typical" Exposure Values

Study	Fetal Dose mrem, (mSv)			
	Early Pregnancy	3-Month	6-Month	9-Month
AP Pelvis	144 (1.44)	131 (1.31)	127 (1.27)	157 (1.57)
PA Pelvis	40 (0.40)	16 (0.16)	232 (2.32)	100 (1.00)
Lateral Pelvis	53 (0.53)	32 (0.32)	48 (0.48)	52 (0.52)
AP T-Spine (wide FOV)	1.8 (0.018)	1.1 (0.011)	6.9 (0.069)	13 (0.13)
AP T-Spine (narrow)	1.2 (0.012)	0.8 (0.008)	4.6 (0.046)	8.9 (0.089)
Lateral T-Spine	0.6 (0.006)	0.6 (0.006)	1.7 (0.017)	3.2 (0.032)
AP Lumbar Spine	225 (2.25)	197 (1.97)	394 (3.94)	926 (9.26)
Lat Lumbar Spine	113 (1.13)	62 (0.62)	84 (0.84)	85 (0.85)

一般而言，胎兒劑量 <5000 mrem (0.05 Gy, 50 mGy)的曝露對胎兒是安全的。

https://radpage.wordpress.com/radiation-dose-tidbits/

IMAGING of MOTHER	MREM DOSE TO FETUS
Abdomen CR	220
Chest CR	0.5
Extremities CR	<0.50
Femur (distal) CR	1
Hip & Femur (proximal) CR	120
Lumbar Spine CR	720
Pelvis CR	210
Thoracic Spine CR	11
Intravenous Pyel (IVP)	590
Mammography	<10
Abdomen CT	200-400
Abdomen Pelvis CT	2000
Chest CT for PE	5-10
V/Q	72

1 mrem = 0.01 mSv

1 Gy (gray) = 1 Sv (Sievert)

在受孕的前2周，若胎兒劑量 > 0.1 Gy，可能會導致胚胎死亡。

胎兒受到輻射可能產生的影響(癌症除外)

緊急曝露時胚胎/胎兒的劑量	卵子受精後的時間				
	胚胎成形 (2 周內)	器官生成 (2-7 周)	胚胎發育 (8-15 周)	(16-25 周)	(26-38 周)
< 0.05 Gy	沒有發現任何非癌症病變				
0.05-0.50 Gy	可能稍微提高著床失敗率，存活的胚胎不會有明顯的病變	• 嚴重畸形的發生率會稍微提高 • 可能會有生長遲緩	• 可能會有生長遲緩 • 可能會有智力下降(與劑量有關) • 最高有 20%機率會發生心智發展遲緩(與劑量有關)	應與非癌症病變無關	
> 0.50 Gy	著床失敗率會很高，存活的胚胎不會有明顯的病變	• 流產的發生率會提高(與劑量有關) • 有極高機率發生嚴重畸形，例如神經或運動缺陷 • 應會生長遲緩	• 流產的發生率會提高(與劑量有關) • 應會生長遲緩 • 智力下降(與劑量有關) • 最高有 20%機率會發生心智發展遲緩(與劑量有關) • 可能增加發生嚴重畸形的機率	• 流產的發生率會提高(與劑量有關) • 會生長遲緩 • 智力下降(與劑量有關) • 可能會發生嚴重心智發展遲緩(與劑量有關) • 可能增加發生嚴重畸形的機率	流產與胎兒早期死亡的發生率會提高(與劑量有關)

1 Gy 的胎兒劑量大約會殺死50%的胚胎；
要100%殺死胚胎或胎兒，大約需要5 Gy。
在成人，LD50/60的劑量大約3-5 Gy，LD100大約是10 Gy。

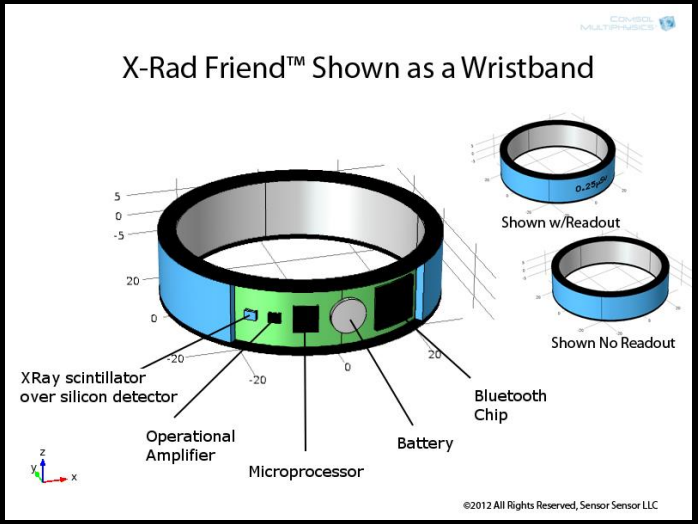
個人輻射劑量計






POLIMASTER
REC 10:23
DER 26%
0.14µSv/h
START
NEXT




X-Rad Friend™ Shown as a Wristband
Shown w/Readout
Shown No Readout
XRay scintillator over silicon detector
Operational Amplifier
Microprocessor
Battery
Bluetooth Chip
©2012 All Rights Reserved, Sensor Sensor LLC

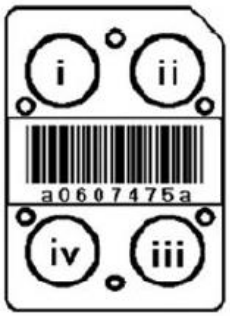
熱發光劑量計(TLD)
個人劑量計



Typical TLD Card Configuration

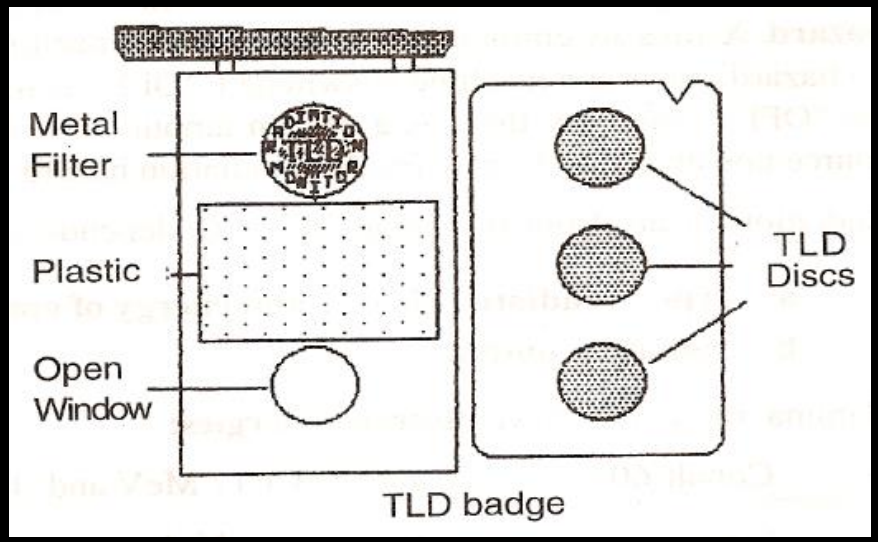
Position/Element 1:
Low Energy Photon Discrimination and Lens dose (Hp(3))
- ~300 mg/cm² filtration

Position/Element 2:
Deep dose (Hp(10))
- 1000 mg/cm² filtration



Position/Element 4:
Mid-Energy Photon Discrimination and Neutron dose
- Li-6 isotope
- Various filtration

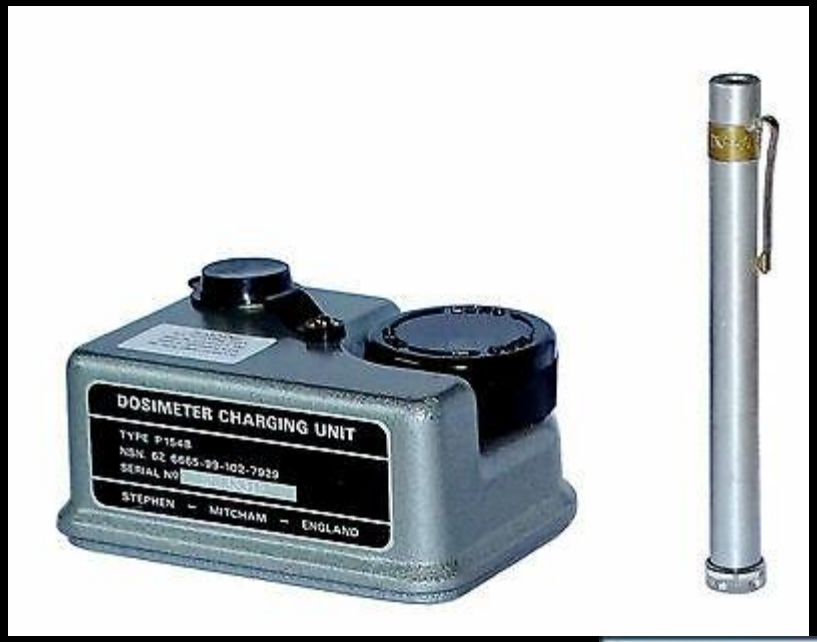
Position/Element 3:
Shallow dose (Hp(0.07))
- ~17 mg/cm² filtration

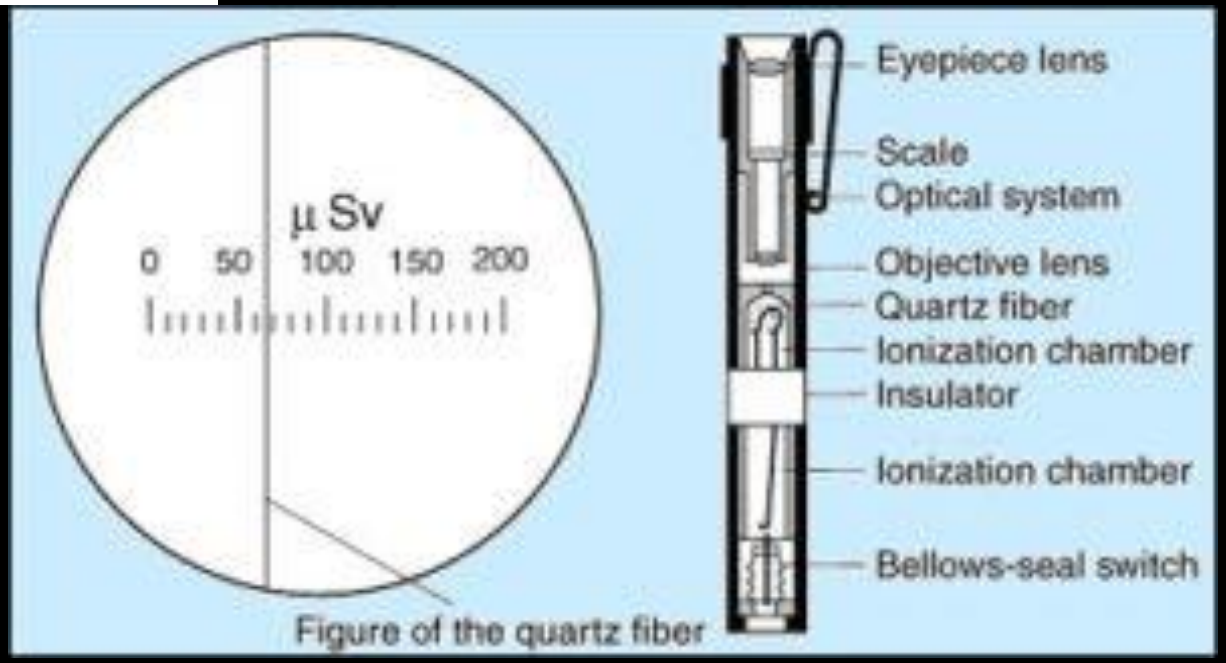


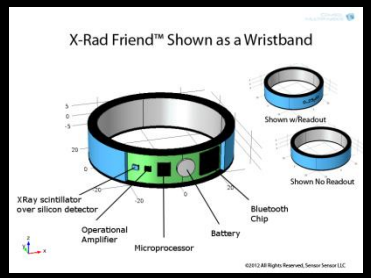
軟片式個人劑量計



筆式輻射劑量計


DOSIMETER CHARGING UNIT
TYPE P1543
NSN 6665-99-102-7929
SERIAL No
STEPHEN – MITCHAM – ENGLAND


μ Sv
0
50
100
150
200
Figure of the quartz fiber
Eyepiece lens
Scale
Optical system
Objective lens
Quartz fiber
Ionization chamber
Insulator
Ionization chamber
Bellows-seal switch



輻射工作人員職業曝露之劑量限度

一、每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。

二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。

三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

輻射防護要領 – S.T.D

- **S：Shielding – 使用防護設備**
- **T：Time – 縮短曝露時間**
- **D：Distance – 增加與輻射源距離**













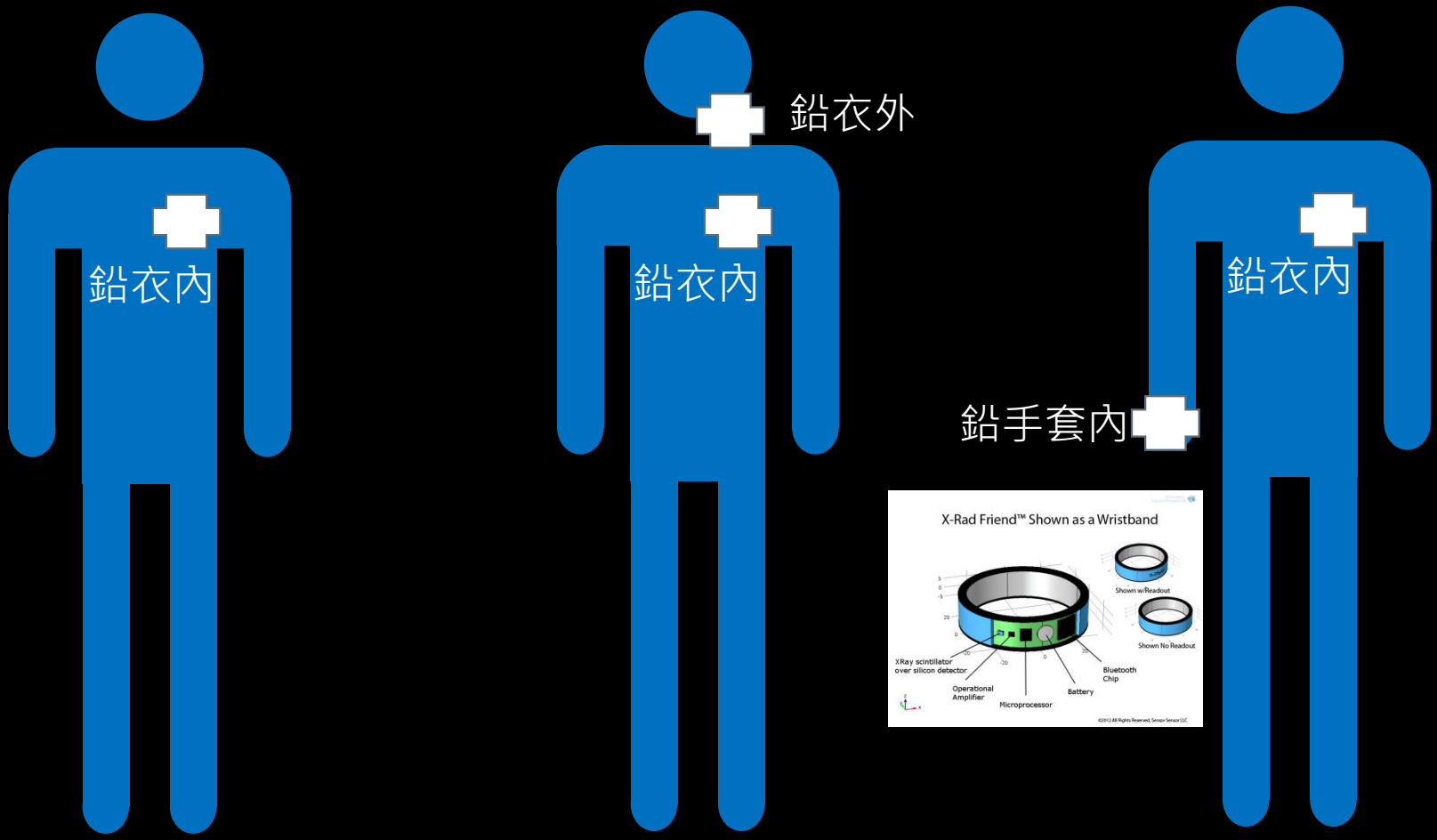
0.5 mm Pb 衰減約 95% 的輻射







有穿戴防護設備時



輻射工作人員職業曝露之劑量限度

一、每連續五年週期之有效劑量不得超過一百毫西弗，且任何單一年內之有效劑量不得超過五十毫西弗。

二、眼球水晶體之等價劑量於一年內不得超過一百五十毫西弗。

三、皮膚或四肢之等價劑量於一年內不得超過五百毫西弗。

CHEST PA & Lat — *8:1-10:1 grid — typical single-phase/200 speed imaging*

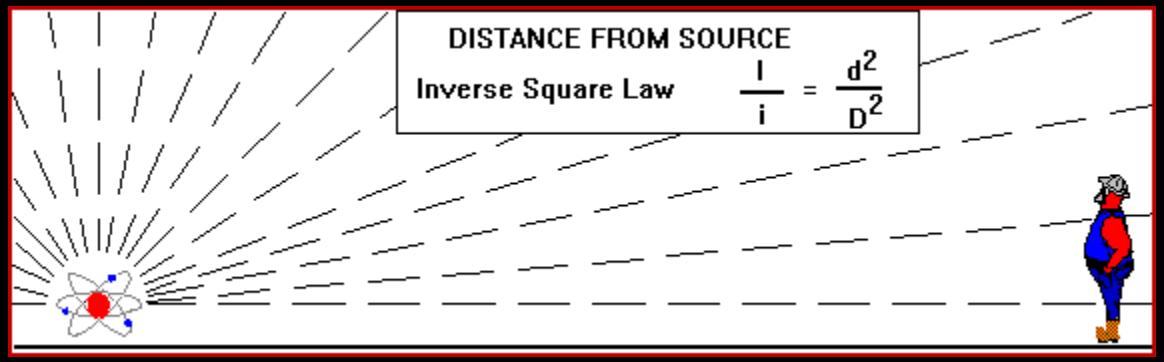
CM 72" SID	15	20	25	30	35	40	45
kVp	110	110	110	110	110	110	110
mA & S	200 mA 1/60 S (3.3 mAS)	200 mA 1/30 S (6.7 mSA)	300 mA 1/20 S (15 mAS)	300 mA 1/10 S (30 mAS)	300 mA 1/5 S (60 mAS)	300 mA 2/5 S (120 MAS)	300 mA 4/5 (240 mAS)

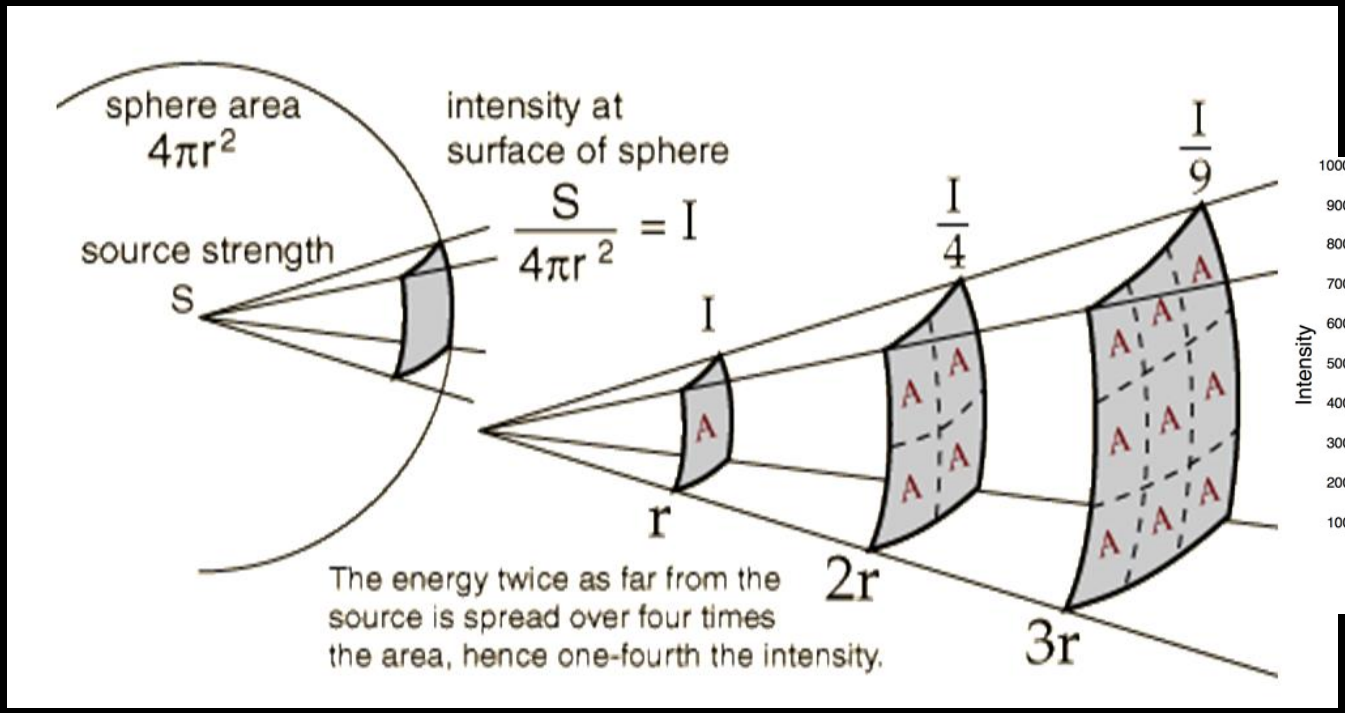
CHEST PA & Lat — *NON Grid* (wheelchair chest)

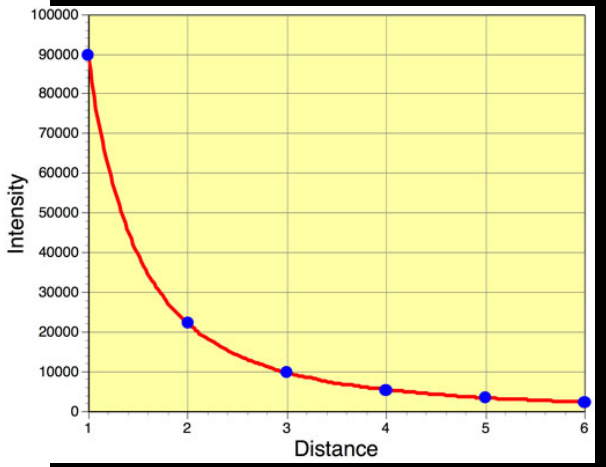
CM 72" SID	15	20	25	30	35
kVp	94	94	110	110	110
mA & S	200 mA 1/120 S (1.7 mAS)	200 mA 1/60 S (3.3 mAS)	200 mA 1/60 S (3.3 mAS)	200 mA 1/30 S (6.7 mAS)	300 mA 1/20 S (15 mAS)

Examination	kVp	mAs	FSD (cm)
AP abdomen	77±10	32±31	87±9
PA chest	101± 25	9±7	170±16
AP chest	85±15	5±4	104±14
LAT chest	107±20	16±15	148±30
AP lumbar spine	72±5	52±32	87±8
LAT lumbar spine	86±5	90±77	88±8
LAT lumbo-sacral joint	85±7	65±56	87±7
AP pelvis	74±10	34±32	88±10
PA skull	72±8	30±19	90±8
LAT skull	66±7	32±23	91±8
AP urinary tract	78±9	36±33	86±10

反平方定律 Inverse square law







輻射源的位置



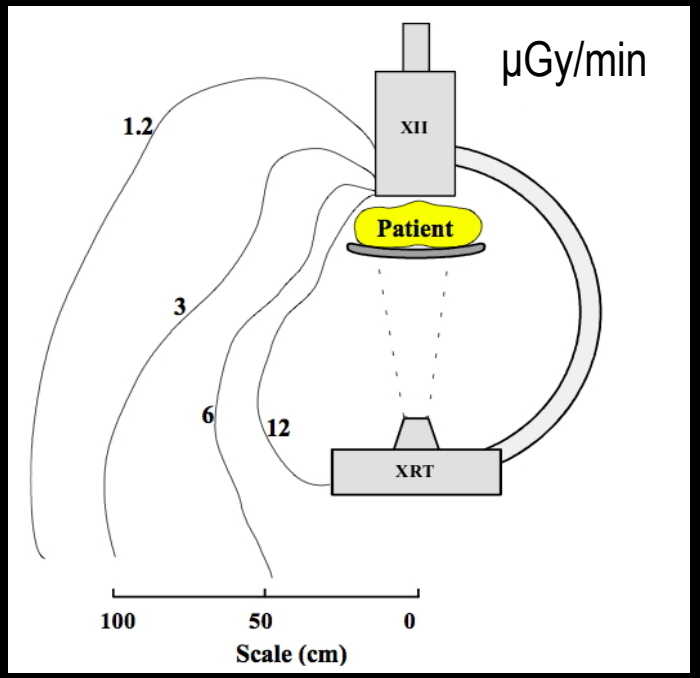
X-ray Tube
40 μGy/min
45 μGy/min
39 μGy/min
33 μGy/min
0.2 μGy/min
Patient
XII
50 cm
(a)
0.2 μGy/min
3 μGy/min
25 μGy/min
30 μGy/min
0.2 μGy/min
XII
Patient
X-ray Tube
50 cm
(b)

Adult effective doses from various X-ray procedures

Examination	Average Effective Dose (mSv)
Extremities	0.001
Knee	0.005
Shoulder	0.01
Chest (PA)	0.02
Chest (PA + Lateral)	0.1
Skull	0.1
Cervical Spine	0.2
Mammography	0.04
Pelvis	0.6
Abdomen	0.7
Hip	0.7
Thoracis Spine	1
Lumbar Spine	1.5
Intravenous Urography	3

Mean Effective Doses from Fluoroscopy Procedures

Procedure	Effective Dose (mSv)
Cerebral Arteriography	2.5
Nephrostomy	5.5
Barium Meal	8.2
Renal Arteriorography	10.3
Barium Enema	11.7
Biliary Stent Placement	12.5
Enteroclysis	14.0



法規條文 – 游離輻射防護法

第2條 第十二款

輻射作業：指任何引入新輻射源或曝露途徑、或擴大受照人員範圍、或改變現有輻射源之曝露途徑，從而使人們受到之曝露，或受到曝露之人數增加而獲得淨利益之人類活動。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**之作業及其他經主管機關指定或公告者。

法規條文 –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

第2條 第三款

改裝：指放射性物質、可發生游離輻射設備或其使用場所有下列情形之一者：

（一）變更密封放射性物質或可發生游離輻射設備主射束方向。

（二）增加密封放射性物質活度。

（三）增加X光機之公稱電壓。

（四）增加加速器之加速電壓。

（五）變更輻射防護屏蔽。

（六）其他經主管機關指定者。

醫療輻射防護與屏蔽規劃

陳建全

台灣醫學物理公司

www.tmpinc.com.tw

可發生游離輻射設備

- 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
  - 第17條

    使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關申請登記備查：
    一、公稱電壓為十五萬伏（**150kV**）或粒子能量為十五萬電子伏（150keV）以下者。
    二、櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為**每小時五微西弗**以下者。
    三、其他經主管機關指定者。

    使用前項以外或前項第一款非屬醫療用途，而對人體直接照射之可發生游離輻射設備者，應向主管機關申請許可證。

許可類

直線加速器
電腦刀
遙控荷式近接治療設備
光子刀

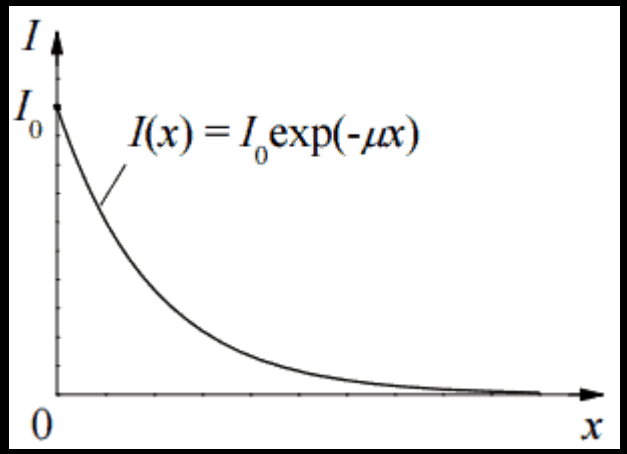
登記備查類

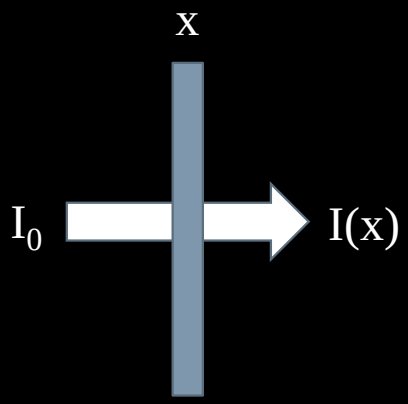
診斷型X光機
電腦斷層掃描儀
校正用射源

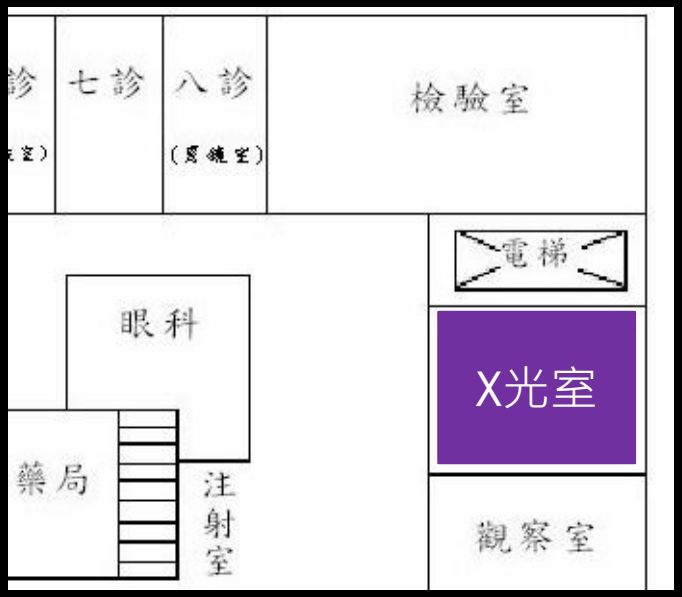
場所平面圖及屏蔽規劃

屏蔽規劃

- 目的：決定要使用多少厚度的鉛屏蔽
- 學理觀點：→使用NCRP-49號或147號 (工作負載) 方法推算
  - 使鄰近X光室區域的滲漏輻射符合【一般人】年劑量限度 (1 mSv/y)
  - 使鄰近X光室區域的滲漏輻射符合【輻射作業人員】平均年劑量限度 (20 mSv/y)
- 實務觀點：→使用輻射衰減理論 (實際曝露劑量) 方法推算

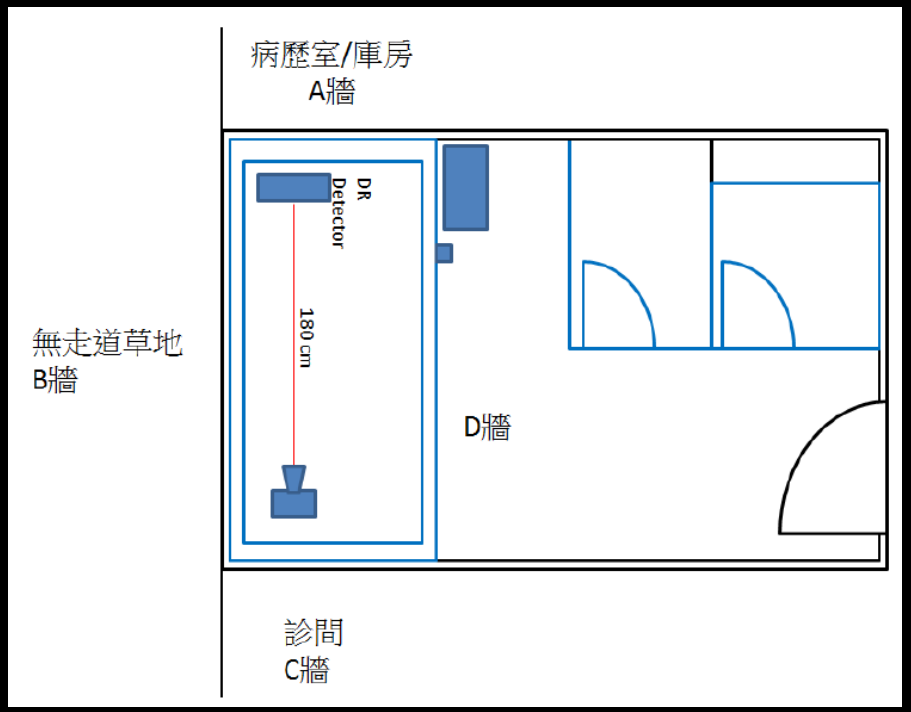






需要數據：
主射束劑量率 (mGy/h、mSv/h)
散射輻射、滲漏輻射劑量率 (μGy/h、 μSv/h)

屏蔽規劃



需考慮占用因數、使用因數

For example

A牆 (主屏蔽)

T= 1
U= 1
d= 3
最大許可曝露率= 0.02
需要鉛板厚度 (mm) = 2.2

B牆(次屏蔽)

T= 0.025
U= 1
d= 0.8
最大許可曝露率= 0.02
需要鉛板厚度 (mm) = 0.05

C牆(次屏蔽)

T= 1
U= 1
d= 1.2
最大許可曝露率= 0.02
需要鉛板厚度 (mm) = 0.82

For example

D牆(次屏蔽)

T= 1
U= 1
d= 2.1
最大許可曝露率= 0.02
需要鉛板厚度 (mm) = 0.42

法規規範： 最大許可曝露率

(1) 管制區 10 μSv/h = 0.4 mSv/week
(2) 非管制區 0.5 μSv/h = 0.02 mSv/week

主屏蔽計算公式

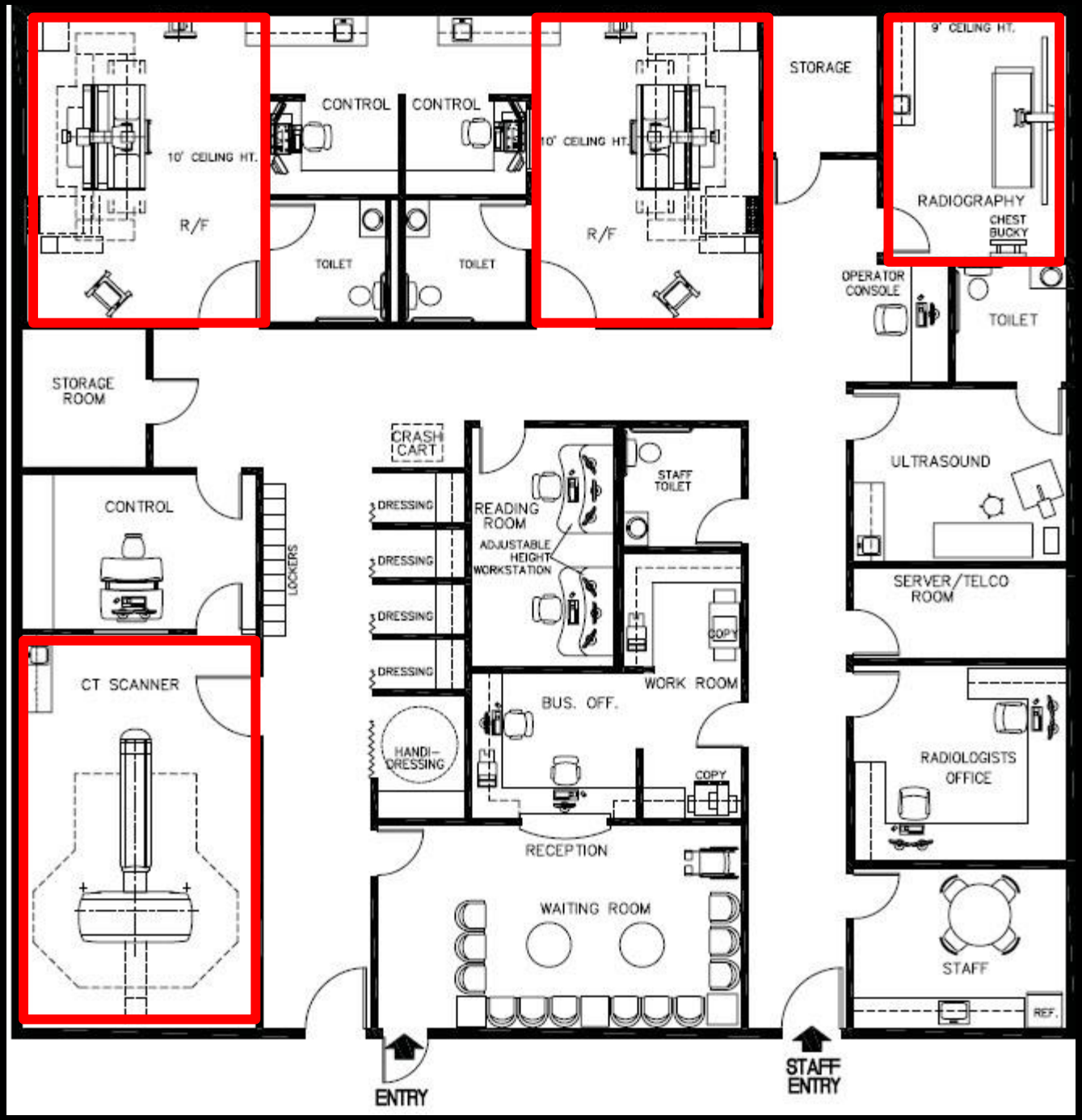
$$x_{barrier} = \frac{1}{\alpha\gamma} ln\left[\frac{(\frac{NTUK_{1,p}}{Pd^2})^{\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}\right]$$

次屏蔽計算公式

$$x_{barrier} = \frac{1}{\alpha\gamma} ln\left[\frac{(\frac{NTUK_{1,sec}}{Pd^2})^{\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}\right]$$

Workload distribution	Rad Room (chest bucky)		
W_{norm} (mA min/patient)	0.6	300	patients/week
$K_{1,p}$ (mGy/patient)	1.2	$K_{1,sec}$ (mGy/patient)	0.0027
α (lead, mm^{-1})	2.283	α (lead, mm^{-1})	2.288
β (lead, mm^{-1})	10.74	β (lead, mm^{-1})	9.848
γ (lead, mm^{-1})	0.637	γ (lead, mm^{-1})	1.054

依照使用狀況推算工作負載


10' CEILING HT.
R/F
CONTROL
CONTROL
TOILET
TOILET
10' CEILING HT.
R/F
STORAGE
9' CEILING HT.
RADIOGRAPHY
CHEST BUCKY
OPERATOR CONSOLE
TOILET
STORAGE ROOM
CONTROL
LOCKERS
CT SCANNER
CRASH CART
DRESSING
DRESSING
DRESSING
DRESSING
READING ROOM
ADJUSTABLE HEIGHT WORKSTATION
STAFF TOILET
COPY
WORK ROOM
BUS. OFF.
HANDI-DRESSING
COPY
RECEPTION
WAITING ROOM
ULTRASOUND
SERVER/TELCO ROOM
RADIOLOGISTS OFFICE
STAFF
REF.
ENTRY
STAFF ENTRY

測試項目與表格


核能安全委員會
NSC Nuclear Safety Commission
關於本會
首頁 > 便民服務 > 服務資訊下載專區 > 輻射安全
便民服務
民眾關切問答資訊
輻防作業查詢服務
各類人員執照測驗
對外技術服務項目
專題演講申請服務
本會文宣及出版品
服務資訊下載專區
原子知識報給你知
YouTube影音專區
facebook輻務小站
輻射安全
輻防服務業務
放射性污染建築物
鋼鐵業輻射偵檢作業
輻安證書及運轉人員證書
放射性物質及設備（如X光機）之相關表單
輻射醫療曝露品質保證計畫之相關表單
輻防人員證書、繼續教育及輻防組織（人員）設置
乳房X光攝影儀（巡迴車型）名冊
輻射警示標籤
一般游離輻射劑量比較圖
醫療游離輻射劑量比較圖
偏鄉醫療使用牙科型X光機輻射防護措施撰寫綱要
粒子放射治療設施輻射安全評估報告撰寫導則
個人資料檔案安全維護
靜電消除器、離子佈植機及其輻射作業全廠管制規定

輻射安全測試報告

- 非破壞照相檢驗X光機安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 非破壞照相檢驗密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用電腦斷層掃描儀輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用診斷型X光機輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用移動型X光機輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用牙科型X光機輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用骨質密度儀輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用可發生游離輻射設備(許可類)輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用放射性物質(許可類)輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用非密封放射性物質輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 醫用密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告(登記備查類) (DOC) (ODT)
- 非醫用可發生游離輻射設備輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 非醫用密封放射性物質(裝備)輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 非醫用非密封放射性物質輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)
- 靜電消除器(離子佈植機)輻射安全測試報告 (DOC) (ODT)

醫用診斷型X光機輻射安全測試報告

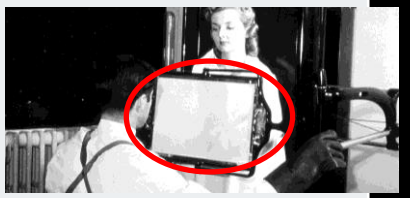
一般規定

- ☐ 1.備有本設備之操作手冊。
- ☐ 2.備有適當之鉛防護圍裙。
- ☐ 3.門扉上裝有與X光機連動之安全連鎖裝置。
- ☐ 4.門扉上裝有標準之輻射示警標誌並有X光室或輻射管制區等警語。
- ☐ 5.X光室外門上裝有輻射警示燈，並與輻射連動。
  （若X光機因原廠設計輻射警示燈無法與輻射連動，則輻射警示燈應與安全連鎖連動。）
- ☐ 6.備有限制有用射柱大小之 □錐體；□準直儀。
- ☐ 7.準直儀光闌指示燈光照射範圍一致。（應小於靶至檯面距離之2%，無光闌指示燈者、乳房攝影用X光機及乳房攝影用X 光機（巡迴車）免實施本項測試。）
- ☐ 8.有用射柱全部永久過濾片不小於2.5 mm Al eq.。
  （加鋁套筒/未加鋁套筒之比值： / ）（乳房攝影用X光機及乳房攝影用X 光機（巡迴車）免實施本項測試。）

透視相關項目

- ☐ 1.透視開關屬於控鈕型（Dead-Man Type）且X光機必須可以顯示透視的累積時間，並具有5分鐘警示功能，5分鐘後計時裝置必須重新設定才可消除警示聲音。
- ☐ 2.透視管球之靶(Target)至照射台之距離不小於30cm。
- ☐ 3.有用射柱可隨時被限制在螢光屏或影像加強器之內。
- ☐ 4.透視時照射檯面之空氣克馬率不超過87mGy/min（87mSv/min）
  (測定條件 kVp mA sec)。測得數據 。

1 R = 0.0087 Gy，87 mGy = 10 R



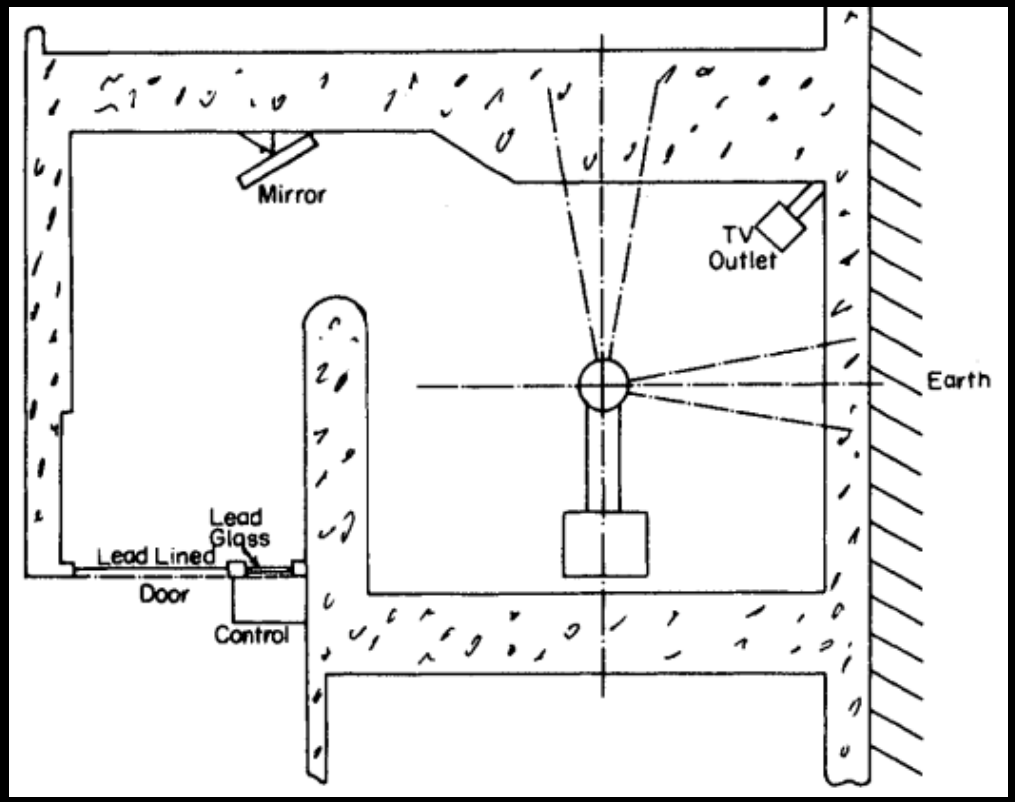
- ☐ 5.螢光屏之防護玻璃其鉛厚當量為 mm。（無螢光屏之設備免實施本測試）
  最高管電壓為70kVp(含)以下時，不小於1.5mm Pb eq。
  最高管電壓為70kVp至100kVp (含)時，不小於2.0mm Pb eq。
  最高管電壓為100kVp以上時，每增1kVp 增加0.01mm Pb eq。
- ☐ 6.螢光屏下之鉛帷面積不少於45cm×45cm。（無螢光屏之設備免實施本項測試）
- ☐ 7.鉛帷能隨螢光屏在水平或垂直位置移動，且其鉛當量不少於0.5mm Pb eq。（無螢光屏之設備免實施本項測試）

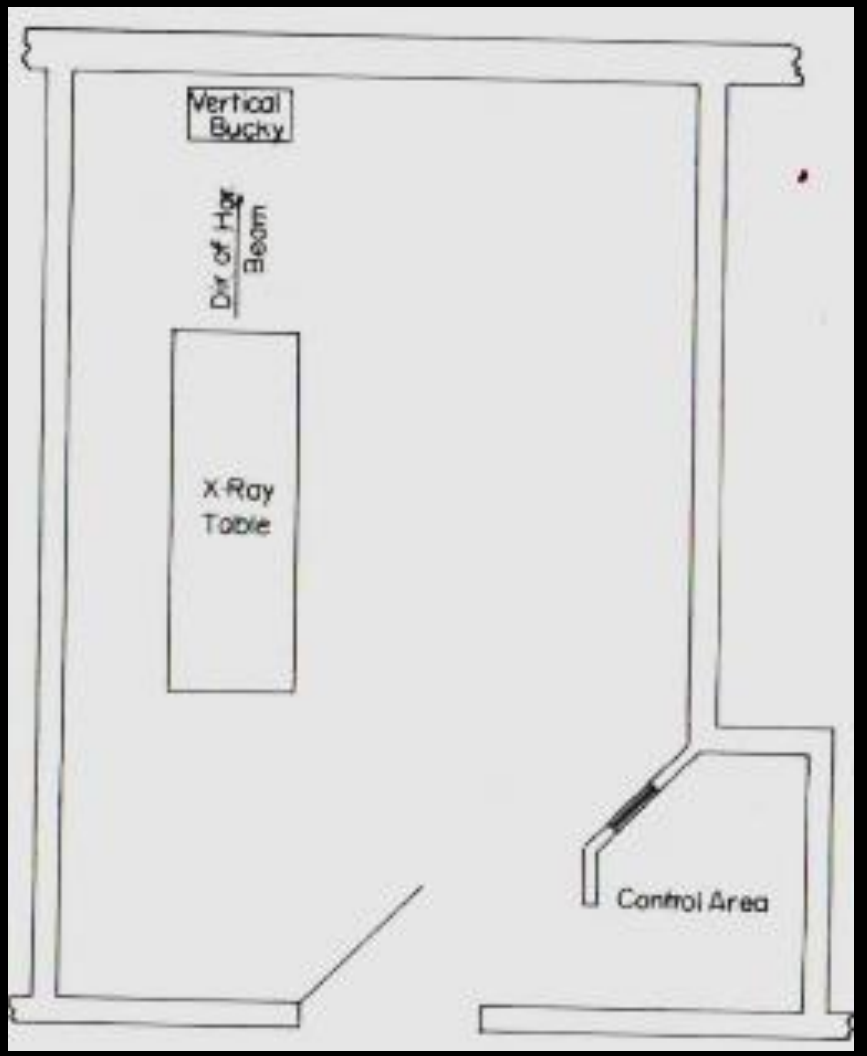
醫療品保相關

乳房攝影用X光機、乳房攝影用X光機（巡迴車）及X光模擬定位儀需加填以下項目。

- ☐ 1.各項醫療曝露品保測試結果均符合法規規定。
  （請檢附本設備完整年度及非年度品保測試紀錄，測試設備需於有效校正期限內。如本次工程不影響醫療曝露品保作業，則免執行醫療曝露品保測試。）
- ☐ 2.乳房X光攝影儀（或X光模擬定位儀）醫療曝露品保人員人數及資格符合法規規定，且與原能會核定之貴院醫療曝露品保組織內人員一致。
- ☐ 3.各項醫療曝露品保測試紀錄應保存3年。

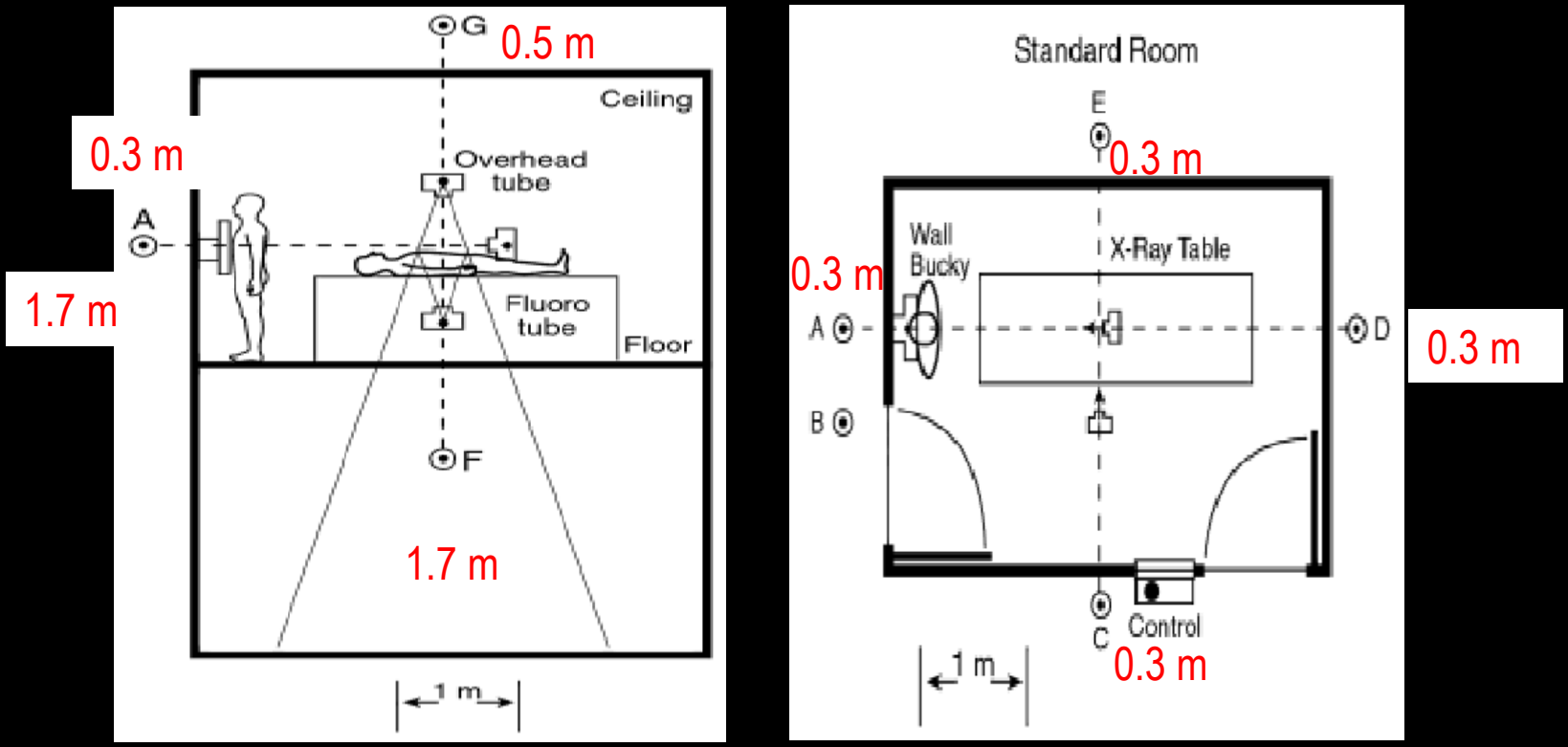
常見X光攝影室平面圖





攝影室內為管制區
攝影室外為一般區域

現場實際測量位置



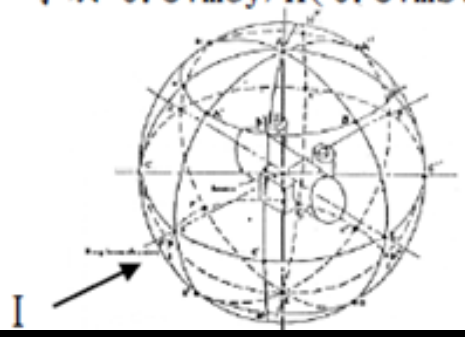
Elevation (left) and plan (right) views of a representative radiographic (or radiographic and fluoroscopic) room. Points A, B, C, D and E represent a distance of 0.3 m from the respective walls. Point F is 1.7 m above the floor below. Point G is taken at 0.5 m above the floor of the room above. (NCRP-147)

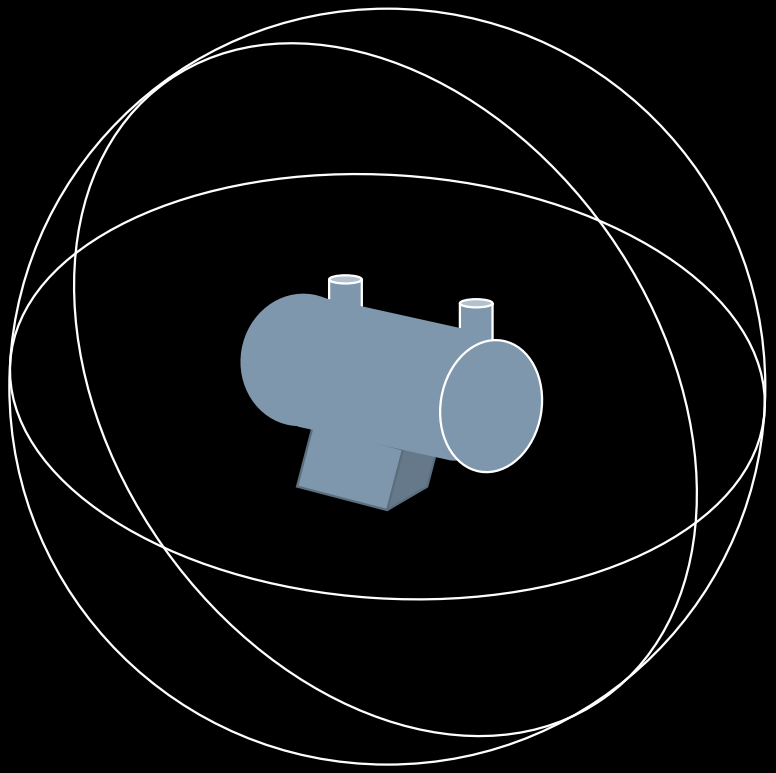
六、X 光管輻射偵測：

請註明測量點及距靶一公尺處最高滲漏輻射空氣克馬值：「小於 0.87mGy/h(0.87mSv/h)」

距靶 1 公尺處 I 測值　0.12　μSv/h

1 R = 0.0087 Gy，0.87 mGy = 0.1 R

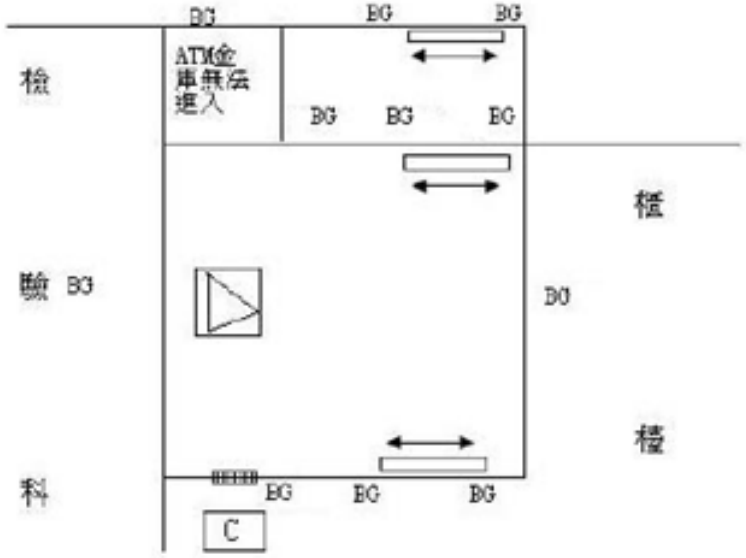




七、X光室之輻射偵測：

測定條件 30 kVp 320 mAs ~~sec~~	
☑ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過10μSv/h。(≧10μSv/h者需附符合工作人員年劑量限度說明)。	☑ 管制區外距任何可以接近X光室四週障壁外表面30cm處之劑量率最高不超過0.5μSv/h。(>0.5μSv/h者需附符合一般人年劑量限度說明)。

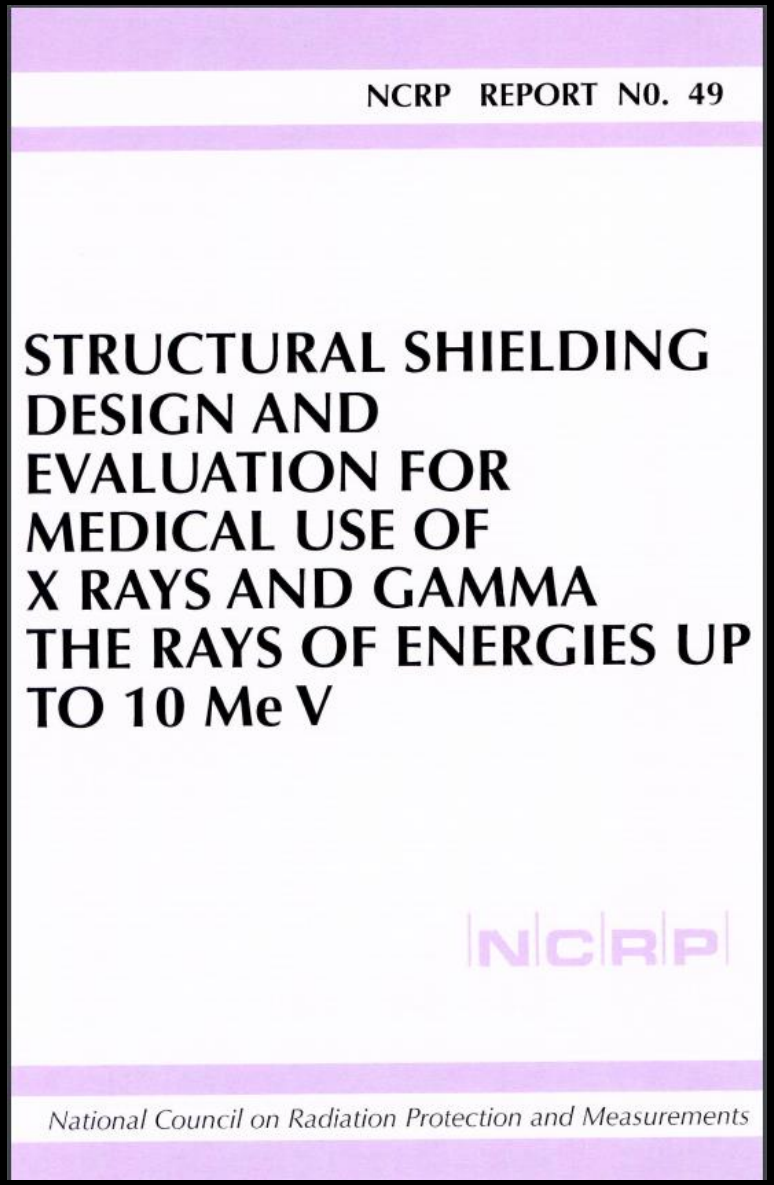
X光室平面圖及周圍環境(測得之劑量平均值請註明於圖上相關位置)



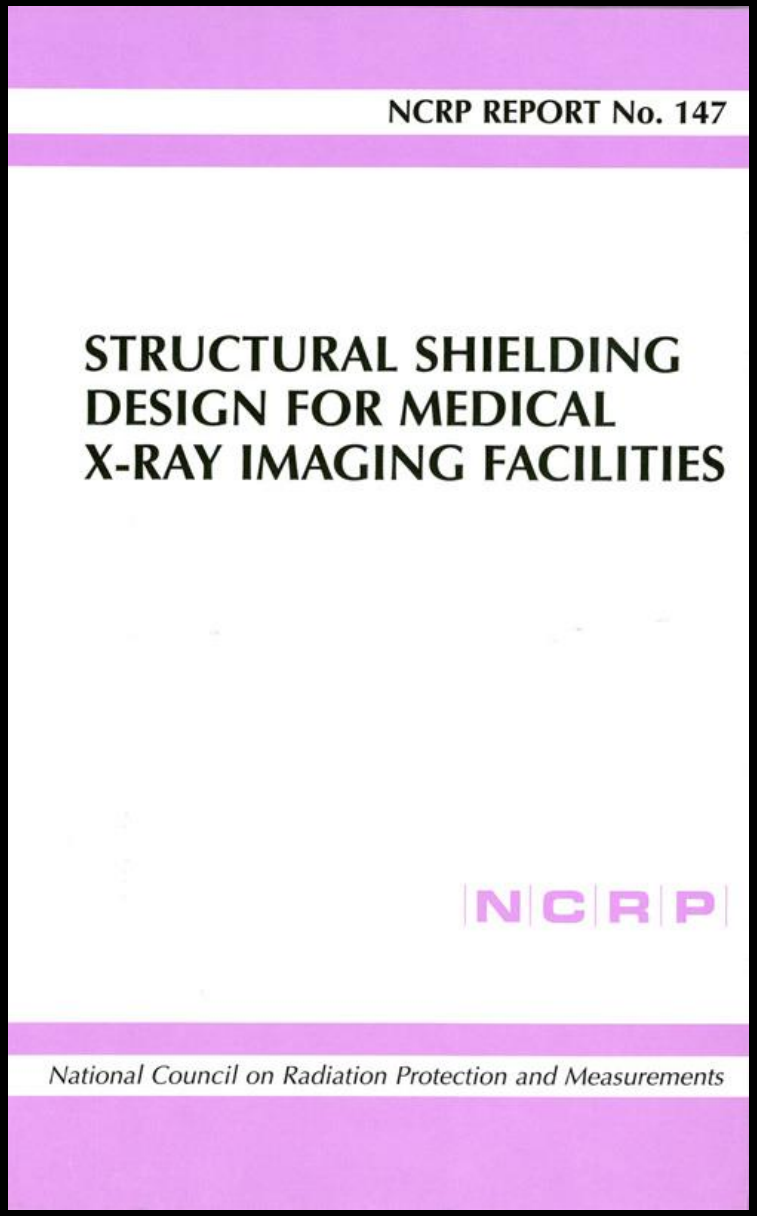
單位：μSv/h

1、測量儀器廠牌：ATOMTEX 型號 AT1121 序號 43418 。
2、測量儀器校正日期 108 年 03 月 13 日
3、背景劑量率：0.08-0.1 μSv/h。
4、可發生游離輻射設備位於 1 樓，樓上位置為 診間 (劑量率：BG μSv/h)，樓下位置為 走道 (劑量率：BG μSv/h)。

輻射屏蔽計算

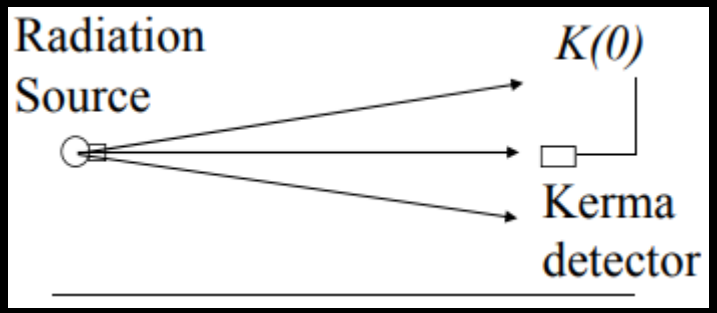


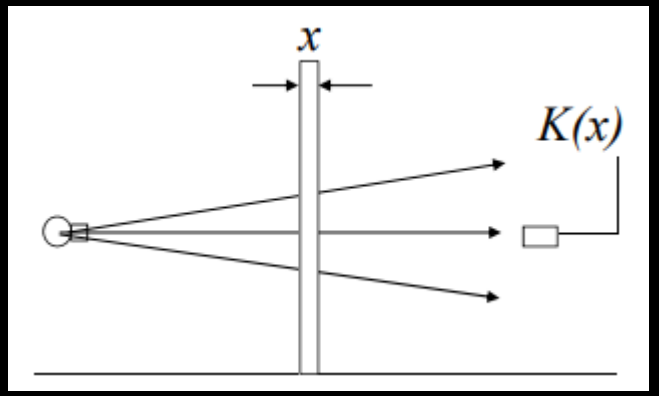
Report No. 049 – Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV (1976)



Report No. 147 – Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities (2004)

輻射防護目的：衰減至法規限值以下



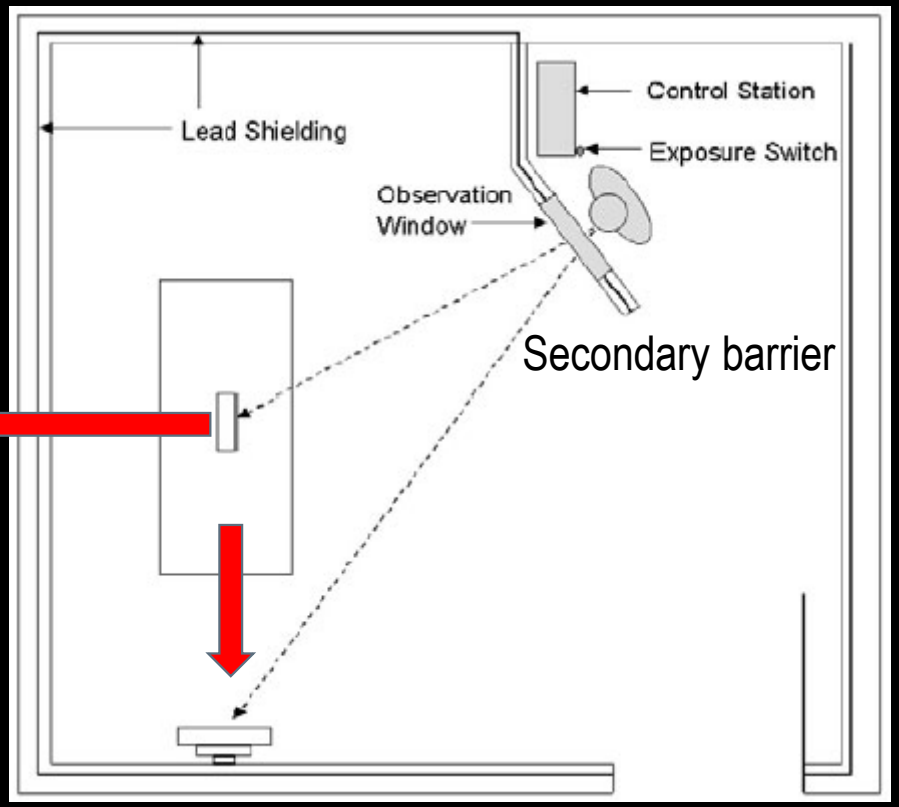


$$\mathrm{B}(x) = \frac{K(x)}{K(0)}$$

$$\mathrm{K}(x) = P = B(x)K(0) = B\frac{X_u t}{d_{pri}^2} = BX_n\frac{It}{d_{pri}^2}$$

$$B = \frac{Pd_{pri}^2}{W}$$

Secondary barrier

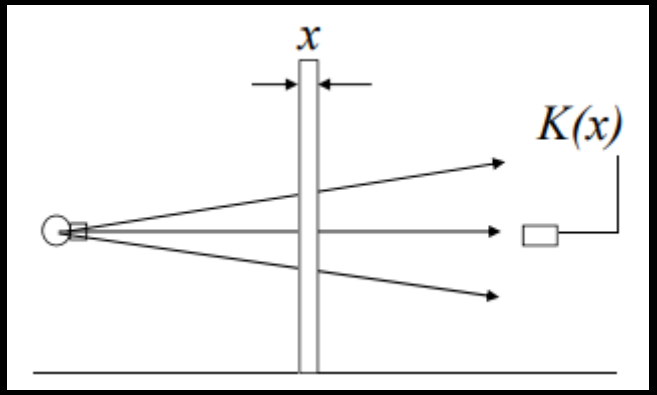


Primary barrier

Secondary barrier

Primary barrier

$$B = \frac{Pd^2}{WUT}$$



B：穿透因數，指輻射被衰減的比率

P：屏蔽設計目標，指要達成的輻射劑量率(mGy/h或wk、mSv/h或wk)

d：射源與測量點的距離(m)

W：工作負載，指單位時間的累積劑量((mGy/h或wk、mSv/h或wk)

U：使用因數，指主射束朝向測量點的機率

T：占用因數，指任何人會在測量點占用的機率

屏蔽設計目標(DESIGN GOAL：P)

- P的單位：mGy/wk、mSv/wk

設計目標 P	管制區	非管制區 (管制區外)
NCRP-49	50 mGy/y = 1 mGy/wk	5 mGy/y = 0.1 mGy/wk = 2.5 μGy/hr
NCRP-147	Fraction (=1/2) of 10 mGy/yr limit for new operations = 5 mGy/yr (~matches fetal dose limit) = 0.1 mGy/wk	1 mGy/y = 0.02 mGy/wk = 0.5 μGy/hr
台灣原能會	10 μGy/h = 0.01 mGy/h = 0.4 mGy/wk	0.5 μGy/h = 0.0005 mGy/h = 0.02 mGy/wk

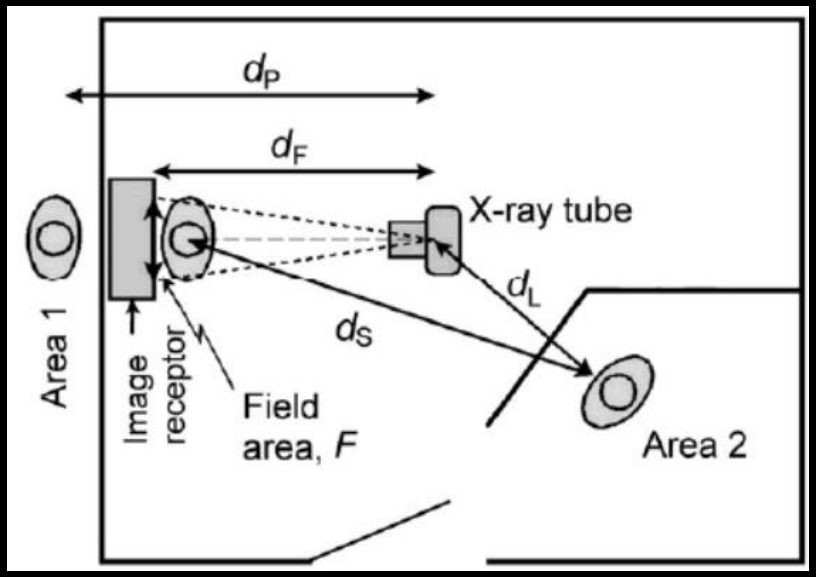
1 wk. = 40 hrs.
1 yr = 50 wks.

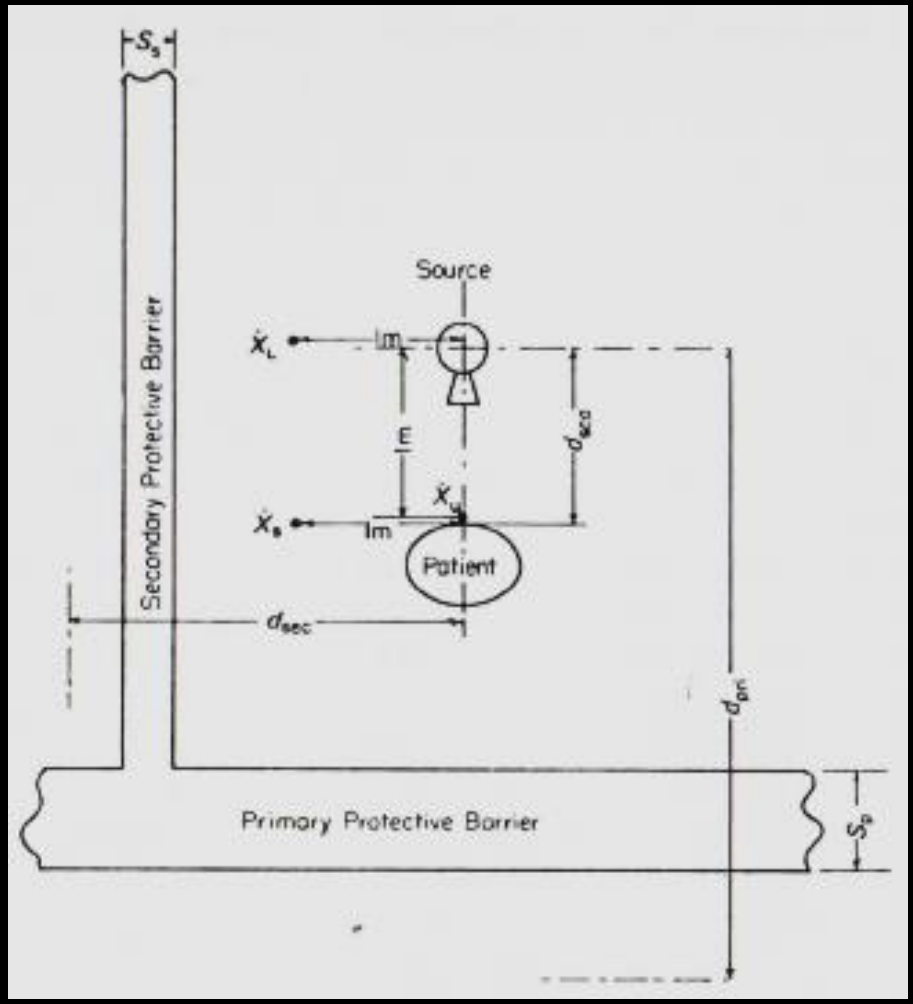
工作人員年劑量限度：20 mSv/yr
核安會【實測限值】：20 mSv/yr / 2000 hrs/yr = 0.01 mSv/hr = 10 μSv/hr = **10 μGy/hr**

☑ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 10 μSv/h。(≧10 μSv/h 者需附符合工作人員年劑量限度說明)。

☑ 管制區外距任何可以接近X光室四週障壁外表面 30cm 處之劑量率最高不超過 0.5 μSv/h。(>0.5 μSv/h 者需附符合一般人年劑量限度說明)。

距離：d

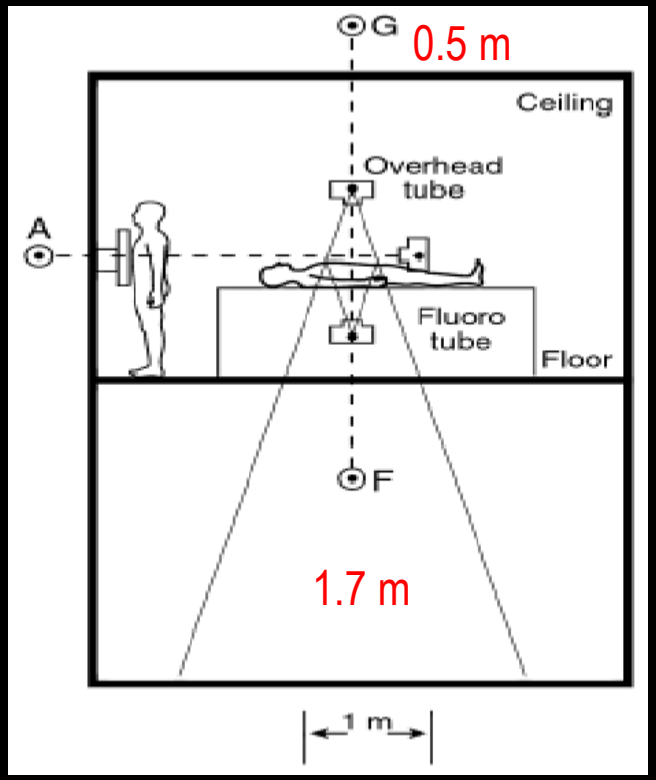


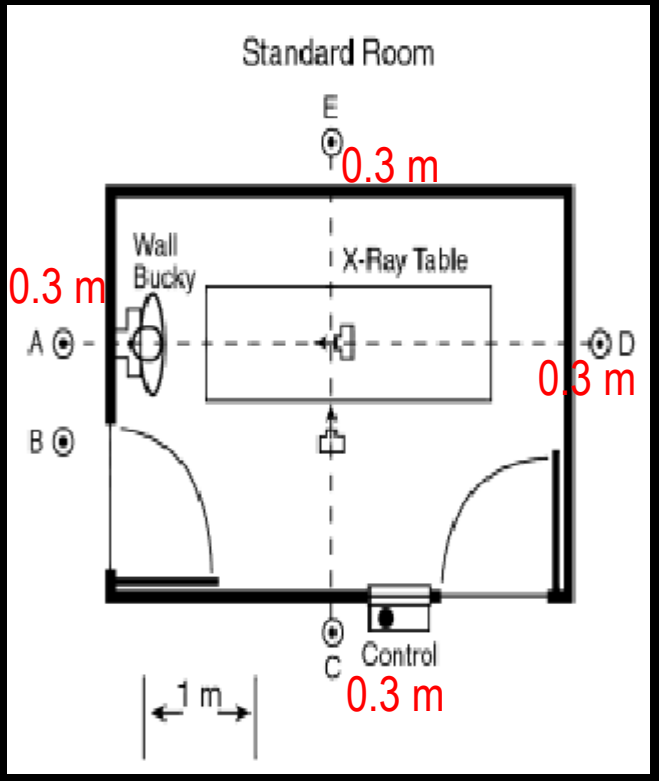


Elevation (left) and plan (right) views of a representative radiographic (or radiographic and fluoroscopic) room. Points A, B, C, D and E represent a distance of 0.3 m from the respective walls. Point F is 1.7 m above the floor below. Point G is taken at 0.5 m above the floor of the room above. (NCRP-147)

d_P：射源(X光管)至測量點的距離
d_S：散射源(人體)至測量點的距離
d_L：滲漏源(X光管)至測量點的距離

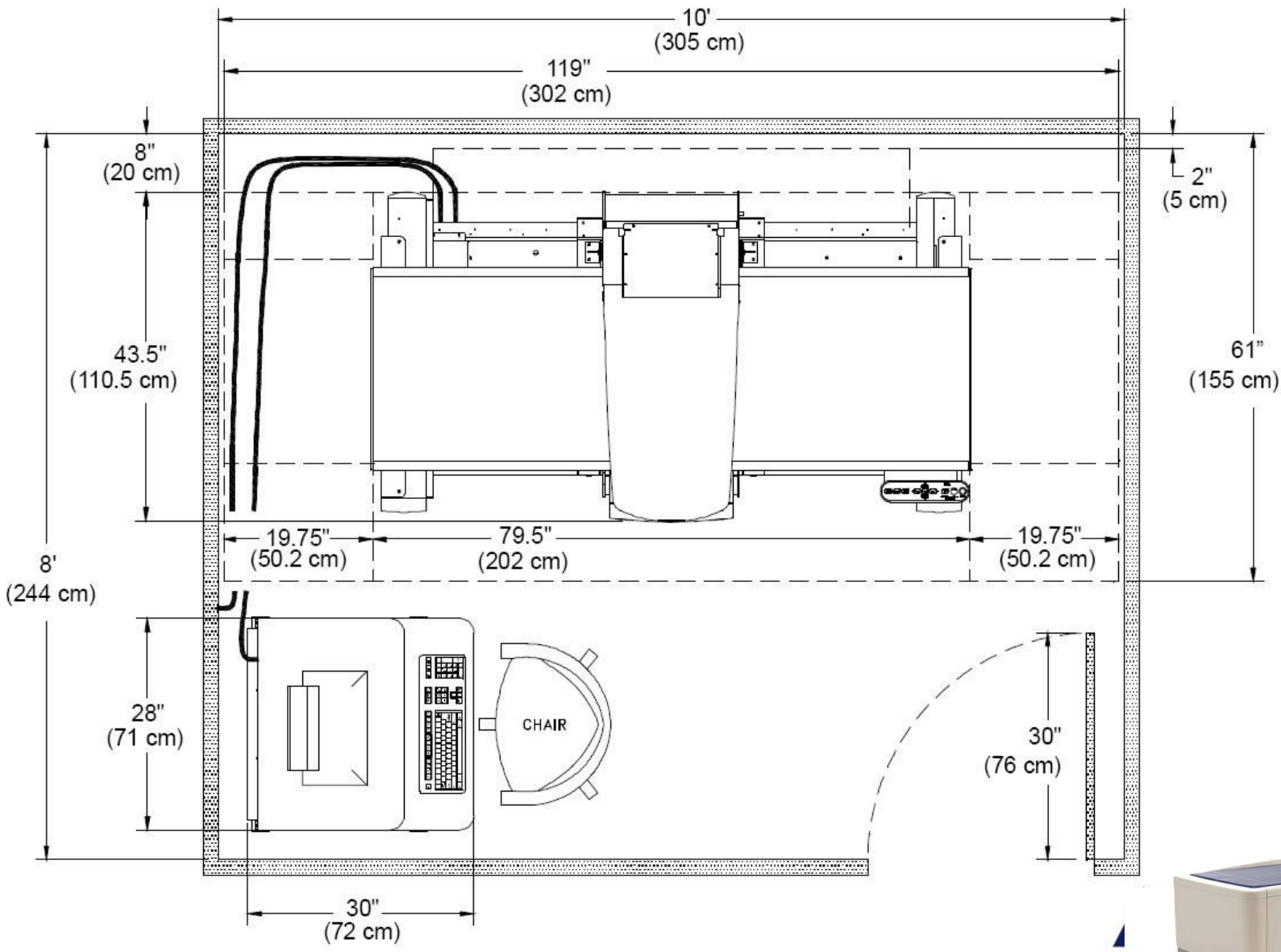
使用因數：U





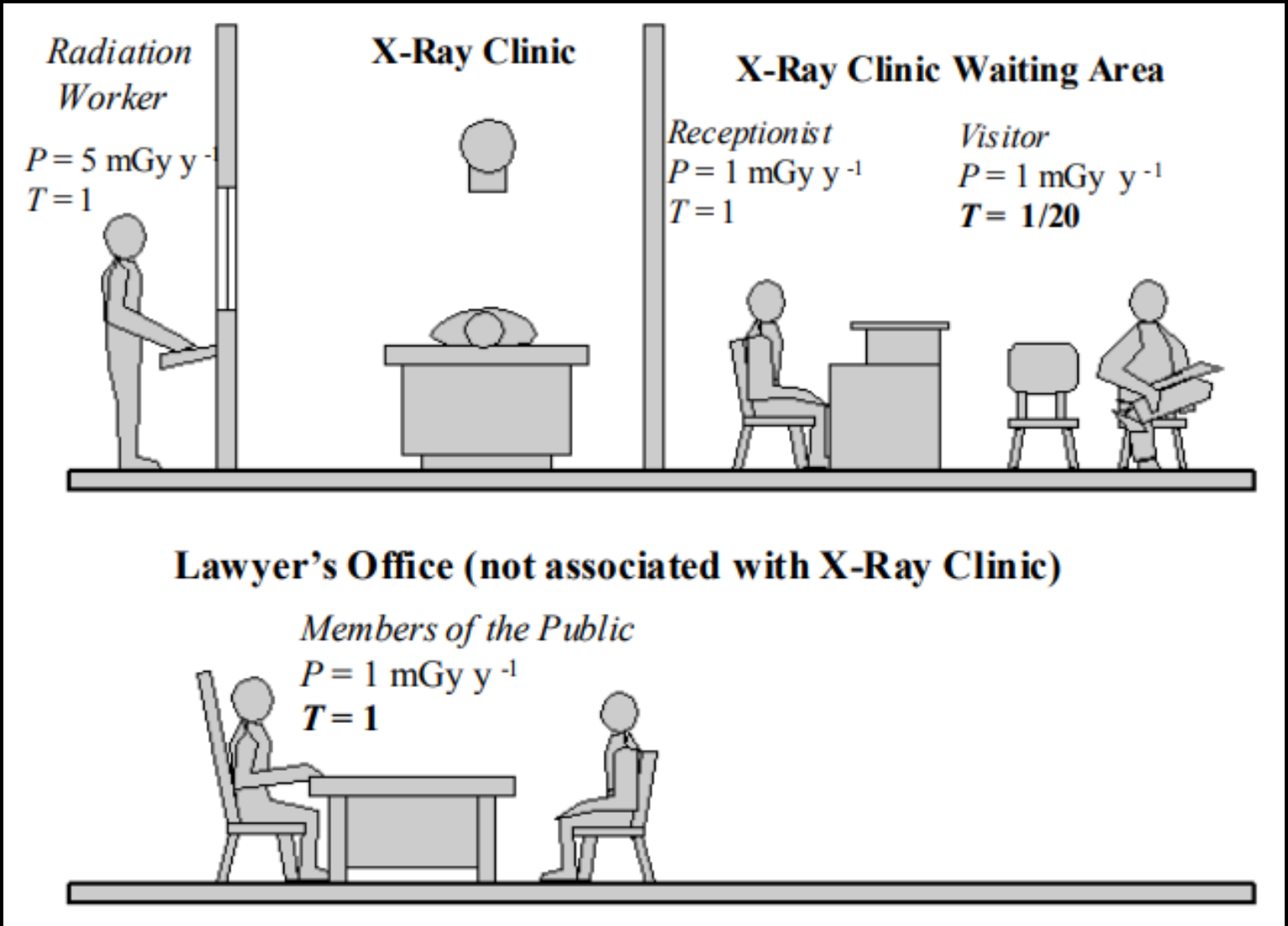
- 範例：
  - 攝影時主射束 65% 會朝向檢查床，F 點的使用因數為 0.65
  - 攝影時主射束 30% 會朝向 Standing bucky，A 點的使用因數為 0.30
  - 攝影時主射束 5% 會採 Cross-table技術，E 點的使用因數為 0.05

Bone Densitometer ~ Typical Site Plan Drawing





占用因數：T


Radiation Worker
P = 5 mGy y -1
T = 1
X-Ray Clinic
X-Ray Clinic Waiting Area
Receptionist
P = 1 mGy y -1
T = 1
Visitor
P = 1 mGy y -1
T = 1/20
Lawyer's Office (not associated with X-Ray Clinic)
Members of the Public
P = 1 mGy y -1
T = 1

NCRP-49的占用因數

TABLE 4—*Occupancy factors for non-occupationally*[a] *exposed persons*[b]

[For use as a guide in planning shielding where other occupancy data are not available.]

Full Occupancy (T = 1)
Work areas such as offices, laboratories, shops, wards, nurses' stations; living quarters; children's play areas; and occupied space in nearby buildings.
Partial Occupancy (T = 1/4)
Corridors, rest rooms, elevators using operators, unattended parking lots.
Occasional Occupancy (T = 1/16)[c]
Waiting rooms, toilets, stairways, unattended elevators, janitors' closets, outside areas used only for pedestrians or vehicular traffic.

NCRP-147的占用因數

TABLE 4.1—*Suggested occupancy factors*[a] *(for use as a guide in planning shielding where other occupancy data are not available).*

Location	Occupancy Factor (*T*)
Administrative or clerical offices; laboratories, pharmacies and other work areas fully occupied by an individual; receptionist areas, attended waiting rooms, children's indoor play areas, adjacent x-ray rooms, film reading areas, nurse's stations, x-ray control rooms	1
Rooms used for patient examinations and treatments	1/2
Corridors, patient rooms, employee lounges, staff rest rooms	1/5
Corridor doors[b]	1/8
Public toilets, unattended vending areas, storage rooms, outdoor areas with seating, unattended waiting rooms, patient holding areas	1/20
Outdoor areas with only transient pedestrian or vehicular traffic, unattended parking lots, vehicular drop off areas (unattended), attics, stairways, unattended elevators, janitor's closets	1/40

[a]When using a low occupancy factor for a room immediately adjacent to an x-ray room, care *should* be taken to also consider the areas further removed from the x-ray room. These areas may have significantly higher occupancy factors than the adjacent room and may therefore be more important in shielding design despite the larger distances involved.

[b]The occupancy factor for the area just outside a corridor door can often be reasonably assumed to be lower than the occupancy factor for the corridor.

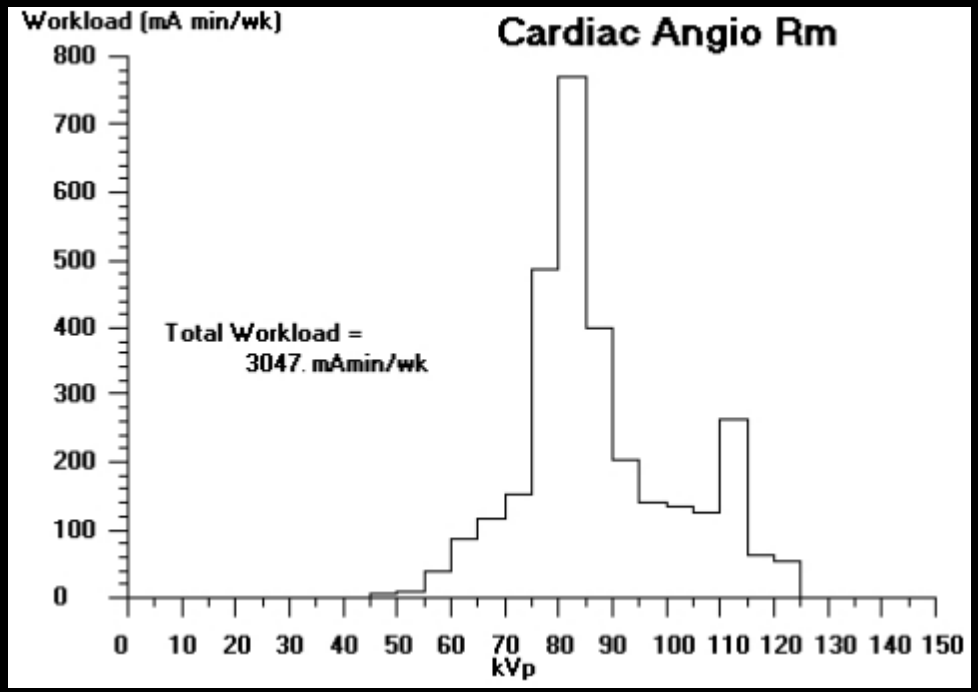
NCRP-49 : 1/4

NCRP-49 : 1/4

NCRP-49 : 1/16

工作負載：W

- 工作負載 = X光管的使用量
  - W：管電流與時間的乘積在一定時間(一週)內的總和
  - W 與撞擊陽極靶的電子數成正比
  - 為精準估算，計算W時需依管電壓 (kVp) 分開計算W值：kerma 正比於 kVp^2
  - 60 kVp與120 kVp的衰減(B)差異可達數百以上
- 常用單位：**mA · min / week** (= mAs / 60)



統計項目：
依輻射使用方式(X光室)分開統計W
計算每週平均受檢人數 (N)
依kVp分別統計W

工作負載：W

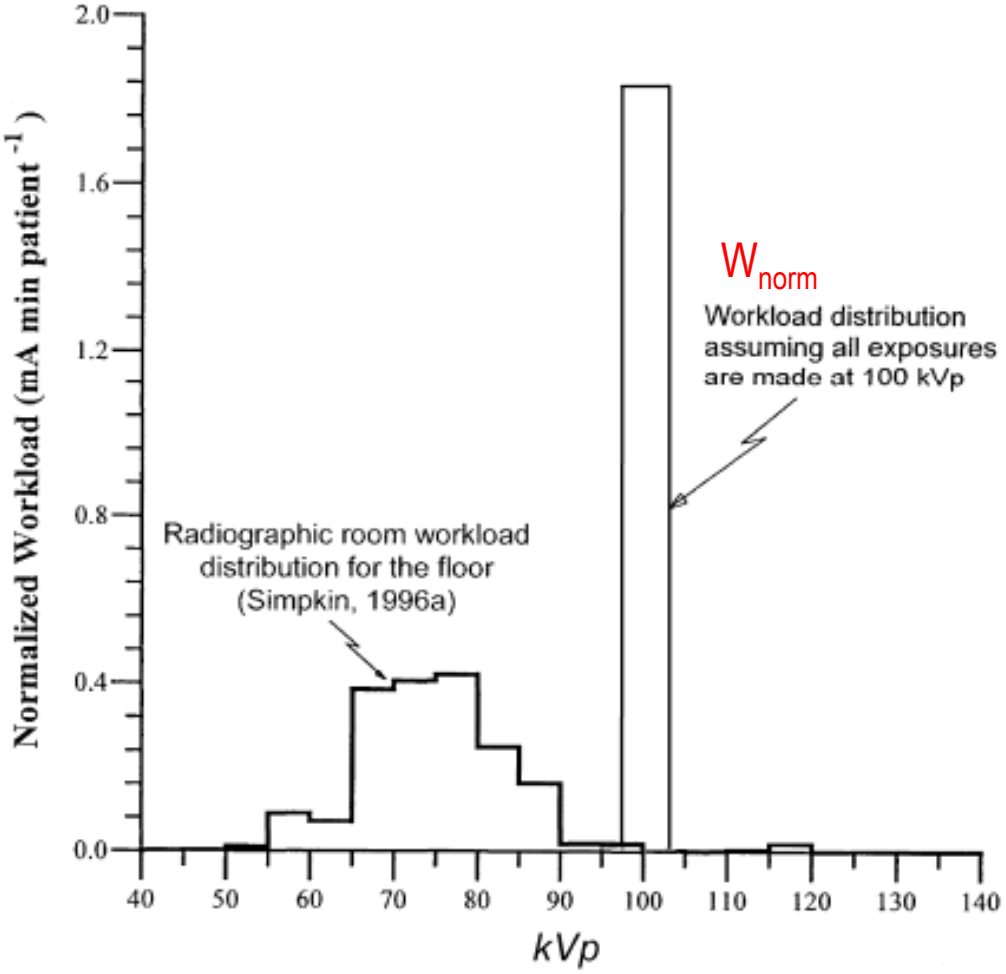


Fig. 4.1. The workload distribution *Rad Room (floor or other barriers)* obtained from the AAPM-TG9 survey (Simpkin, 1996a) for the x-ray beam directed at the floor of a radiographic room compared to the workload distribution assuming all exposures are made at 100 kVp.

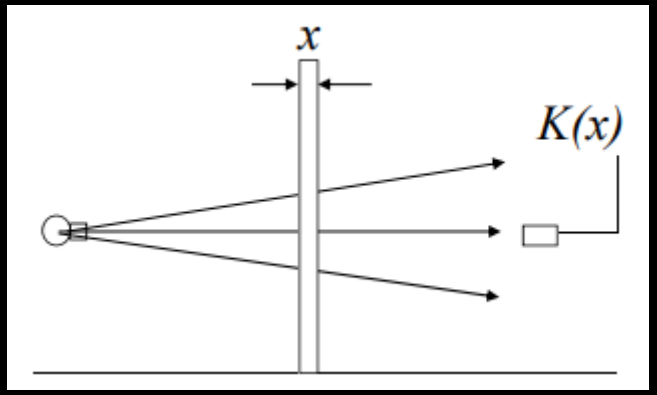
→ $W_{tot} = N\ W_{norm}$

TABLE 4.2—*Operating potential (kVp) distribution of workload (mA min) normalized per patient, from survey conducted by AAPM TG9 (Simpkin, 1996a).*

kVp[a]	Radiography Room[b]			Fluoro. Tube (R&F room)[c]	Rad Tube (R&F room)[c]	Chest Room	Mammo. Room	Cardiac Angiography	Peripheral Angiography[d]
	Rad Room (all barriers)	Rad Room (chest bucky)	Rad Room (floor or other barriers)						
25	0	0	0	0	0	0	9.25×10^{-1}	0	0
30	0	0	0	0	0	0	4.67	0	0
35	0	0	0	0	0	0	1.10	0	0
40	1.38×10^{-4}	0	1.38×10^{-4}	0	0	0	0	0	0
45	7.10×10^{-4}	0	7.10×10^{-4}	0	5.78×10^{-4}	0	0	0	0
50	8.48×10^{-3}	6.78×10^{-3}	1.70×10^{-3}	0	7.65×10^{-4}	0	0	3.40×10^{-1}	8.94×10^{-2}
55	1.09×10^{-2}	4.56×10^{-4}	1.04×10^{-2}	7.02×10^{-2}	7.26×10^{-4}	0	0	4.20×10^{-1}	3.98×10^{-2}
60	9.81×10^{-2}	8.96×10^{-3}	8.91×10^{-2}	1.13×10^{-1}	1.52×10^{-2}	0	0	1.96	6.99×10^{-1}
65	1.04×10^{-1}	3.42×10^{-2}	7.00×10^{-2}	1.87×10^{-1}	2.52×10^{-2}	0	0	4.55	1.50×10^{1}
70	4.58×10^{-1}	7.25×10^{-2}	3.85×10^{-1}	1.45×10^{-1}	8.89×10^{-2}	2.02×10^{-2}	0	6.03	1.22×10^{1}
75	5.01×10^{-1}	9.53×10^{-2}	4.05×10^{-1}	1.94×10^{-1}	2.24×10^{-1}	2.36×10^{-3}	0	8.02	1.53×10^{1}
80	5.60×10^{-1}	1.40×10^{-1}	4.20×10^{-1}	1.72	4.28×10^{-1}	0	0	2.54×10^{1}	1.10×10^{1}
85	3.15×10^{-1}	6.62×10^{-2}	2.49×10^{-1}	2.19	2.18×10^{-1}	7.83×10^{-4}	0	4.03×10^{1}	4.09
90	1.76×10^{-1}	1.41×10^{-2}	1.62×10^{-1}	1.46	5.33×10^{-2}	0	0	2.10×10^{1}	3.43
95	2.18×10^{-2}	3.51×10^{-3}	1.82×10^{-2}	1.15	4.89×10^{-2}	0	0	1.06×10^{1}	6.73×10^{-1}
100	1.55×10^{-2}	8.84×10^{-4}	1.46×10^{-2}	1.12	5.87×10^{-2}	3.01×10^{-2}	0	7.40	1.53
105	3.48×10^{-3}	1.97×10^{-3}	1.51×10^{-3}	9.64×10^{-1}	1.05×10^{-2}	0	0	7.02	9.27×10^{-2}
110	1.05×10^{-2}	9.91×10^{-3}	5.51×10^{-4}	7.47×10^{-1}	6.46×10^{-2}	2.14×10^{-2}	0	6.59	3.05×10^{-2}
115	4.10×10^{-2}	3.74×10^{-2}	3.69×10^{-3}	1.44	2.90×10^{-2}	9.36×10^{-2}	0	1.38×10^{1}	0
120	6.99×10^{-2}	5.12×10^{-2}	1.87×10^{-2}	9.37×10^{-1}	1.04×10^{-1}	4.74×10^{-2}	0	3.35	0
125	4.84×10^{-2}	4.81×10^{-2}	3.47×10^{-4}	1.38×10^{-1}	8.13×10^{-2}	0	0	2.75	0
130	1.84×10^{-3}	1.71×10^{-3}	1.25×10^{-4}	1.53×10^{-1}	4.46×10^{-2}	0	0	3.1×10^{-2}	0
135	7.73×10^{-3}	7.73×10^{-3}	0	1.46×10^{-1}	9.47×10^{-3}	0	0	0	0
140	0	0	0	1.92×10^{-2}	4.26×10^{-3}	0	0	0	0
Total workload:[e]	2.5	0.60	1.9	13	1.5	0.22	6.7	160	64
Patients per week:[f]	110 (Radiography Room)			18	23	210	47	19	21

Total workload ： mA ・ min / patient

$$B = \frac{Pd^2}{WUT}$$



B：穿透因數，指輻射被衰減的比率
P：屏蔽設計目標，指要達成的輻射劑量率(mGy/h或wk、mSv/h或wk)
d：射源與測量點的距離(m)
W：工作負載，指單位時間的累積劑量((mGy/h或wk、mSv/h或wk)
U：使用因數，指主射束朝向測量點的機率
T：占用因數，指任何人會在測量點占用的機率

七、X 光室之輻射偵測：

測定條件 30 kVp 320 mAs ~~sec~~	
☑ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 10 μSv/h。(≧10 μSv/h 者需附符合工作人員年劑量限度說明)。	☑ 管制區外距任何可以接近 X 光室四週障壁外表面 30cm 處之劑量率最高不超過 0.5 μSv/h。(>0.5 μSv/h 者需附符合一般人年劑量限度說明)。

主屏蔽計算

- NCRP-49
  - Determine the thickness of primary protective barrier necessary to protect a controlled area 2.1 m from the target of a 250 kV x-ray therapy machine, having a weekly workload of 20,000 mA.min. The wall in question has a use factor of ¼ assigned to it, and the occupancy factor of the area to be protected is unity. Then

P = 0.1 R

d_{pri} = 2.1 m

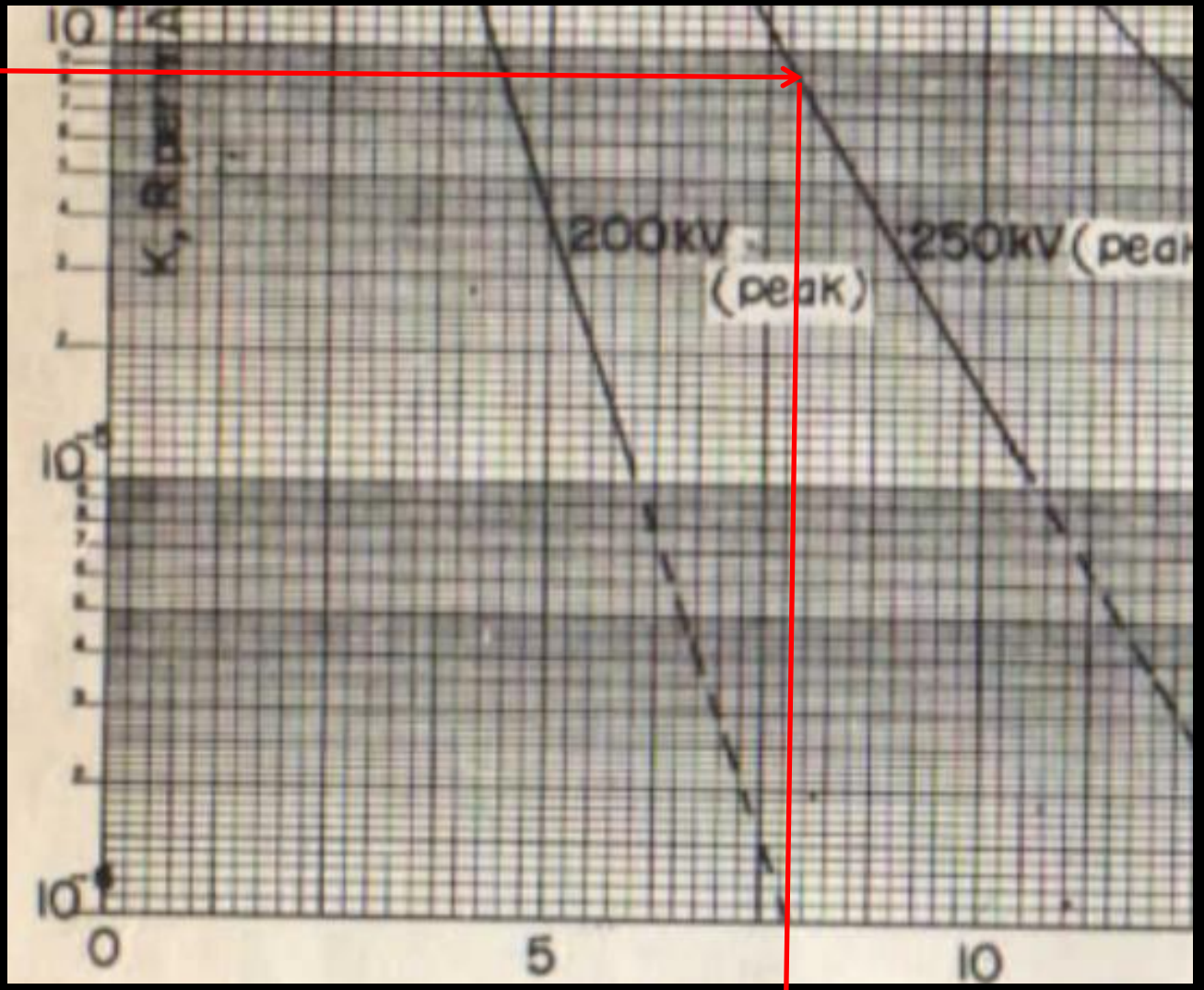
W = 20,000 mA.min

U = ¼

T = 1

$$B = \frac{(0.1)(2.1)^2}{(20{,}000)(\frac{1}{4})(1)} = 0.000088 = 8.8 \times 10^{-5}$$

$B = 8.8 \times 10^{-5}$



Lead thickness = 31.6 x 0.25 = 7.9 mm

主屏蔽計算

- NCRP-147

方法一：

$$B_p\left(x_{barrier}+x_{pre}\right)=\frac{P}{T}\frac{d_{pri}^2}{K_p^1 UN}$$

新導入屏蔽推算法：

方法二：

$$x_{barrier}=\frac{1}{\alpha\gamma}ln\left[\frac{\left(\frac{NTUK_P^1}{Pd_{pri}^2}\right)^{\gamma}+\frac{\beta}{\alpha}}{1+\frac{\beta}{\alpha}}\right]-x_{pre}$$

NCRP-147定義的工作負載：W

TABLE 4.3—*Estimated total workloads in various medical x-ray imaging installations in clinics and hospitals. The total workload values are for general guidance and are to be used only if the actual workloads are not available.*

Room Type	Total Workload per Patient[a] (W_{norm}) (mA min patient^{-1})	Typical Number of Patients (N) (per 40 h week)		Total Workload per Week (W_{tot}) (mA min week^{-1})	
		Average	Busy	Average	Busy
Rad Room (chest bucky)	0.6	120	160	75	100
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	120	160	240	320
Chest Room	0.22	200	400	50	100
Fluoroscopy Tube (R&F room)	13	20	30	260	400
Rad Tube (R&F room)	1.5	25	40	40	60
Mammography Room	6.7	80	160	550	1,075
Cardiac Angiography	160	20	30	3,200	4,800
Peripheral Angiography[b]	64	20	30	1,300	2,000

[a]As discussed in Section 4.1.4, values of W_{norm} given in this table can be modified by use of a multiplier term W_{site}/W_{norm} if necessary to account for different workloads per patient at a particular site.

[b]The data in this Table for *Peripheral Angiography* also apply to *Neuroangiography*.

TABLE 4.5—*Unshielded primary air kerma per patient [K_P^1 (in mGy patient^{-1})] for the indicated workload [W_{norm} (mA min patient^{-1})] and workload distribution, normalized to primary beam distance $d_P = 1$ m.*

Workload Distribution[a]	W_{norm} (mA min patient^{-1})[b,c]	K_P^1 (mGy patient^{-1})[d]
Rad Room (chest bucky)	0.6	2.3
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	5.2
Rad Tube (R&F Room)	1.5	5.9
Chest Room	0.22	1.2

[a]The workload distributions are those surveyed by AAPM TG9 (Simpkin, 1996a), given in Table 4.2.

[b]As discussed in Section 4.1.4, values of W_{norm} given in this Table can be modified by use of a multiplier term W_{site}/W_{norm} if necessary to allow for different workloads per patient at a particular site.

[c]For the indicated clinical installations, W_{norm} is the average workload per patient.

[d]These values for primary air kerma ignore the attenuation available in the radiographic table and image receptor.

$$x_{barrier} = \frac{1}{\alpha\gamma} ln \left[\frac{\left(\frac{NTUK_P^1}{Pd_{pri}^2} \right)^{\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}} \right] - x_{pre}$$

TABLE 4.6—*Equivalent thickness of primary beam preshielding (x_{pre}) (Dixon, 1994).*[a,b]

Application	x_{pre} (in mm)		
	Lead	Concrete	Steel
Image receptor in radiographic table or wall-mounted cassette holder (attenuation by grid, cassette, and image-receptor supporting structures)	0.85	72	7
Cross-table lateral (attenuation by grid and cassette only)	0.3	30	2

TABLE A.1—*Fits of transmission for broad primary x-ray beams (for lead, concrete, gypsum wallboard, steel, plate glass, and wood) to Equation A.2 (thickness x is input in millimeters).*

	Lead			Concrete[a]			Gypsum Wallboard		
kVp[b]	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ
25	4.952×10^{1}	1.940×10^{2}	3.037×10^{-1}	3.904×10^{-1}	1.645	2.757×10^{-1}	1.576×10^{-1}	7.175×10^{-1}	3.048×10^{-1}
30	3.880×10^{1}	1.780×10^{2}	3.473×10^{-1}	3.173×10^{-1}	1.698	3.593×10^{-1}	1.208×10^{-1}	7.043×10^{-1}	3.613×10^{-1}
35	2.955×10^{1}	1.647×10^{2}	3.948×10^{-1}	2.528×10^{-1}	1.807	4.648×10^{-1}	8.878×10^{-2}	6.988×10^{-1}	4.245×10^{-1}
40				1.297×10^{-1}	1.780×10^{-1}	2.189×10^{-1}			
45				1.095×10^{-1}	1.741×10^{-1}	2.269×10^{-1}			
50	8.801	2.728×10^{1}	2.957×10^{-1}	9.032×10^{-2}	1.712×10^{-1}	2.324×10^{-1}	3.883×10^{-2}	8.730×10^{-2}	5.105×10^{-1}
55	7.839	2.592×10^{1}	3.499×10^{-1}	7.422×10^{-2}	1.697×10^{-1}	2.454×10^{-1}	3.419×10^{-2}	8.315×10^{-2}	5.606×10^{-1}
60	6.951	2.489×10^{1}	4.198×10^{-1}	6.251×10^{-2}	1.692×10^{-1}	2.733×10^{-1}	2.985×10^{-2}	7.961×10^{-2}	6.169×10^{-1}
65	6.130	2.409×10^{1}	5.019×10^{-1}	5.528×10^{-2}	1.696×10^{-1}	3.217×10^{-1}	2.609×10^{-2}	7.597×10^{-2}	6.756×10^{-1}
70	5.369	2.349×10^{1}	5.881×10^{-1}	5.087×10^{-2}	1.696×10^{-1}	3.847×10^{-1}	2.302×10^{-2}	7.163×10^{-2}	7.299×10^{-1}
75	4.666	2.269×10^{1}	6.618×10^{-1}	4.797×10^{-2}	1.663×10^{-1}	4.492×10^{-1}	2.066×10^{-2}	6.649×10^{-2}	7.750×10^{-1}
80	4.040	2.169×10^{1}	7.187×10^{-1}	4.583×10^{-2}	1.549×10^{-1}	4.926×10^{-1}	1.886×10^{-2}	6.093×10^{-2}	8.103×10^{-1}
85	3.504	2.037×10^{1}	7.550×10^{-1}	4.398×10^{-2}	1.348×10^{-1}	4.943×10^{-1}	1.746×10^{-2}	5.558×10^{-2}	8.392×10^{-1}
90	3.067	1.883×10^{1}	7.726×10^{-1}	4.228×10^{-2}	1.137×10^{-1}	4.690×10^{-1}	1.633×10^{-2}	5.039×10^{-2}	8.585×10^{-1}
95	2.731	1.707×10^{1}	7.714×10^{-1}	4.068×10^{-2}	9.705×10^{-2}	4.406×10^{-1}	1.543×10^{-2}	4.571×10^{-2}	8.763×10^{-1}
100	2.500	1.528×10^{1}	7.557×10^{-1}	3.925×10^{-2}	8.567×10^{-2}	4.273×10^{-1}	1.466×10^{-2}	4.171×10^{-2}	8.939×10^{-1}
105	2.364	1.341×10^{1}	7.239×10^{-1}	3.808×10^{-2}	7.862×10^{-2}	4.394×10^{-1}	1.397×10^{-2}	3.815×10^{-2}	9.080×10^{-1}
110	2.296	1.170×10^{1}	6.827×10^{-1}	3.715×10^{-2}	7.436×10^{-2}	4.752×10^{-1}	1.336×10^{-2}	3.521×10^{-2}	9.244×10^{-1}
115	2.265	1.021×10^{1}	6.363×10^{-1}	3.636×10^{-2}	7.201×10^{-2}	5.319×10^{-1}	1.283×10^{-2}	3.271×10^{-2}	9.423×10^{-1}
120	2.246	8.950	5.873×10^{-1}	3.566×10^{-2}	7.109×10^{-2}	6.073×10^{-1}	1.235×10^{-2}	3.047×10^{-2}	9.566×10^{-1}
125	2.219	7.923	5.386×10^{-1}	3.502×10^{-2}	7.113×10^{-2}	6.974×10^{-1}	1.192×10^{-2}	2.863×10^{-2}	9.684×10^{-1}
130	2.170	7.094	4.909×10^{-1}	3.445×10^{-2}	7.160×10^{-2}	7.969×10^{-1}	1.155×10^{-2}	2.702×10^{-2}	9.802×10^{-1}
135	2.102	6.450	4.469×10^{-1}	3.394×10^{-2}	7.263×10^{-2}	9.099×10^{-1}	1.122×10^{-2}	2.561×10^{-2}	9.901×10^{-1}
140	2.009	5.916	4.018×10^{-1}	3.345×10^{-2}	7.476×10^{-2}	1.047	1.088×10^{-2}	2.436×10^{-2}	9.964×10^{-1}
145	1.895	5.498	3.580×10^{-1}	3.296×10^{-2}	7.875×10^{-2}	1.224	1.056×10^{-2}	2.313×10^{-2}	9.987×10^{-1}
150	1.757	5.177	3.156×10^{-1}	3.243×10^{-2}	8.599×10^{-2}	1.467	1.030×10^{-2}	2.198×10^{-2}	1.013

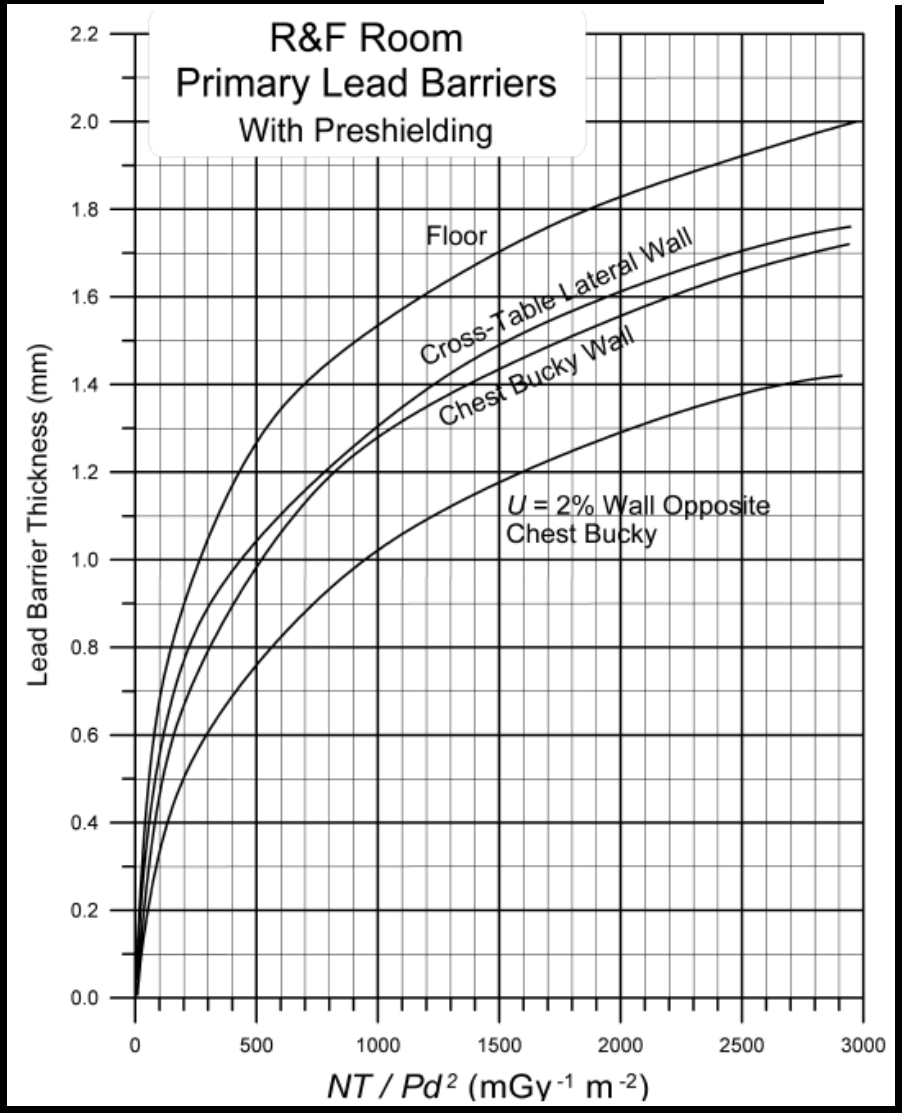
TABLE B.1—*Fitting parameters for transmission of broad primary x-ray beams to Equation A.2 (thickness x is input in millimeters).*

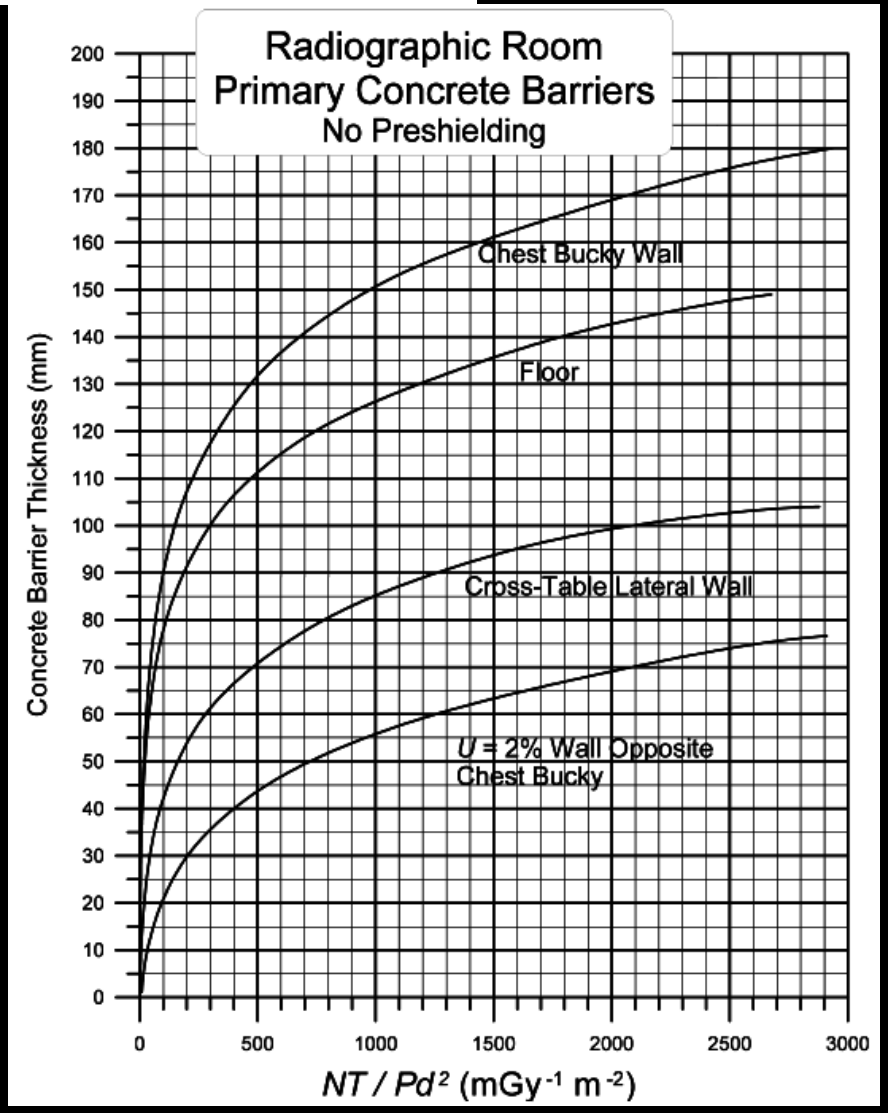
Workload Distribution[a]	Lead			Concrete[b]			Gypsum Wallboard		
	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ
Rad Room (all barriers)	2.346	1.590×10^{1}	4.982×10^{-1}	3.626×10^{-2}	1.429×10^{-1}	4.932×10^{-1}	1.420×10^{-2}	5.781×10^{-2}	7.445×10^{-1}
Rad Room (chest bucky)	2.264	1.308×10^{1}	5.600×10^{-1}	3.552×10^{-2}	1.177×10^{-1}	6.007×10^{-1}	1.278×10^{-2}	4.848×10^{-2}	8.609×10^{-1}
Rad Room (floor or other barriers)	2.651	1.656×10^{1}	4.585×10^{-1}	3.994×10^{-2}	1.448×10^{-1}	4.231×10^{-1}	1.679×10^{-2}	6.124×10^{-2}	7.356×10^{-1}
Fluoroscopy Tube (R&F room)	2.347	1.267×10^{1}	6.149×10^{-1}	3.616×10^{-2}	9.721×10^{-2}	5.186×10^{-1}	1.340×10^{-2}	4.283×10^{-2}	8.796×10^{-1}
Rad Tube (R&F room)	2.295	1.300×10^{1}	5.573×10^{-1}	3.549×10^{-2}	1.164×10^{-1}	5.774×10^{-1}	1.300×10^{-2}	4.778×10^{-2}	8.485×10^{-1}
Chest Room	2.283	1.074×10^{1}	6.370×10^{-1}	3.622×10^{-2}	7.766×10^{-2}	5.404×10^{-1}	1.286×10^{-2}	3.505×10^{-2}	9.356×10^{-1}
Mammography Room	3.060×10^{1}	1.776×10^{2}	3.308×10^{-1}	2.577×10^{-1}	1.765	3.644×10^{-1}	9.148×10^{-2}	7.090×10^{-1}	3.459×10^{-1}
Cardiac Angiography	2.389	1.426×10^{1}	5.948×10^{-1}	3.717×10^{-2}	1.087×10^{-1}	4.879×10^{-1}	1.409×10^{-2}	4.814×10^{-2}	8.419×10^{-1}
Peripheral Angiography[c]	2.728	1.852×10^{1}	4.614×10^{-1}	4.292×10^{-2}	1.538×10^{-1}	4.236×10^{-1}	1.774×10^{-2}	6.449×10^{-2}	7.158×10^{-1}

主屏蔽計算

- NCRP-147　方法三：

Workload Distribution[a]	W_{norm} (mA min patient^{-1})[b,c]	K_P^1 (mGy patient^{-1})[d]
Rad Room (chest bucky)	0.6	2.3
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	5.2
Rad Tube (R&F Room)	1.5	5.9
Chest Room	0.22	1.2





工作負載需依照實際狀況修正：乘以 W_{site} / W_{norm}。

使用NCRP-147方法計算主屏蔽

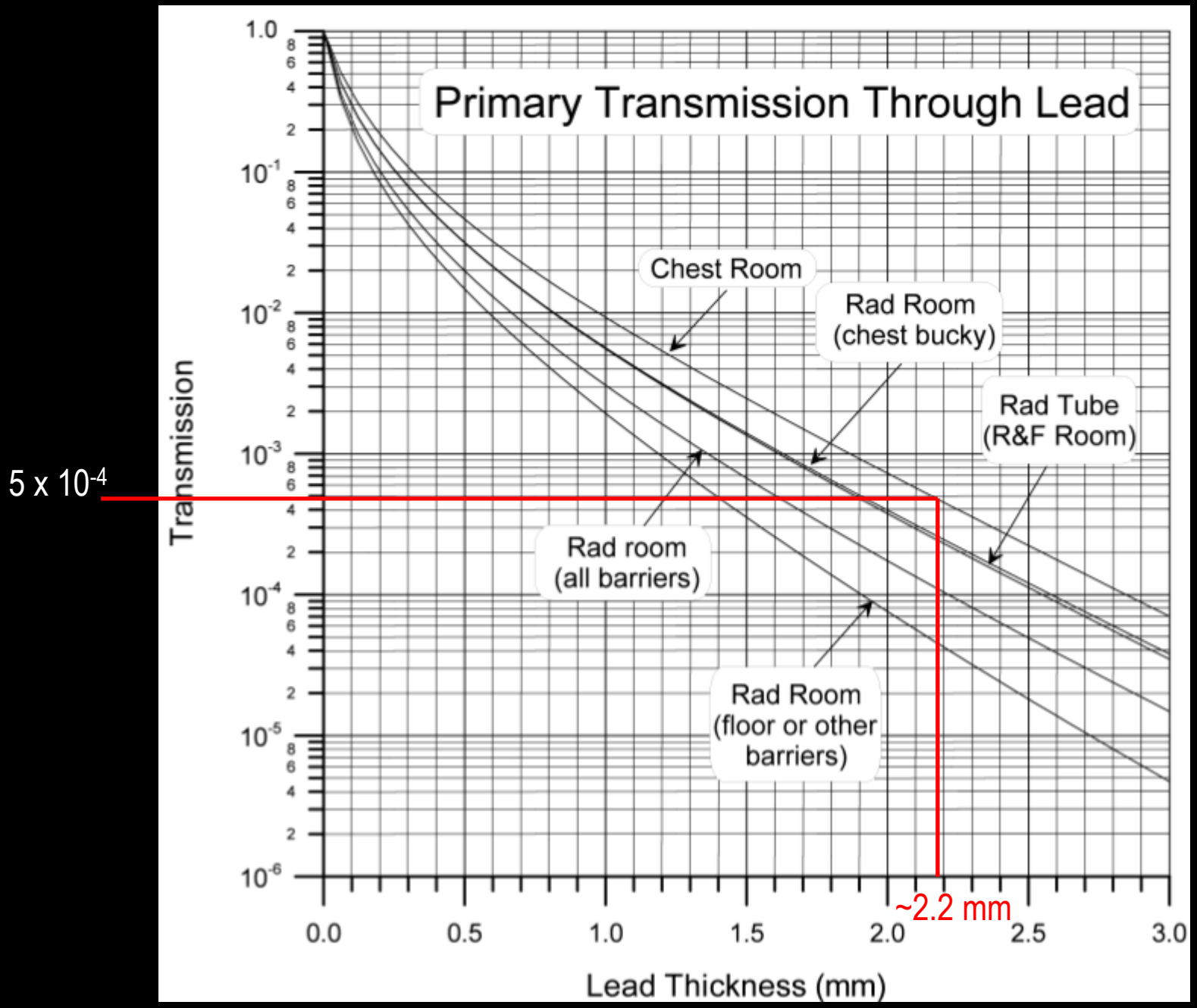
- Dedicated chest x-ray room
  - 300 patients per week
  - P/T = 0.02 mGy per week
  - SID = 1.83 m
  - d_{pri} = 3 m
  - U = 1

Workload Distribution[a]	W_{norm} (mA min patient^{-1})[b,c]	K_P^1 (mGy patient^{-1})[d]
Rad Room (chest bucky)	0.6	2.3
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	5.2
Rad Tube (R&F Room)	1.5	5.9
Chest Room	0.22	1.2

方法一：傳統查表法

$$K_p(0) = \frac{1.2\,\frac{mGy}{patient} \times 1 \times 300\,\frac{patient}{week}}{(3\,m)^2} = 40\,\frac{mGy}{week}$$

$$B_p\left(x_{barrier} + x_{pre}\right) = \frac{0.02\,\frac{mGy}{week}}{40\,\frac{mGy}{week}} = 5 \times 10^{-4}$$


Primary Transmission Through Lead
Transmission
Lead Thickness (mm)
Chest Room
Rad Room
(chest bucky)
Rad Tube
(R&F Room)
Rad room
(all barriers)
Rad Room
(floor or other
barriers)
5 x 10-4
~2.2 mm
1.0
10-1
10-2
10-3
10-4
10-5
10-6
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0

使用NCRP-147方法計算主屏蔽

- Dedicated chest x-ray room
  - 300 patients per week
  - P/T = 0.02 mGy per week
  - SID = 1.83 m
  - d_{pri} = 3 m
  - U = 1

方法二：公式推算法

Workload Distribution[a]	Lead		
	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ
Rad Room (all barriers)	2.346	1.590×10^{1}	4.982×10^{-1}
Rad Room (chest bucky)	2.264	1.308×10^{1}	5.600×10^{-1}
Rad Room (floor or other barriers)	2.651	1.656×10^{1}	4.585×10^{-1}
Fluoroscopy Tube (R&F room)	2.347	1.267×10^{1}	6.149×10^{-1}
Rad Tube (R&F room)	2.295	1.300×10^{1}	5.573×10^{-1}
Chest Room	2.283	1.074×10^{1}	6.370×10^{-1}

$$x_{barrier} + x_{pre} = \frac{1}{2.283 \times 0.637} ln \left[\frac{\left(\frac{300 \times 1 \times 1 \times 1.2}{0.02 \times 3^2} \right)^{0.637} + \frac{10.74}{2.283}}{1 + \frac{10.74}{2.283}} \right] = 2.2$$

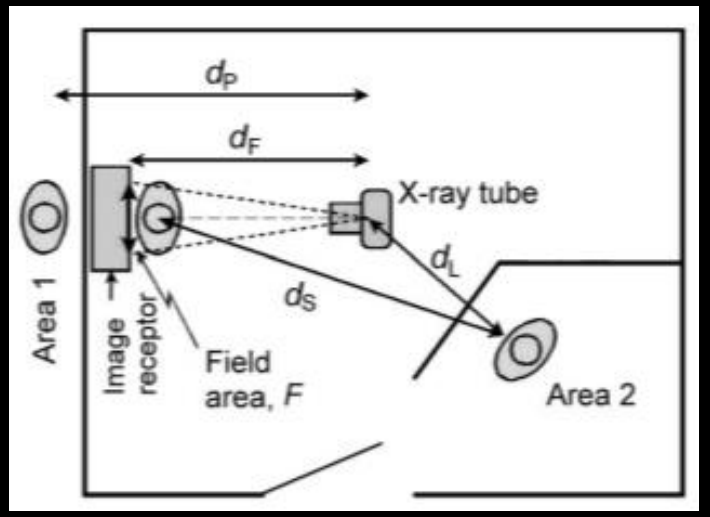
Application	x_{pre} (in mm)		
	Lead	Concrete	Steel
Image receptor in radiographic table or wall-mounted cassette holder (attenuation by grid, cassette, and image-receptor supporting structures)	0.85	72	7

比較NCRP-49與NCRP-147

項目	NCRP-49	NCRP-147
設計目標 P	管制區：1 mGy / week 非管制區：0.1 mGy / week	管制區：0.1 mGy / week (新裝機標準) 非管制區：0.02 mGy / week
工作負載 W	mA · min / week	mA · min / week mGy / week
占用因數 T	1, 1/4, 1/16	1, 1/2, 1/5, 1/8, 1/20, 1/40
適用範圍	30 kV ~ 10 MV	25 kV ~ 150 kV
推算方式	衰減率→查表找厚度	1.衰減率→查表找厚度 2.以公式計算厚度
設備衰減量	無	可扣除

次屏蔽計算

- NCRP-49
  - 滲漏輻射 (leakage radiation) ← 來自**輻射源**
  - 散射輻射 (scattered radiation) ← 來自**受檢者/病患**



滲漏輻射計算：(>500 kV時)

Leakage radiation < 0.1% primary beam

$$X_L = \frac{0.001 X_u t}{(d_{sec})^2} = \frac{0.001 WUT}{(d_{sec})^2} \qquad X_u = X_n I \quad It = W$$

$$P = B_{LX} X_L = \frac{B_{LX}(0.001 WUT)}{(d_{sec})^2}$$

$$B_{LX} = \frac{1000 P (d_{sec})^2}{X_n WT}$$

滲漏輻射計算：(<150 kV時)

Leakage radiation < 0.1 R/hr @ 1m

$$B_{LX} = \frac{P(d_{sec})^2 600 I}{WT}$$

滲漏輻射計算：(150~500 kV時)

Leakage radiation < 1 R/hr @ 1m

$$X_L = \frac{1}{(d_{sec})^2}\frac{t}{60} = \frac{1}{(d_{sec})^2}\frac{WT}{60I}$$

$$\frac{P}{T} = B_{LX} X_{LX} = \frac{B_L}{(d_{sec})^2}\frac{W}{60I}$$

$$B_{LX} = \frac{P(d_{sec})^2 60 I}{WT}$$

次屏蔽計算 – (1)滲漏輻射屏蔽

- NCRP-49
  - Determine the thickness of leakage protective barrier necessary to protect a controlled area 2.1 m from the target of a 250 kV x-ray therapy machine having a weekly workload of 20,000 mA min. the wall in question adjoins an area with an occupancy factor of unity and the x-ray machine has a continuous tube current rating at 250 kV of 20 mA. Then

P = 0.1 R

d_{sec} = 2.1 m

W = 20,000 mA min

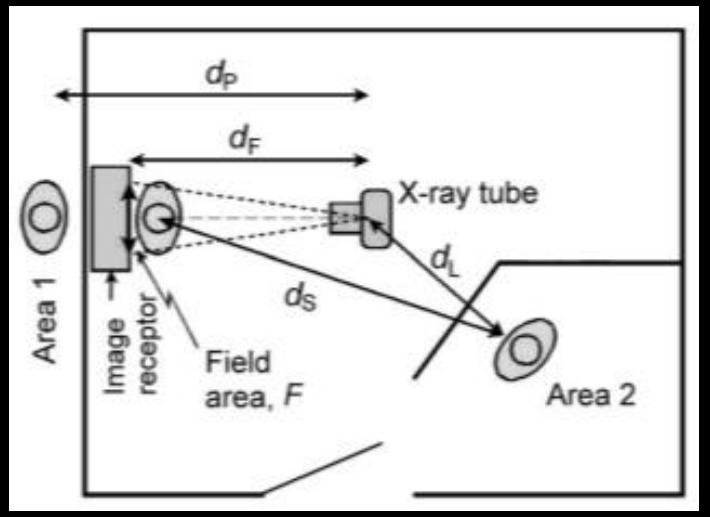
T = 1

$$B = \frac{(0.1)(2.1)^2(60)(20)}{(20{,}000)(1)} = 0.0265 = 5.2\ HVLs$$

HVL for 250 kV = 0.88 mm lead or 2.8 cm concrete → 5.2 x 0.88 = 4.57 mm lead

次屏蔽計算

- NCRP-49
  - 散射輻射 (scattered radiation) ← 來自受檢者/病患



散射輻射計算：(<500 kV)

Standard scattered radiation FOV = 400 cm^2

$$X_S = a \cdot X_u \frac{Ft}{400} \frac{1}{(d_{sec})^2} \frac{1}{(d_F)^2}$$

$d_F = d_{sca}$

$$P = B_{SX} X_S = B_{SX} \cdot \frac{X_n It}{(d_{sec})^2} \cdot \frac{a}{(d_F)^2} \cdot \frac{Ft}{400}$$

$$K_{ux} = \frac{P}{aWT} d_{sec}^2 \cdot d_F^2 \cdot \frac{400}{F}$$

1 MV：x 1/20
2 MV：x 1/300
3 MV：x 1/700
4~10 MV → use Figure 9 and 10

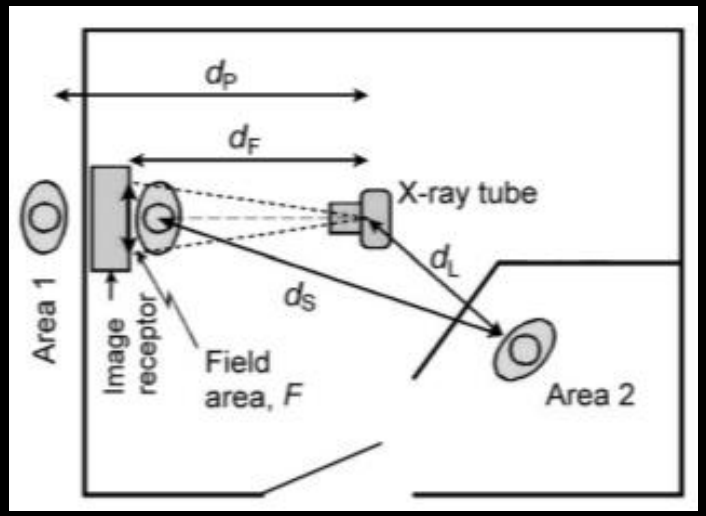


TABLE B-2—*Ratio, a, of scattered to incident exposure*[a]

Source	Scattering Angle (from Central Ray)					
	30	45	60	90	120	135
X Rays						
50 kV[b]	0.0005	0.0002	0.00025	0.00035	0.0008	0.0010
70 kV[b]	0.00065	0.00035	0.00035	0.0005	0.0010	0.0013
100 kV[b]	0.0015	0.0012	0.0012	0.0013	0.0020	0.0022
125 kV[b]	0.0018	0.0015	0.0015	0.0015	0.0023	0.0025
150 kV[b]	0.0020	0.0016	0.0016	0.0016	0.0024	0.0026
200 kV[b]	0.0024	0.0020	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
250 kV[b]	0.0025	0.0021	0.0019	0.0019	0.0027	0.0028
300 kV[b]	0.0026	0.0022	0.0020	0.0019	0.0026	0.0028
4 MV[c]	—	0.0027	—	—	—	—
6 MV[d]	0.007	0.0018	0.0011	0.0006	—	0.0004
Gamma Rays						
^{137}Cs[e]	0.0065	0.0050	0.0041	0.0028	—	0.0019
^{60}Co[f]	0.0060	0.0036	0.0023	0.0009	—	0.0006

次屏蔽計算 – (2)散射輻射屏蔽

- NCRP-49
  - Determine the thickness of scattered radiation protective barrier necessary to protect a controlled area 2.1 m from the scatter (patient) using a 250 kV x-ray therapy machine having a weekly workload of 20,000 mA min. The wall in question adjoins an area with an occupancy factor of unity and the the treatment distance is 50 cm (0.5 m).

P = 0.1 R
d_{sec} = 2.1 m
d_F = 0.5 m
A = 0.0019

W = 20,000 mA min
T = 1
F = 400 cm^2

$$B = \frac{(0.1)(2.1)^2(0.5)^2(400)}{(0.0019)(20{,}000)(1)(400)} = 0.0029$$

0.0029

15.2 x 0.25 = 3.8 mm lead

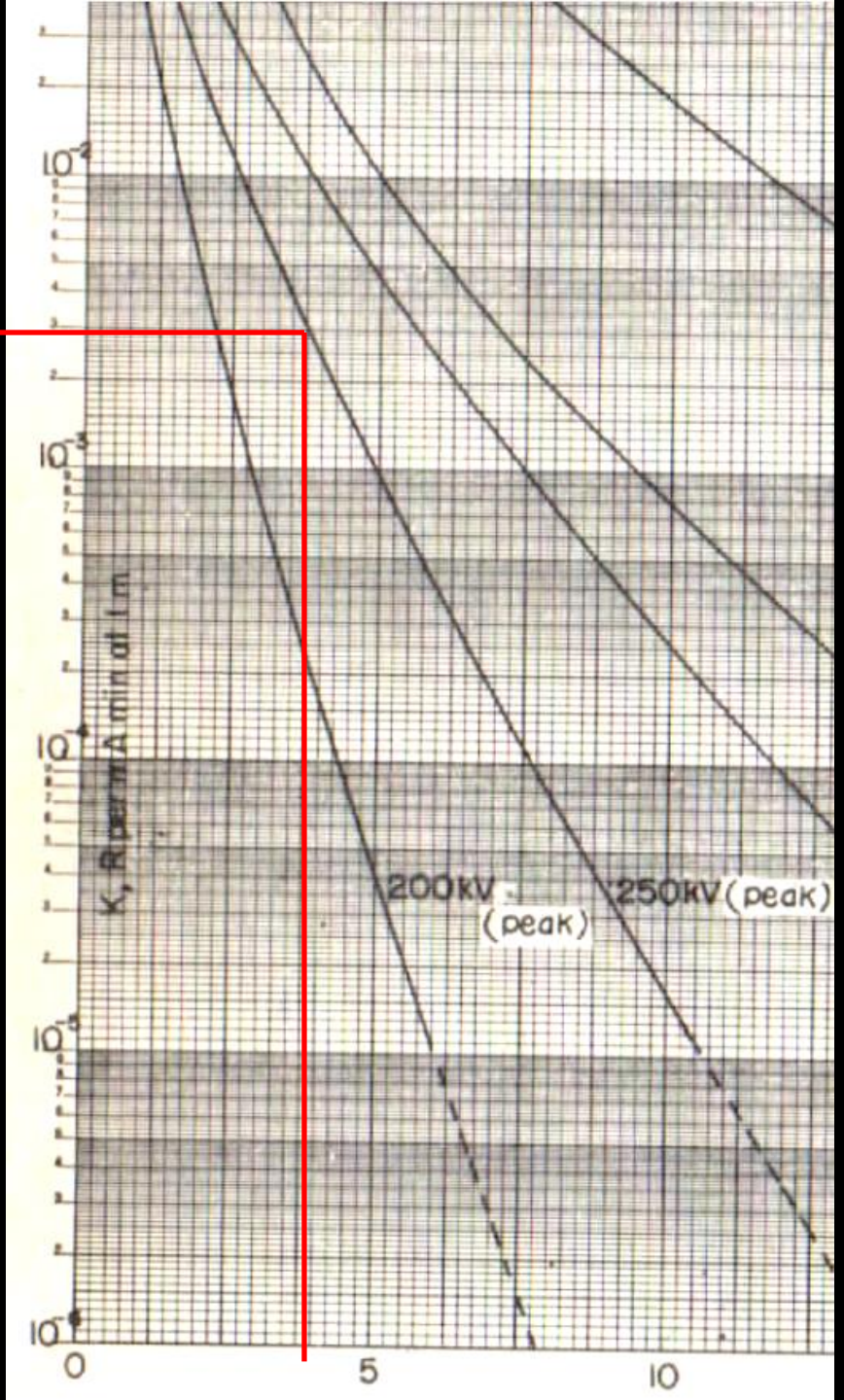


TABLE B-3—*Assumptions used in calculating secondary barrier requirements, Appendix C, Tables 5–24*

Installations	I[a]	a[b]	d_{sca}[c]	F[d]
100kV[e] diagnostic fluoroscopic	5	0.0013	0.45	400
125kV[e] diagnostic fluoroscopic	4	0.0015	0.45	400
150kV[e] diagnostic fluoroscopic	3.3	0.0016	0.45	400
100kV[e] diagnostic radiographic	5	0.0013	0.8	1000[f]
125kV[e] diagnostic radiographic	4	0.0015	0.8	1000[f]
150kV[e] diagnostic radiographic	3.3	0.0016	0.8	1000[f]
50kV[e] x-ray therapy	10	0.00035	0.25	400
100kV[e] x-ray therapy	5	0.0013	0.25	400
150kV[e] x-ray therapy	5	0.0016	0.5	400
200kV[e] x-ray therapy	20	0.0019	0.5	400
250kV[e] x-ray therapy	20	0.0019	0.5	400
300kV[e] x-ray therapy	20	0.0019	0.5	400
1000kV[e] x-ray therapy	—[g]	0.001	1	400
2000kV[e] x-ray therapy	—[g]	0.001	1	400
3000kV[e] x-ray therapy	—[g]	0.001	1	400
4000kV[e] x-ray therapy	—[g]	—	—	—
6000kV[e] x-ray therapy	—[g]	0.006	1	400
8000kV[e] x-ray therapy	—[g]	—	—	—
10000kV[e] x-ray therapy	—[g]	—	—	—
^{137}Cs teletherapy	—[g]	0.0028	0.5	400
^{60}Co teletherapy	—[g]	0.0009	0.5	400

合併計算結果

- 滲漏輻射屏蔽需求：4.57 mm Pb
- 散射輻射屏蔽需求：3.8 mm Pb

250 kV x-ray：
HVL = 0.88 mm
TVL = 2.9 mm

4.57 – 3.8 = 0.77 < TVL (2.9)

→ 應設置屏蔽厚度 = 4.57 + 0.88 = 5.45 mm Pb

次屏蔽計算

- NCRP-147

方法一：

$$B_{sec}(x_{barrier}) = \frac{P}{T}\frac{d_{sec}^2}{K_{sec}^1 N}$$

方法二：

$$x_{barrier} = \frac{1}{\alpha\gamma} ln\left[\frac{\left(\frac{NTK_{sec}^1}{Pd_{sec}^2}\right)^{\gamma} + \frac{\beta}{\alpha}}{1 + \frac{\beta}{\alpha}}\right]$$

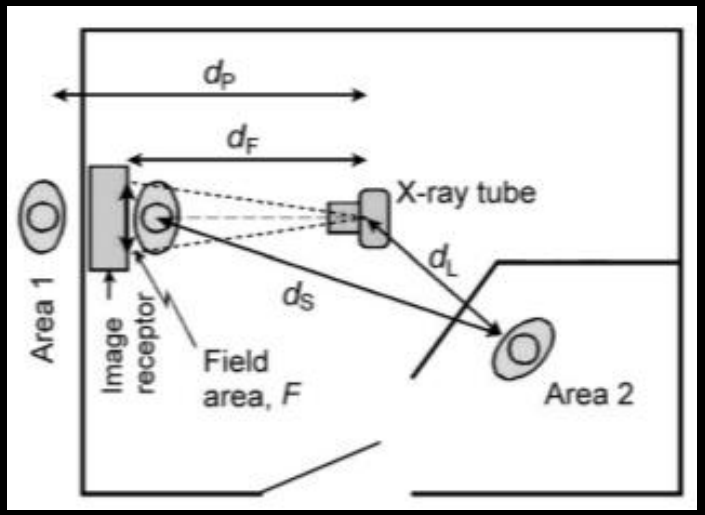


TABLE C.1—*Fitting parameters of the broad-beam secondary transmission to Equation A.2 (thickness x is input in millimeters).*[a]

Workload Distribution[b]	Lead			Concrete[c]			Gypsum Wallboard		
	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ	α (mm^{-1})	β (mm^{-1})	γ
30 kVp	3.879×10^{1}	1.800×10^{2}	3.560×10^{-1}	3.174×10^{-1}	1.725	3.705×10^{-1}	1.198×10^{-1}	7.137×10^{-1}	3.703×10^{-1}
50 kVp	8.801	2.728×10^{1}	2.957×10^{-1}	9.030×10^{-2}	1.712×10^{-1}	2.324×10^{-1}	3.880×10^{-2}	8.730×10^{-2}	5.105×10^{-1}
70 kVp	5.369	2.349×10^{1}	5.883×10^{-1}	5.090×10^{-2}	1.697×10^{-1}	3.849×10^{-1}	2.300×10^{-2}	7.160×10^{-2}	7.300×10^{-1}
100 kVp	2.507	1.533×10^{1}	9.124×10^{-1}	3.950×10^{-2}	8.440×10^{-2}	5.191×10^{-1}	1.470×10^{-2}	4.000×10^{-2}	9.752×10^{-1}
125 kVp	2.233	7.888	7.295×10^{-1}	3.510×10^{-2}	6.600×10^{-2}	7.832×10^{-1}	1.200×10^{-2}	2.670×10^{-2}	1.079
150 kVp	1.791	5.478	5.678×10^{-1}	3.240×10^{-2}	7.750×10^{-2}	1.566	1.040×10^{-2}	2.020×10^{-2}	1.135
Rad Room (all barriers)	2.298	1.738×10^{1}	6.193×10^{-1}	3.610×10^{-2}	1.433×10^{-1}	5.600×10^{-1}	1.380×10^{-2}	5.700×10^{-2}	7.937×10^{-1}
Rad Room (chest bucky)	2.256	1.380×10^{1}	8.837×10^{-1}	3.560×10^{-2}	1.079×10^{-1}	7.705×10^{-1}	1.270×10^{-2}	4.450×10^{-2}	1.049
Rad Room (floor or other barriers)	2.513	1.734×10^{1}	4.994×10^{-1}	3.920×10^{-2}	1.464×10^{-1}	4.486×10^{-1}	1.640×10^{-2}	6.080×10^{-2}	7.472×10^{-1}
Fluoroscopy Tube (R&F room)	2.322	1.291×10^{1}	7.575×10^{-1}	3.630×10^{-2}	9.360×10^{-2}	5.955×10^{-1}	1.330×10^{-2}	4.100×10^{-2}	9.566×10^{-1}
Rad Tube (R&F room)	2.272	1.360×10^{1}	7.184×10^{-1}	3.560×10^{-2}	1.114×10^{-1}	6.620×10^{-1}	1.290×10^{-2}	4.570×10^{-2}	9.355×10^{-1}
Chest Room	2.288	9.848	1.054	3.640×10^{-2}	6.590×10^{-2}	7.543×10^{-1}	1.300×10^{-2}	2.970×10^{-2}	1.195
Mammography Room	2.991×10^{1}	1.844×10^{2}	3.550×10^{-1}	2.539×10^{-1}	1.8411	3.924×10^{-1}	8.830×10^{-2}	7.526×10^{-1}	3.786×10^{-1}
Cardiac Angiography	2.354	1.494×10^{1}	7.481×10^{-1}	3.710×10^{-2}	1.067×10^{-1}	5.733×10^{-1}	1.390×10^{-2}	4.640×10^{-2}	9.185×10^{-1}
Peripheral Angiography[d]	2.661	1.954×10^{1}	5.094×10^{-1}	4.219×10^{-2}	1.559×10^{-1}	4.472×10^{-1}	1.747×10^{-2}	6.422×10^{-2}	7.299×10^{-1}

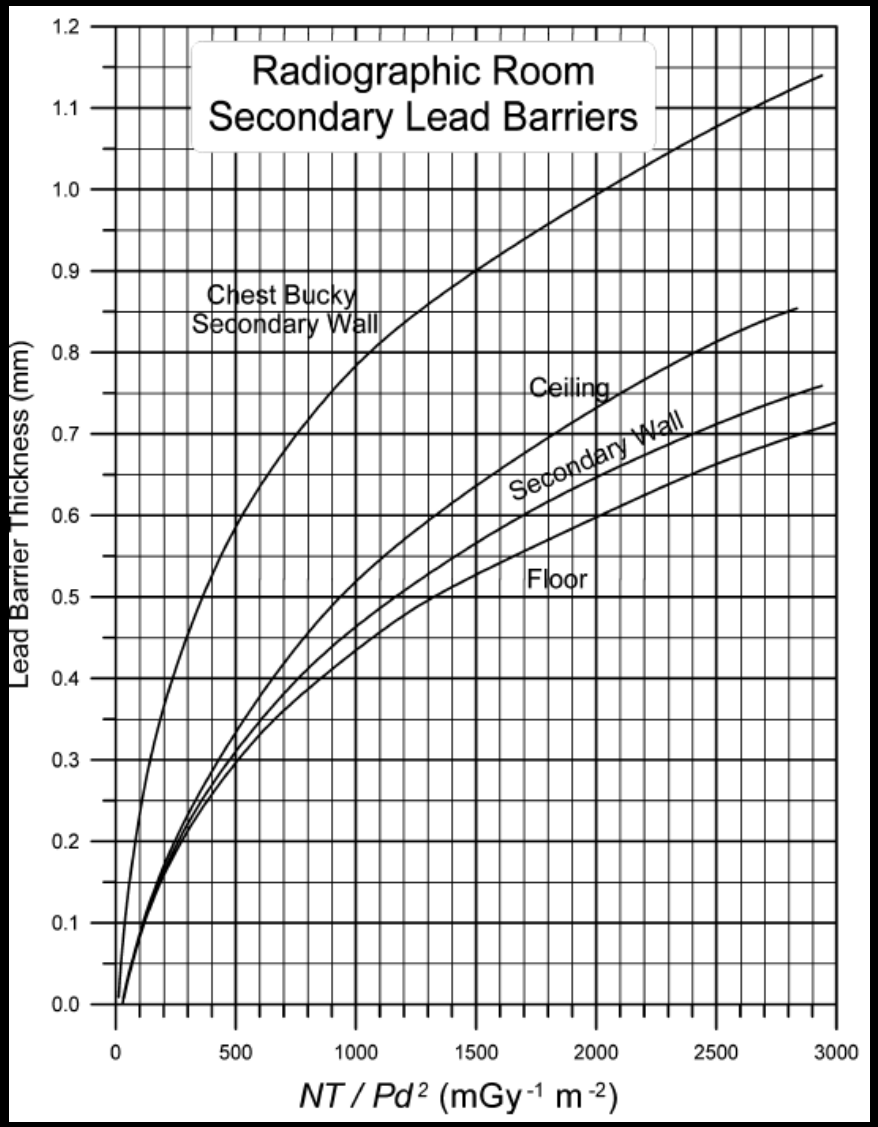
次屏蔽計算

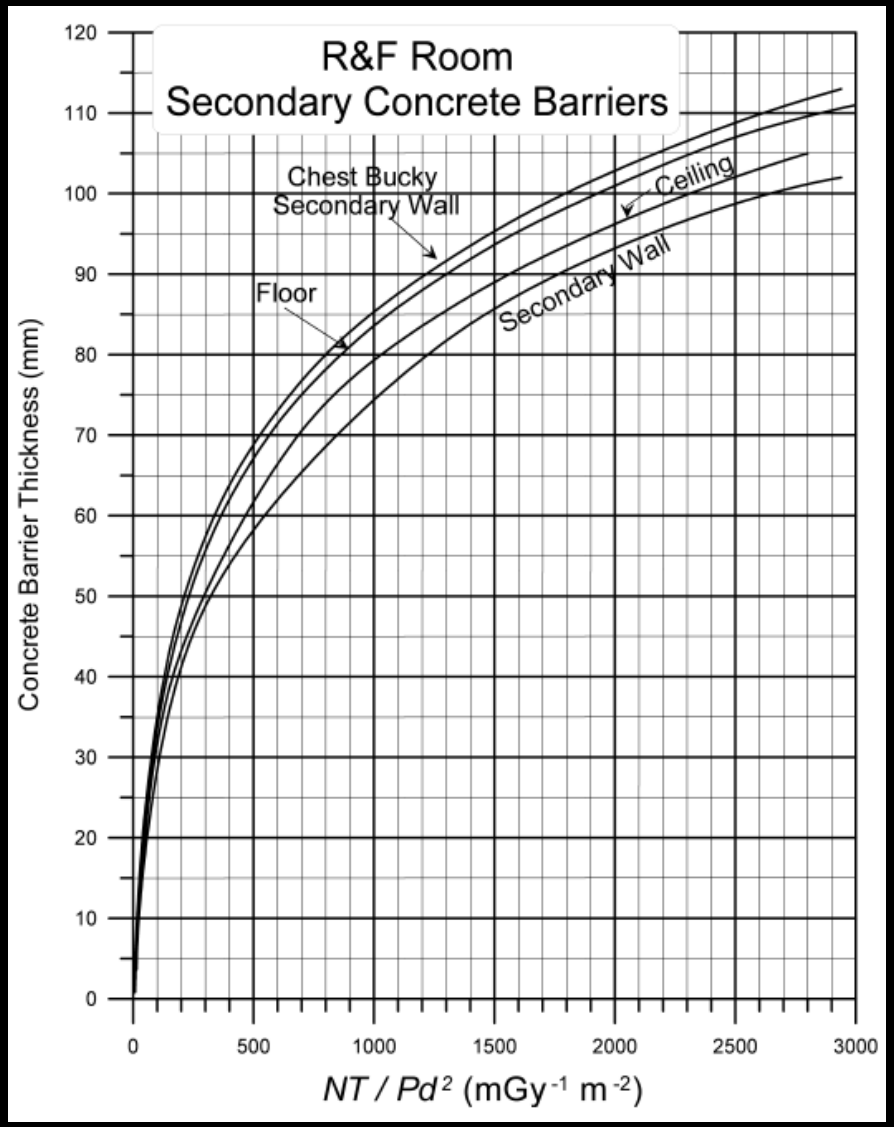
- NCRP-147 方法三：

TABLE 4.7—*Unshielded leakage, scattered and total secondary air kermas (in mGy patient^{-1}) for the indicated workload distributions at $d_S = d_L = 1$ m. The workload distributions and total workloads per patient (W_{norm}) for the indicated clinical sites are the average per patient surveyed by AAPM TG9 (Simpkin, 1996a), listed in Table 4.2. The primary field size F (in cm^2) is known at primary distance d_F. Side-scattered radiation is calculated for 90 degree scatter. Forward- and backscattered radiations are calculated for 135 degree scatter.*[a] *Leakage radiation technique factors are 150 kVp at 3.3 mA to achieve 0.876 mGy h^{-1} (100 mR h^{-1}) for all tubes except mammography, which assumes leakage radiation technique factors of 50 kVp at 5 mA.*

Workload Distribution	W_{norm} (mA min patient^{-1})	F (cm^2) at d_F (m)		Unshielded Air Kerma (mGy patient^{-1}) at 1 m				
				Leakage	Side-Scatter	Leakage and Side-Scatter (K^1_{sec})[b]	Forward/ Backscatter	Leakage and Forward/ Backscatter (K^1_{sec})[c]
Rad Room (all barriers)	2.5	1,000	1.00	5.3×10^{-4}	3.4×10^{-2}	3.4×10^{-2}	4.8×10^{-2}	4.9×10^{-2}
Rad Room (chest bucky)	0.60	1,535[d]	1.83	3.9×10^{-4}	4.9×10^{-3}	5.3×10^{-3}	6.9×10^{-3}	7.3×10^{-3}
Rad Room (floor or other barriers)	1.9	1,000	1.00	1.4×10^{-4}	2.3×10^{-2}	2.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}
Fluoroscopy Tube (R&F room)	13	730[e]	0.80	1.2×10^{-2}	3.1×10^{-1}	3.2×10^{-1}	4.4×10^{-1}	4.6×10^{-1}
Rad Tube (R&F room)	1.5	1,000	1.00	9.4×10^{-4}	2.8×10^{-2}	2.9×10^{-2}	3.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}
Chest Room	0.22	1,535[d]	2.00	3.8×10^{-4}	2.3×10^{-3}	2.7×10^{-3}	3.2×10^{-3}	3.6×10^{-3}
Mammography Room[f]	6.7	720[g]	0.58	1.1×10^{-5}	1.1×10^{-2}	1.1×10^{-2}	4.9×10^{-2}	4.9×10^{-2}
Cardiac Angiography	160	730[e]	0.90	8.8×10^{-2}	2.6	2.7	3.7	3.8
Peripheral Angiography[h]	64	730[e]	0.90	3.4×10^{-3}	6.6×10^{-1}	6.6×10^{-1}	9.5×10^{-1}	9.5×10^{-1}

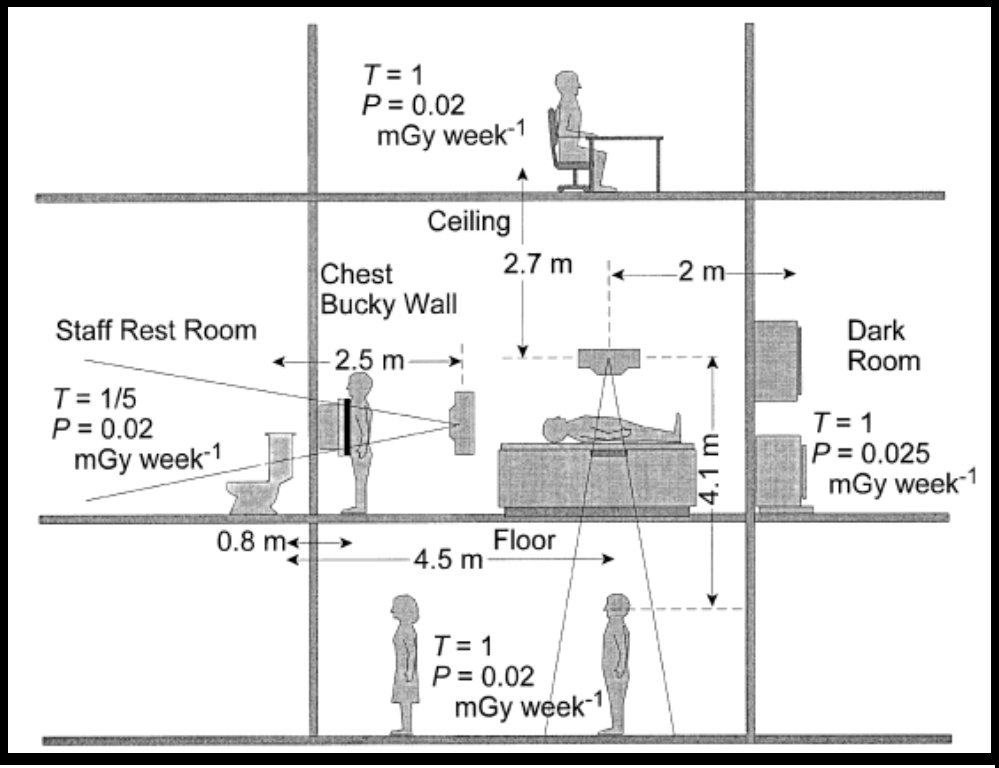
[a]To be conservatively safe, the somewhat higher values for backscattered radiation (135 degrees) are used for both backscattered and forward-scattered (30 degrees) radiations (see Figure C.1).
[b]The total secondary air kerma from both leakage and side-scattered radiations.
[c]The total secondary air kerma from both leakage and forward/backscattered radiations.
[d]The area of a 36 × 43 cm (14 × 17 inches) field.
[e]The area of a 30.5 cm (12 inches) diameter image intensifier.
[f]Calculations have shown that 3.6×10^{-2} mGy patient^{-1} is a conservatively safe maximum value for K^1_{sec} for all barriers for a standard four-view mammographic examination, when evaluated at 1 m from the isocenter of the mammography unit (Simpkin, 1995) (Section 5.5). The entries in Table 4.7 were evaluated 1 m from the x-ray tube and patient.
[g]The area of a 24 × 30 cm cassette.
[h]The data in this Table for *Peripheral Angiography* also apply to *Neuroangiography*.

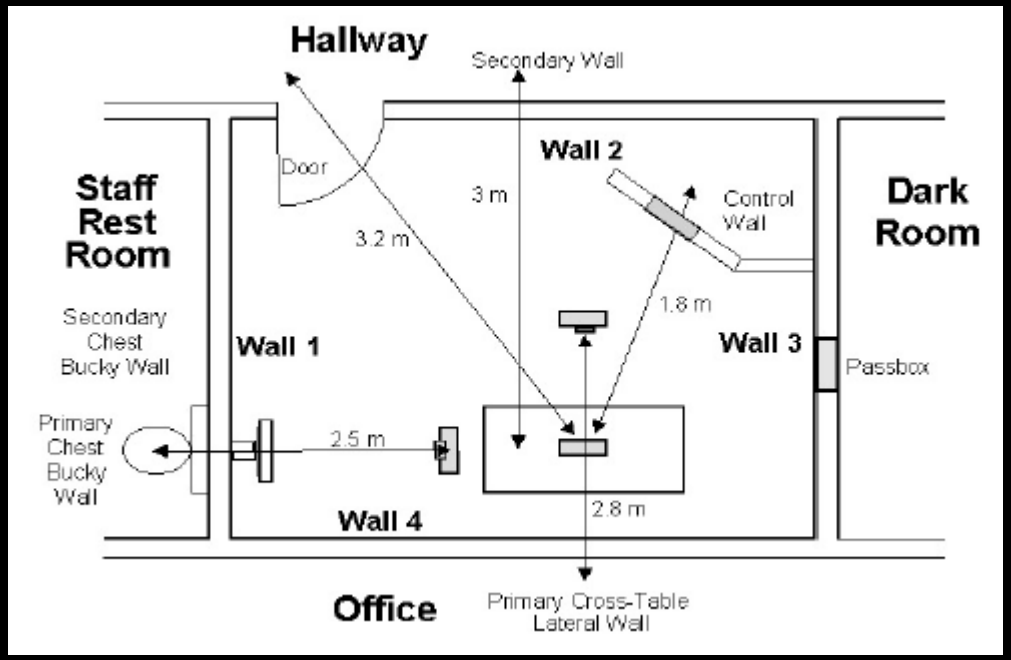


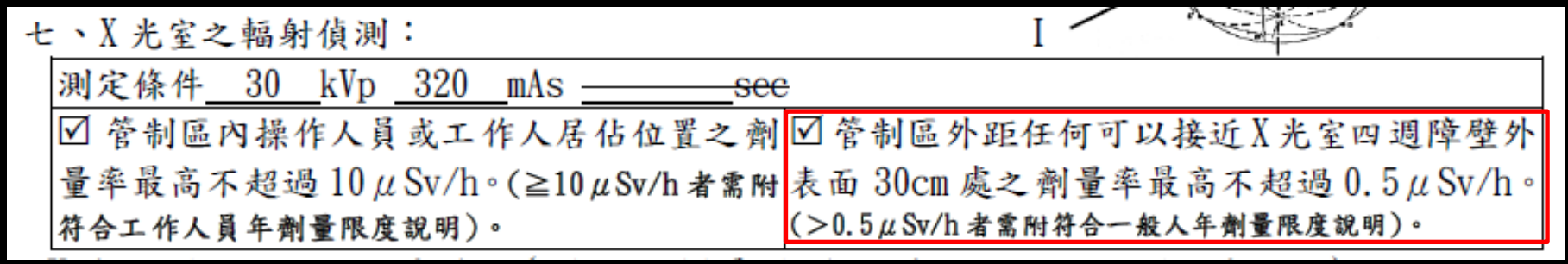


工作負載需依照實際狀況修正：乘以 W_{site} / W_{norm}。

複雜的X光室設計


T = 1
P = 0.02
mGy week-1
Ceiling
2.7 m
2 m
Chest
Bucky Wall
Staff Rest Room
2.5 m
Dark
Room
T = 1/5
P = 0.02
mGy week-1
T = 1
P = 0.025
mGy week-1
4.1 m
0.8 m
4.5 m
Floor
T = 1
P = 0.02
mGy week-1


Hallway
Secondary Wall
Door
Wall 2
Staff
Rest
Room
3 m
Control
Wall
Dark
Room
3.2 m
1.8 m
Secondary
Chest
Bucky Wall
Wall 1
Wall 3
Passbox
Primary
Chest
Bucky
Wall
2.5 m
Wall 4
2.8 m
Office
Primary Cross-Table
Lateral Wall



七、X 光室之輻射偵測：

測定條件 30 kVp 320 mAs ~~sec~~	
☑ 管制區內操作人員或工作人居佔位置之劑量率最高不超過 10 μSv/h。(≧10 μSv/h 者需附符合工作人員年劑量限度說明)。	☑ 管制區外距任何可以接近X光室四週障壁外表面 30cm 處之劑量率最高不超過 0.5 μSv/h。(>0.5 μSv/h 者需附符合一般人年劑量限度說明)。

為符合法規標準，占用因數最好都設為 1。

台灣的醫院一般而言工作負載會大於美國，需要修正 W_{site} / W_{norm}。

依照推算結果僅能滿足：一般人年劑量率 < 1 mGy，至少會加一個HVL確保安全無虞。

若實測值超過 0.5 μSv/h，可以使用推算結果滿足：符合一般人年劑量限度說明。

法規條文 –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

第17條

使用下列可發生游離輻射設備者，申請人應向主管機關申請**登記備查**：

一、公稱電壓為十五萬伏（150kV）或粒子能量為十五萬電子伏（150keV）以下者。

二、櫃型或行李檢查X光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器在正常使用狀況下，其可接近表面五公分處劑量率為每小時五微西弗以下者。

三、其他經主管機關指定者。

使用前項以外或前項第一款非屬醫療用途，而對人體直接照射之可發生游離輻射設備者，應向主管機關申請**許可證**。

法規條文 –游離輻射防護法

第32條

許可證有效期間內，設施經營者應對放射性物質、可發生游離輻射設備或其設施，**每年至少偵測一次**，提報主管機關偵測證明備查，偵測項目由主管機關定之

☑ 許可類
☐ 登記類

非醫用可發生游離輻射設備輻射安全測試報告

一、申報單位基本資料 TMP2020-0161　　114 年 05 月 21 日到期

單位：[redacted]　負責人：[redacted]　電話：02-[redacted]

代碼：([redacted])　聯絡人：[redacted]　電話：02[redacted]

單位地址：[redacted]

使用場所：[redacted]

裝設地點：[redacted]

負責操作人員：[redacted]　證書號碼：輻安證字第[redacted]號

二、申報事由(證照號碼：設字第[redacted]號；雲化系統申請文號：[redacted])

☐新申請	☐五年屆期測試	☐換 X 光管或加速管	☐恢復使用
☐遷移新址	☐變更作業場所	☐改裝	☑ 其他

三、設備基本資料：　因有參予人體研究計畫依法應辦理許可類設備登記

用途	學術研究　(例:測量控制、分析鑑定、學術研究、獸醫 X 光機...)					
設備廠牌	GE	型號	Lunar iDXA	序號	210081GA	2011 年 08 月製造
X 光管	1 個	型號	LOHHANN	序號	11017965	2019 年 04 月製造
		型號		序號		年 月製造
X 光機最高能量	100 KVp 2.5 mA 436sec			設備外觀尺寸		(或標示於附頁)
加速管	輻射線種類及最高能量					(keV 或 MeV)
	最大輸出劑量率					(cGy/min 或 R/min)

四、檢查項目：(以✓註記於☐內；免驗項目劃一並說明)　檢測日期：109 年 05 月 11 日

	檢查內容	合格
1.	「設備」與原廠型錄及圖說相符。(適用「新申請」案)	—
2.	裝有安全連鎖裝置及明顯警示燈，拆卸、開啟照射室門或「設備」防護罩時，將自動停止產生輻射。	☑
3.	☐「設備」之照射室入員無法進入； ☑ 裝有視窗或閉路電視，得以確認照射時照射室內無人逗留； ☐照射室內備有啟動照射之警示、緊急停止照射及緊急開門等裝置。	☑
4.	「設備」之外表面有明顯可見的輻射示警標誌，及表示「本儀器內含輻射源，報廢前應經原子能委員會核准」之警語。	☑
5.	獸醫用「設備」具有適當之輻射防護裝具。(檢附照片)	—
6.	偵測結果如下(請填附頁)： ①管制區外：0.07-0.1 μSv/hr (>0.5μSv/hr者需附符合劑量限度說明)。 ②管制區內 ☑ 無人員居佔(免測劑量率)； 管制區內☐有人員居佔，劑量率：_____μSv/hr (≧10μSv/hr者需附符合劑量限度明)。 ③☐「體型或行李檢查 X 光機、離子佈植機、電子束焊機或靜電消除器」正常使用時，可接近表面 5 公分處劑量率：_____μSv/hr (不得>5μSv/hr)。 檢查條件：100 kVp 2.5 mA 489 sec　背景輻射：0.07-0.1 μSv/hr 偵測儀器廠牌：ATOMTEX　型號：AT1121　序號：43418 校正單位：清華大學　校正日期：109 年 03 月 11 日	☑

實際操作條件不得超過本測試報告之測試條件

受託檢查單位：台灣醫學物理股份有限公司　原能會認可證字號：輻防偵字 00134 號

檢查人員簽章：[redacted] 游桂芬　輻事師(員)字第 01489 號

申報單位輻射防護作業管理人員簽章：[redacted]　電話：[redacted]

(申報單位須設置輻射防護人員或輻射防護管理組織者，須由權責人員或組織簽章)

受託檢查單位印信
台灣醫學物理股份有限公司
輻防偵字第00134號

[redacted]

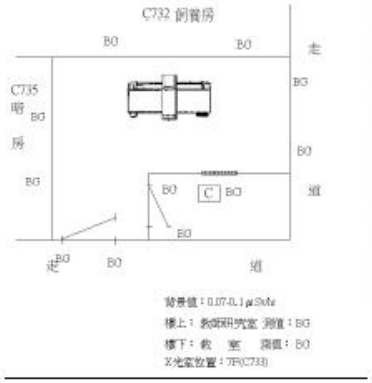
附頁

檢查照片及場所偵測示意圖 (拍照日期: 109.05.11)

1、使用場所周圍環境(道路)示意圖及裝設處所、房間或儲存位置之平面圖：

(測得之劑量率請註明於圖上相關位置，並標示輻射源位置及管制區範圍。)

(欄位空間如不足，請自行增添頁面。)



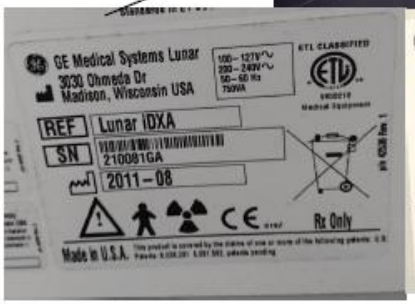


2、測試時相關照片：

(應含設備外觀、廠牌型號序號之銘牌、輻射示警標誌及許可類設備 X 光管等相關照片。)

(欄位空間如不足，請自行增添頁面。)







輻射防護的目標

- 防止**確定效應**的發生
- 降低**機率效應**的發生
- 利用輻射所得到的**效益必須超過代價**
- 輻射作業人員與一般人接受輻射劑量**不得超過法規限制**
- 考慮到經濟與社會因素後，一切福攝曝露必須保持**合理抑低**
- **ALARA – As Low As Reasonable Achievable**

請多指教