

國立東華大學

109學年度「輻射安全防護」教育訓練

蔡長書

慈濟科技大學

醫學影像暨放射科學系/放射醫學科學研究所

中華民國109年10月30日

放射性物質或可發生游離輻射設備操作人員訓練課程 輻射安全訓練班(18小時)講師資料表

姓 名	蔡長書	身分證字號	Q120762194	性別	男
服務單位	慈濟科技大學醫學影像暨放射科學系 / 放射醫學科學研究所			職 稱	副教授
學 歷	國立清華大學原子科學研究所博士			畢業日期	1996.01.01
經 歷	慈濟科技大學醫學影像暨放射科學系 輻防委員會執行秘書、系主任、所長、教務長			服務時間	23年
	花蓮教育大學、慈濟大學、中台科技大學兼任副教授				5年
專業證照	<p>1.國際專科放射師專業(The International Accreditation Board for Special Radiological Technologists, IABSRT)測驗合格- 放射線管理師(Radiation Safety Manager, RSM)(October 2015) , Certification No. 104-RS-001.</p> <p>2.輻射防護師 / 輻專師字第00497 號;</p> <p>3.輻射防護人員證明書/ 輻專高字第53號</p>				

國立東華大學
109學年度「輻射安全防護」教育訓練

游離輻射之安全防護

國立東華大學

109學年度「輻射安全防護」教育訓練

- 壹、前言 --- 輻射源簡介
- 貳、游離輻射安全法規標準
- 參、輻射安全防護實務
- 肆、結語

壹、前言



游離輻射防護法

輻射源三大分類

- 密封射源
- 非密封射源
- 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

- 放射性物質(密封/非密封)或可發生游離輻射設備設備及其輻射作業之管制依照其風險之高低進行合理之管制。

風險高

許可類
(許可證)

直線加速器

遙控荷式近接
治療設備
(Ir-192)

電腦刀

光子刀
(Co-60)

登記備查類
(登記備查證
明文件)

電腦斷層掃
描儀

校正用射源

診斷型X光機

風險低

豁免管制

設備及物質

● 設備

登記類：牙科型X光機、診斷型X光機、移動型X光機、電腦斷層掃描儀、乳房攝影X機、骨質密度儀、震波碎石定位用X光機、巡迴車用X光機。

許可類：醫用直線加速器、迴旋加速器。

● 物質

登記類：放射免疫分析(非密封)、密封校正射源。

許可類：核子醫學(含迴旋加速器生產核種)、放射治療(遠隔及近接)、血液照射器、密封校正射源等。

人員證照審查

● 操作人員

● 輻射安全證書

- 訓練班36小時 + AEC測驗及格者 = > AEC發證書。
- 每6年換證 (36小時訓練) 。
- 可操作許可類、登記類之設備或物質。

● 訓練取代證書

- 設施經營者或訓練班18小時及格者 = > 授課單位發證書。
- 不需換證(終生有效) 。
- 僅可操作登記類之設備或物質
 - 醫療院所之設備及物質，除了放射治療及核醫外，均為登記類。

壹、前言(續)



■ 何謂密封射源

依據ICRP、IAEA及IEC的定義，可綜合為將放射性物質密封在足夠強度的容器中，或將其牢固地慘合在非放射性材料內，在正常使用情況下，能防止放射性物質散失或逸漏，使人員不易與該放射性物質接觸稱為密封射源。密封射源體積小、方便攜帶，也降低造成輻射污染的機會。

壹、前言(續)



密封射源種類區分：

--阿伐、貝他、加馬、中子、
低能量光子射源

密封射源幾何形狀區分：

--點狀、線狀、面狀、圓柱狀、
圓環狀

壹、前言(續)



密封射源密封型式區分：

--平板型射源、罐封型射源、活化金屬

密封射源活度區分：

--核對級、操作級、參考級、標準級
等不同級別

壹、前言(續)



密封射源用途區分：

工業	非破壞檢測、造相、濕度計、密度計
醫療	放射照相、加馬射線遠隔治療、組織內和腔內的照相、表面照相
離子產生器	質譜儀上、靜電消除器、煙霧偵檢器
其他	儀器校正射源、 β 及低能 γ 計測器等

壹、前言(續)



密封射源輻射防護：

- 在規定條件(性能等級)下操作
(如溫度、壓力、機械振動、衝擊、磨損狀況等)
- 瞭解射源物理特性、安全性能和密封結構
- 操作人員職前與再職訓練
- 定期安全檢查
- 輻射防護依法規規定程序及作業

壹、前言(續)



■ 何謂非密封射源

非密封射源使用時放射性物質外釋開放，沒有被封裝保護起來。非密封射源以液態或氣態為主，主要作為示蹤的應用，在醫學、農業、工業和科學方面有很廣泛使用。

壹、前言(續)



非密封射源的種類區分：

--依毒性分為四類：

1. 極高毒性 (泛指能產生阿伐射線與Sr-90、Y-90等核種)。
2. 高毒性 (半衰期30天以上，但不包含阿伐核種與H-3、Be-7、C-14、S-35、Fe-55、Fe-59與Sr-90)。

壹、前言(續)



3. 中毒性

(半衰期30天以內之，但不包含阿伐核種與Ge- 71、天然U、Th)。

4. 輕毒性

(H-3、O-15、Ar-37、Co-58m、Ni-59、Zn-69、Ge-71、Kr-85、Sr-85m、Rb-87、Y-90m、Zr-93、Nb-97、Tc-96m、Tc-99m、Rh-103m、In-113m、I-129、Xe-131m、Xe-133、Cs-134m、Cs-135、Sm-147、Re-187、Os-191m、Pt-193m、Pt-197m、Th-232、U-235、U-238天然U、Th)。

壹、前言(續)



非密封射源輻射防護：

- 操作需在特定具有輻射防護設備與安全措施的场所或空間來執行。
- 依放射源活度不同，工作場所輻射防護設備需求亦不同。
- 非密封射源操作場所許可之放射活度又依核種毒性與甲(高活度操作室)、乙(同位素操作室)、丙(化學實驗室)、丁(一般實驗室) 4個級別分級標準及必備基本輻射防護設施需求。

壹、前言(續)



非密封射源安全操作原則：

- 操作場所合理設計
- 操作射源種類適當選擇
- 操作方法正確執行
- 廢棄物質正確處理
- 監測輻射有效評估
- 射源使用嚴格管理
- 使用人員安全要求

壹、前言(續)



■ 何謂「可發生游離輻射設備」

依據游離輻射法第二條用詞定義：

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。

「可發生游離輻射設備」可因使用需要在短時間內產生大量輻射。

壹、前言(續)



可發生游離輻射設備

-- 核設施

核反應器 (原子爐)

-- x光機

1. 醫用x光機

2. 工業用x光機

3. 分析鑑定用x光機等)

壹、前言(續)



-- 其他產生X光之設備

1. 電子束加工工藝及電子顯微鏡
2. 電視機、影像管
3. 發射管、調制管、燈塔管、磁控管、
高壓整流管、二極管等大功率高壓電子管

-- 粒子加速器

1. 直線加速器
2. 迴旋加速器
3. 同步迴旋加速器
4. 其他

放射診斷



【一般X光機】



【透視X光機】



【心血管攝影機】

1548家/2578部

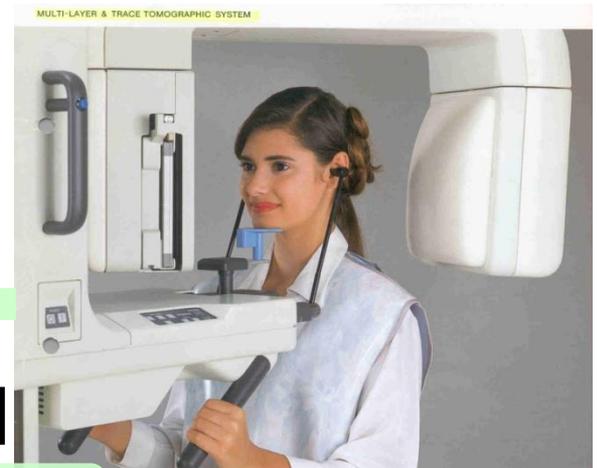


【移動式X光機】

365家/1158部

【牙科X光機】

6537家/9069部

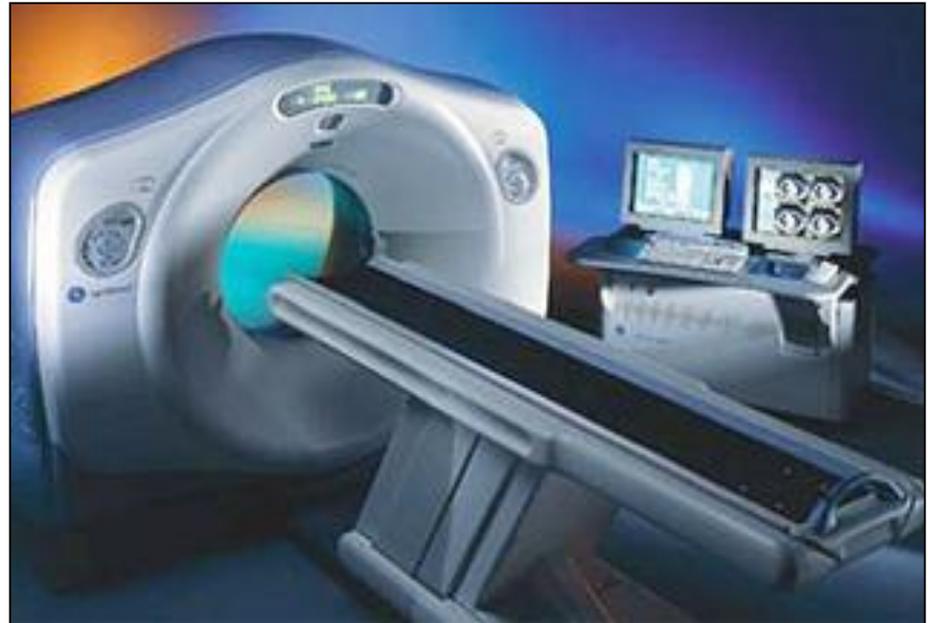


放射診斷(續)



【乳房攝影X光機】

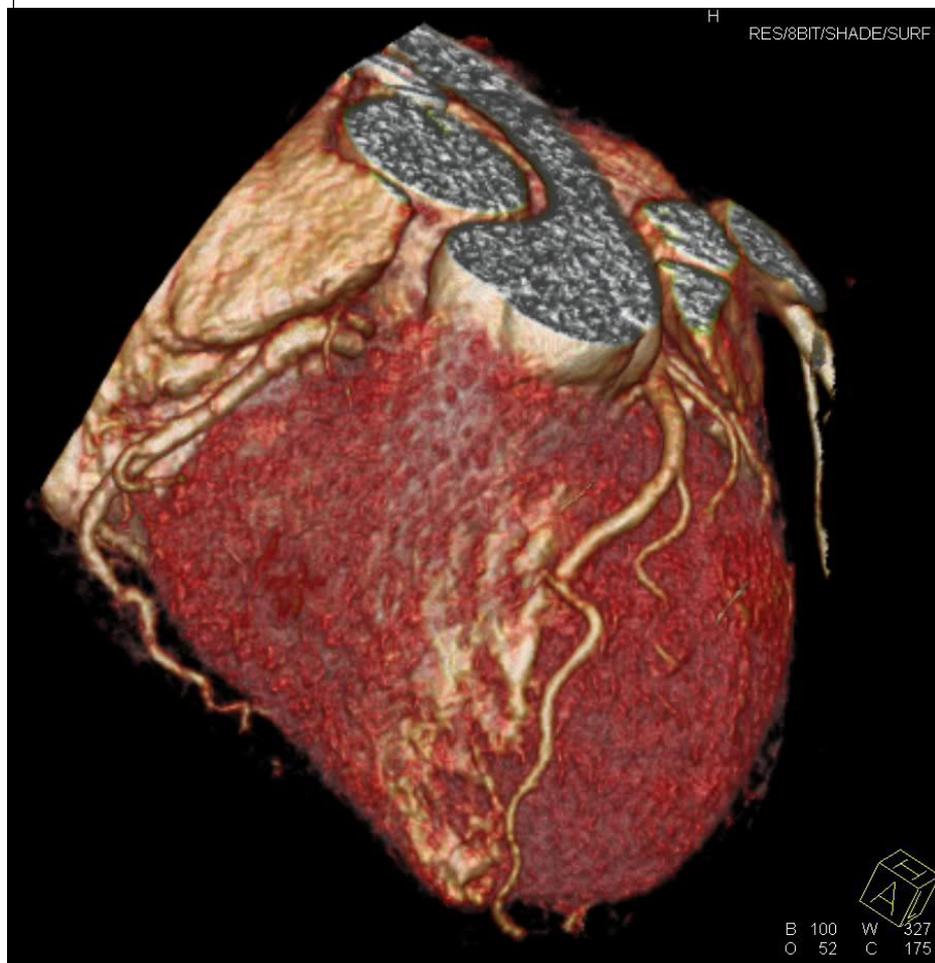
177家/198部



【電腦斷層掃描儀(CT)】

240家/440部

最新電腦斷層掃描儀



核子醫學



【甲狀腺掃描】



【單光子斷層掃描儀(SPECT)】



【SPECT/CT】

放射免疫分析...



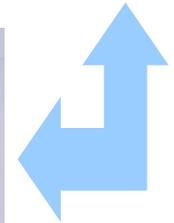
【正子斷層掃描儀(PET)】



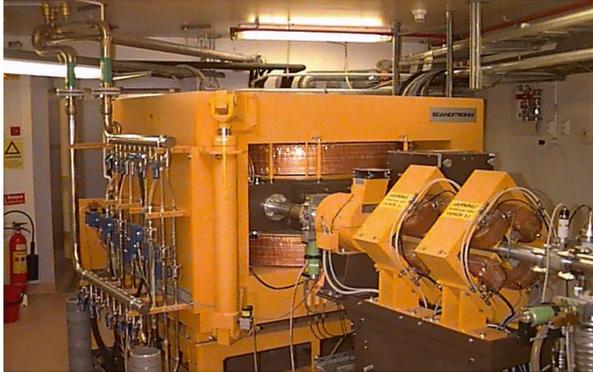
【PET/CT】

25家/31部

核醫造影與
X光影像融合



核子醫學(續)



MC17 cyclotron



Sumitomo HM-12S



GE PET trace



IBA Cyclon 18/9

**【迴旋加速器】
(cyclotron)**

國內現有11個醫用迴旋加速器中心



EBCO TR 30/15 Cyclotron

放射治療



11家/12部

【血液照射器】



65家/125部

【直線加速器】



46家/46部

【搖控後荷式近接治療機】



4家/4部

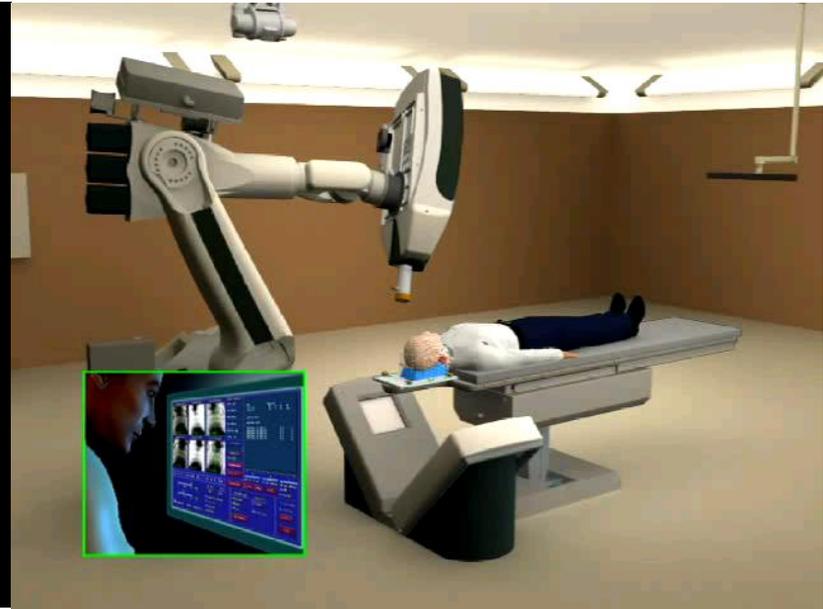
【Co-60遠隔治療機】

放射治療(續)



7家/7部

【加馬刀(Gama knife)】



【電腦刀(Cyberknife)】5家/6部



7家/8部

【螺旋刀(Tomotherapy)】

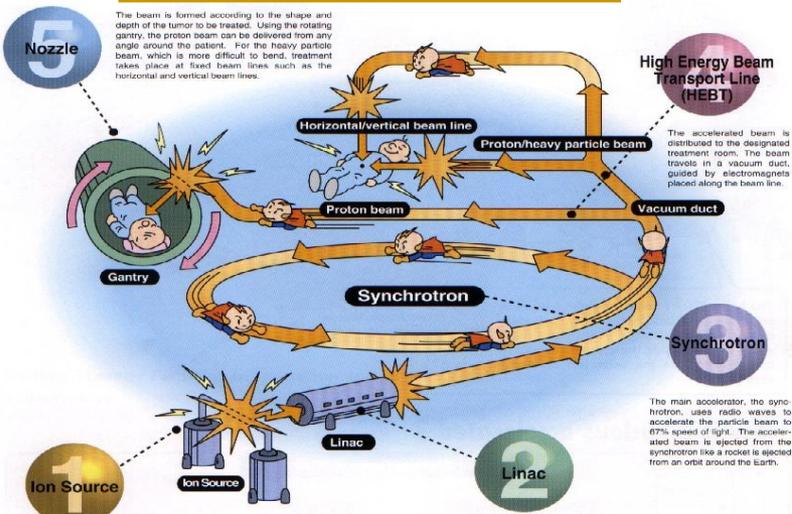
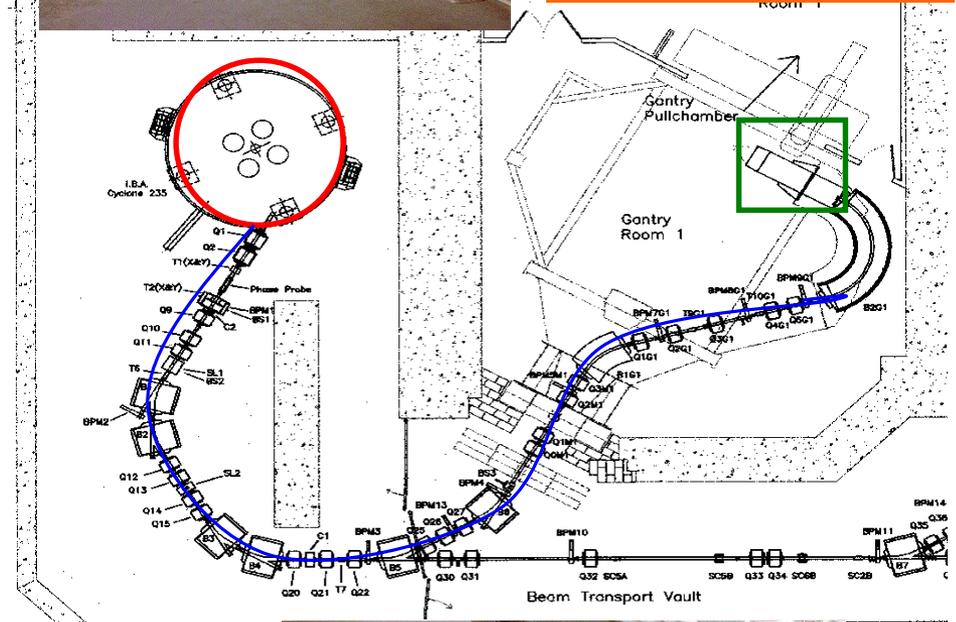
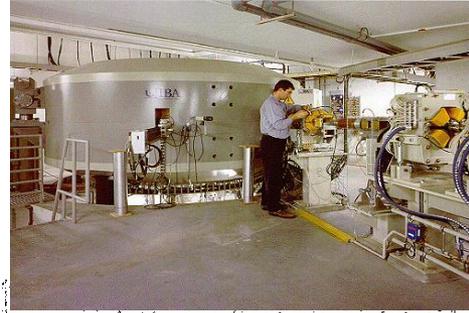


【質子治療機】

質子治療設備

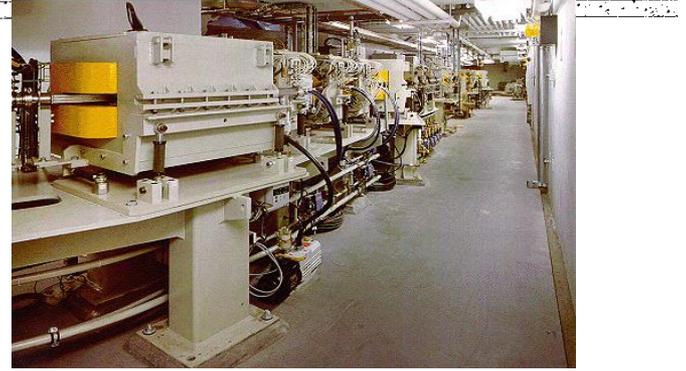
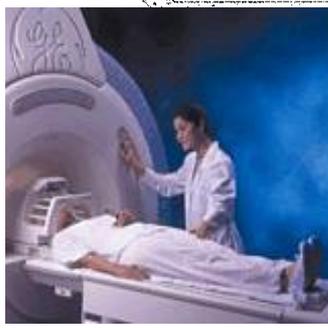
重要設備組成:

- Proton Accelerator 加速器
- Beam line 射束傳送系統
- Gantry旋轉機架
- Patient Positioning System (PPS)病患定位系統



This device supplies the charged particles (protons and carbon) to be accelerated.

The linac, or linear accelerator, imparts initial energy to the ions created by the ion source. The beam is pre-accelerated before the synchrotron, which is the main accelerating stage. The dip is somewhat like an airplane taking off.



可發生游離輻射設備

--粒子加速器



■ 粒子加速器的原理

--利用電磁場使荷電粒子(如電子、質子、氦核、氫核及其他重離子)獲得高能量而加速的裝置。

粒子加速器(續)



■ 粒子加速器的主要組成：

-- 離子源或電子槍

-- 加速器主體

1. 加速電場系統

2. 控制磁場系統

3. 真空系統

-- 粒子射柱引出機構

粒子加速器(續)



■ 粒子加速器的分類

-- 依被加速的粒子種類區分

1. 電子加速器 2. 質子加速器 3. 重離子加速器

-- 依被加速的粒子能量區分

1. 低能($< 100\text{MeV}$) 2. 中能 3. 高能 4. 超高能

-- 依被加速的粒子軌道形式區分

1. 直線型 2. 圓型 3. 環形 4. 超高能

粒子加速器(續)



■ 粒子加速器的分類(續)

-- 依加速的原理(加速電場特性)區分

1. 高壓類

2. 感應電場類

3. 以射頻電場對運動粒子做諧振加速(周期性加速)，有迴旋、同步迴旋、同步電子迴旋、直線(電子或離子)以及衍生出的各種加速器。

粒子加速器(續)



■ 粒子加速器的應用

- 核子物理與高能物理的研究
- 光源
- 工商業及工程
- 醫界及輻射生物用

粒子加速器(續)



粒子加速器輻射源與特性

- 加速的粒子種類多，能量範圍廣，而且射柱的能量、強度、方向都可以調整和精確的控制，又可以利用各種核反應獲得不同能量的單能中子。
- 粒子射柱的強度很大，發散角度小，因此射柱密度很高，適於作大功率輻射源。

粒子加速器(續)



粒子加速器輻射源與特性(續)

- 利用不同的核反應，可以製造許多核反應器不能製造的放射線同位素。
- 隨時可以啟動或停機，安全性高，放射性污染的機會小。

粒子加速器(續)



粒子加速器的輻射防護

- 加速器的輻射防護主要是針對加速器運轉時所發出的初級輻射(被加速的荷電粒子)及其與物質作用產生的次級輻射(如x-ray、 γ -ray、n)，以及這兩種輻射與周圍物質作用產生的誘發放射性物質所放出的輻射(β^- 和 γ -ray)。
- 初級與次級輻射在加速器關機後即消失，誘發放射性物質則隨運轉時間而累積。

貳、游離輻射安全法規標準

- 左下：手提式游離腔(Ion-Chamber) /
右下：手提式革計數器度(G-M Counter)



貳、游離輻射安全法規標準

- 蓋革計數器度(G-M Counter)(左下)
/ 病人注射架(含鉛玻璃及鉛牆板屏蔽)(右下)



貳、游離輻射安全法規標準

- 一般民眾年劑量限值：1mSv/year
- 一週五天, 一天八小時
- $1\text{mSv}/2000\text{hr} = 0.5\text{uSv}/\text{hr}$

- 工作人員：20mSv/year
- $20\text{mSv}/2000\text{hr} = 10\text{uSv}/\text{hr}$



輻射劑量與健康效應

■ 輻射劑量的定義

吸收劑量 D_T : Absorbed Dose (joul / kg)

1 Gy (戈雷) = 1 Joule /kg (焦耳/公斤)

等價劑量 H_T : Equivalent Dose (joul / kg)

$$H_T = \sum_R D_{T,R} \cdot W_R$$

1 Sv (西弗) = 1 Gy x W_R (W_R 輻射加權射質因數)

$W_R = 1$ for x 、 γ 、 β

= 5 for high energy protons (p)

= 20 for α particles and multiple charged particles, fission fragments

= 5 ~ 20 for neutrons with different energy (n)

等效劑量 E (單位：西弗)： Effective Dose (Joule / kg)

$$E = \sum_T H_T \cdot W_T$$

人體不同器官所接受到的等效劑量

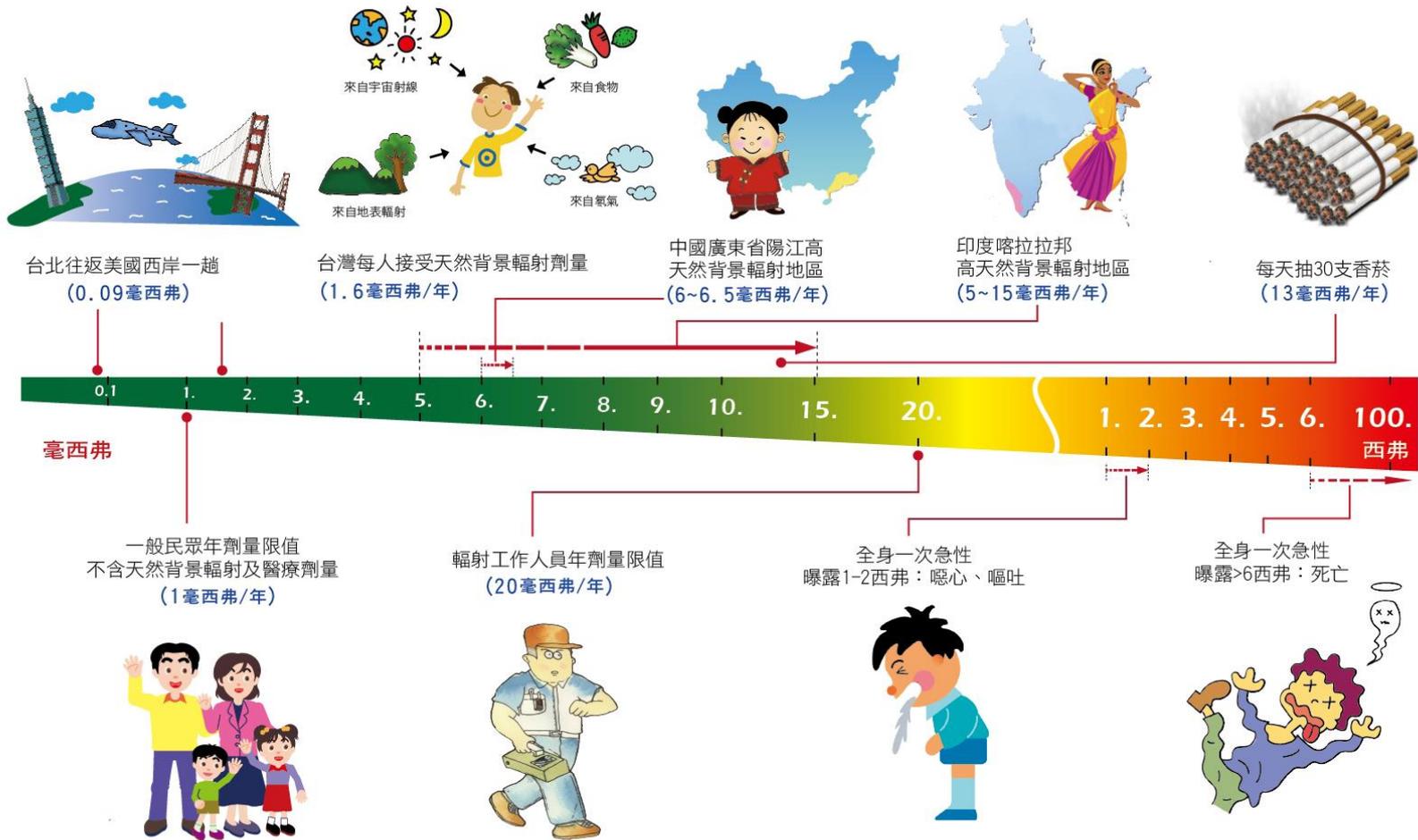
不同器官之組織加權因素

因人體不同器官遭受到不同輻射劑量所造成的整體人體輻射效應

器官或組織	W_T	
	ICRP-26	ICRP-60
性腺(生殖腺)	0.25	0.20
紅骨髓	0.12	0.12
結腸(大腸直腸)		0.12
肺	0.12	0.12
胃		0.12
膀胱		0.05
乳腺	0.15	0.05
肝臟		0.05
食道		0.05
甲狀腺	0.03	0.05
皮膚		0.01
骨髓表面	0.03	0.01
其餘部分	0.30	0.05

資料來源：ICRP-26(1977)及ICRP-60(1991)
我國目前之法規 W_T 係沿用ICRP-26

劑量比較圖



游離輻射造成的生物效應

▶ 確定效應(deterministic effect) :

指導致組織或器官之功能損傷之效應。

- 1.嚴重程度與所受劑量大小成比例增加。
- 2.此種效應之可能有劑量低現值存在。
- 3.為防止非機率性效應，劑量限度以等效劑量表示。

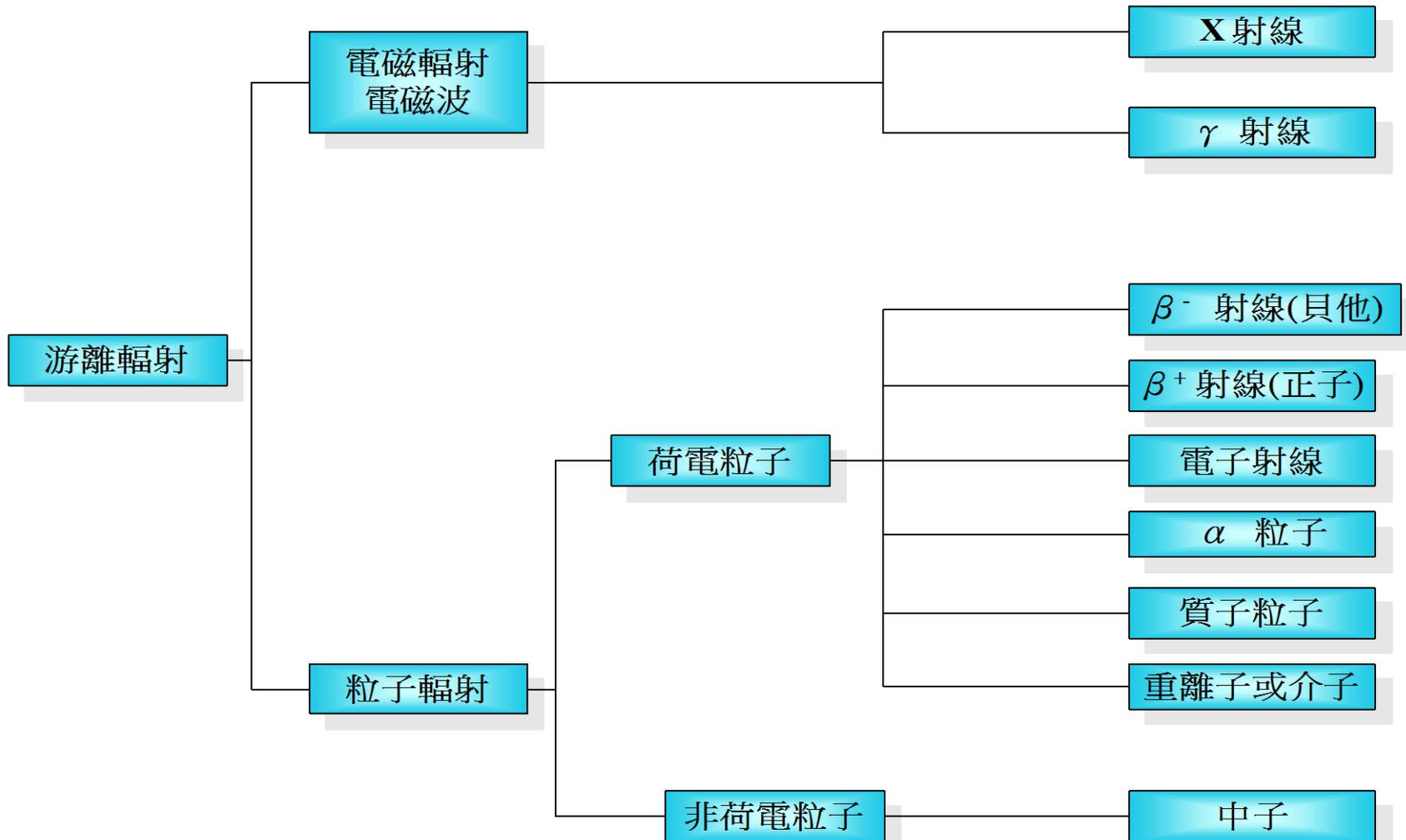
▶ 機率效應(stochastic effect) :

指致癌效應及遺傳效應。

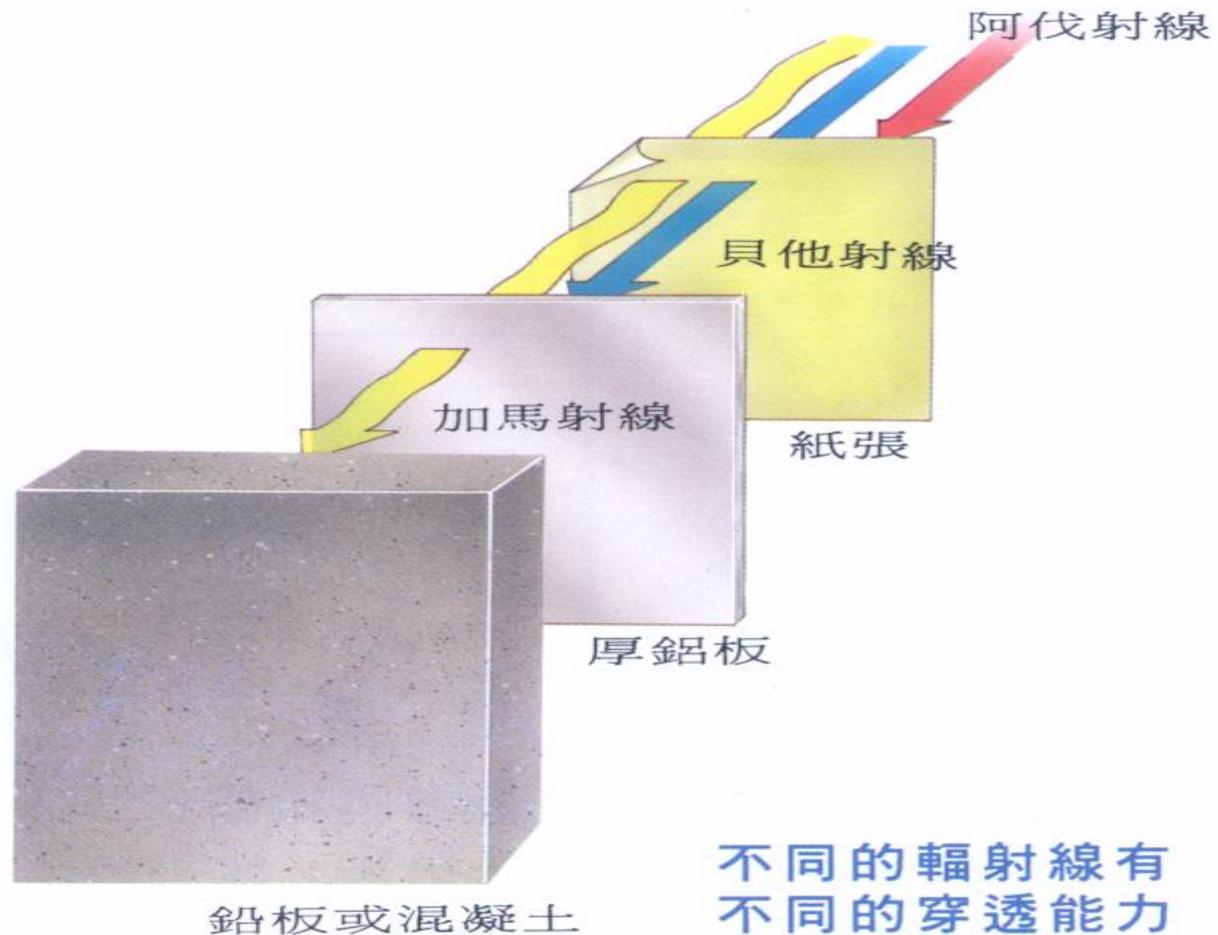
- 1.其發生機率與劑量大小成正比，而與嚴重度無關。
- 2.此效應之發生無劑量低現值。
- 3.為管制機率效應，劑量限度以有效等效劑量表示。

游離輻射是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。

游離輻射的種類：

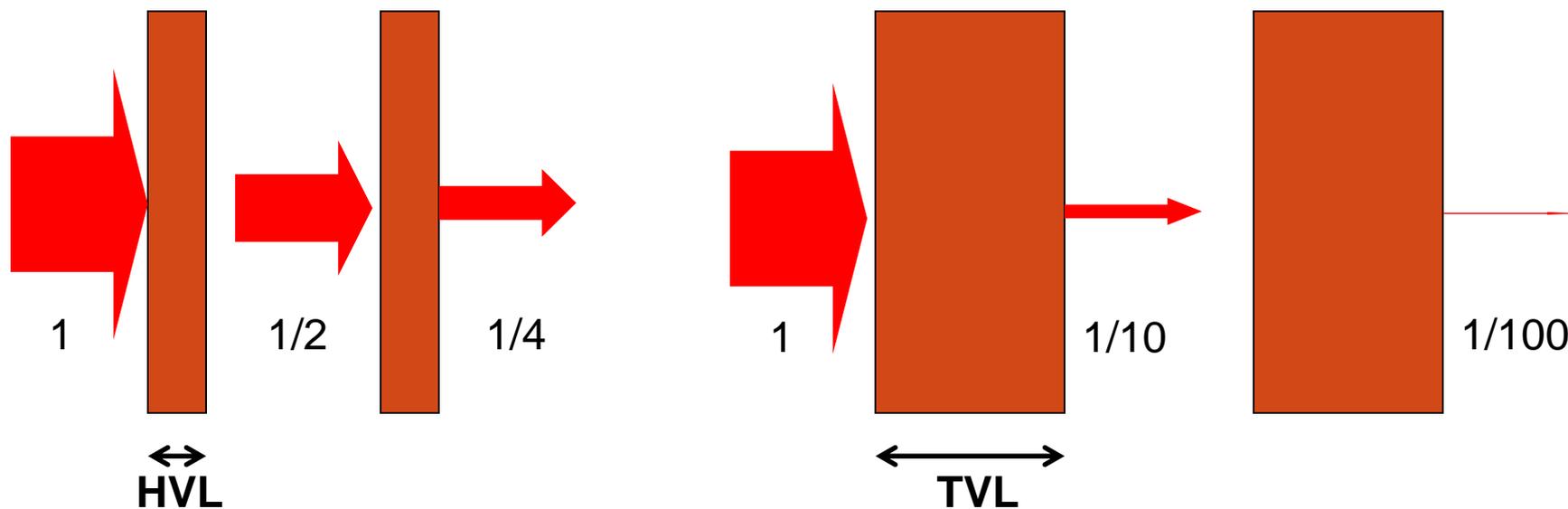


► 衰減(Attenuation) – 游離輻射都可以經由選定之屏蔽物質達到衰減其強度 或完全阻擋其穿透之目的。 $I = I_0 e^{-\mu x}$



半值層與什一值層(輻射屏蔽設計)

- 半值層(HVL)：放射線強度衰減一半
- 什一值層(TVL)：放射線衰減十分之一
- 取決於不同能量與材質



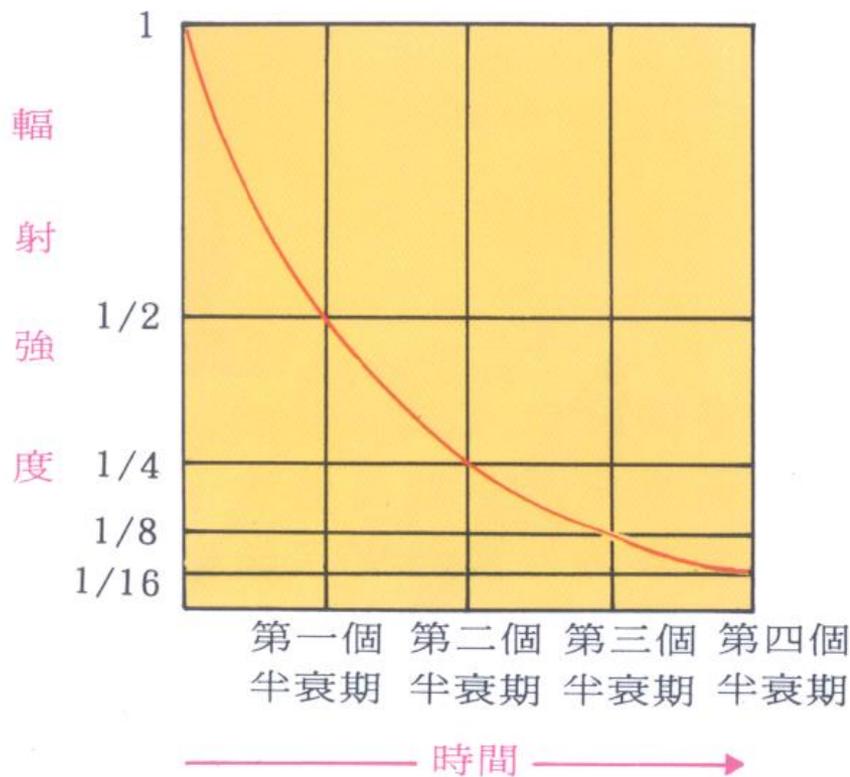
不同能量與材質的半值層與什一值層 (NCRP 49)

• 能量	半值層(mm)	
• kVp	鉛	水泥
• 50	0.06	
• 4.3		
• 70	0.17	8.4
• 100	0.27	16
• 125	0.28	20
• 150	0.3	22.4
• 511	4.1	34
• ^{131}I	2.4	29.3

• 能量	什一值層(cm)	
• MV	鉛	水泥
• 4	5.3	29.2
• 6	5.5	34.3
• 10	5.6	38.9
• 15	5.7	43.2
• ^{192}Ir	2.0	14.7
• ^{60}Co	4.0	20.6

游離輻射的特性 – 衰變與衰減

- 衰變(Decay) – 放射性的物質(N)皆有隨時間而逐漸減少的現象 (指數衰減定律) $N=N_0 e^{-\lambda t}$



常用射源	半衰期
^{60}Co	5.3 年
^{137}Cs	30.0 年
^{90}Sr	28.1 年
^{192}Ir	73.8 天

放射性核種的輻射強度
會隨時間之增加而衰減

穿透因數與屏蔽厚度

$$B_x = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

- B_x : 穿透因數(或K)
- P : 劑量限度
- W : 工作負荷或每週劑量
- U : 使用因數
- T : 佔用因數
- d_{pri} : 靶至測試點的距離

$$n_t = -\log\left(\frac{1}{B_x}\right)$$

n_t : 什一值層數量

屏蔽厚度 = 什一值層 $\times n_t$

$$n_h = -\log_2\left(\frac{1}{B_x}\right)$$

n_h : 半值層數量

屏蔽厚度 = 半值層 $\times n_h$

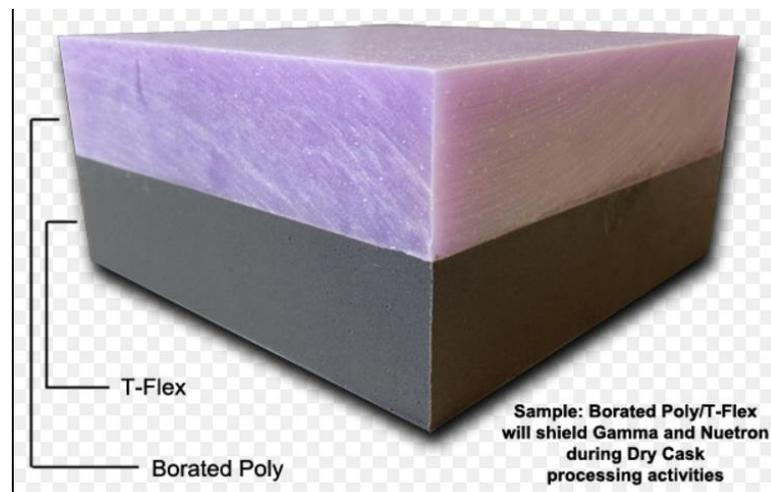
叁、輻射安全防護實務

● 原則

- 保守估計—寧願多作(管制區與非管制區)
- 嚴格監工
- 同時考慮空間、結構與鉛屏蔽



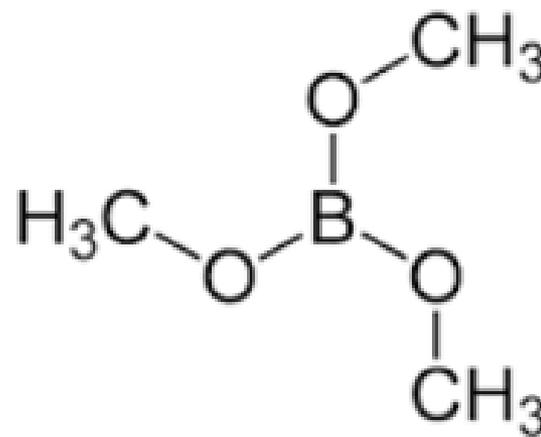
阻擋中子



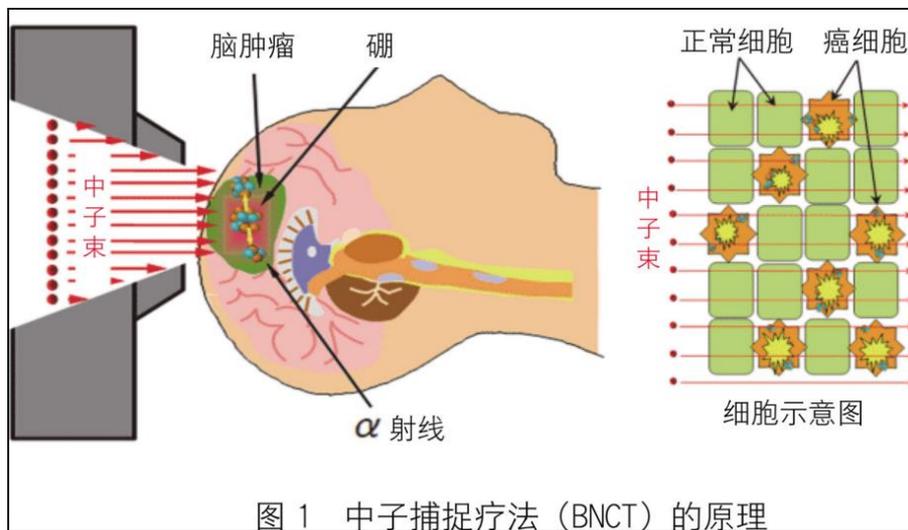
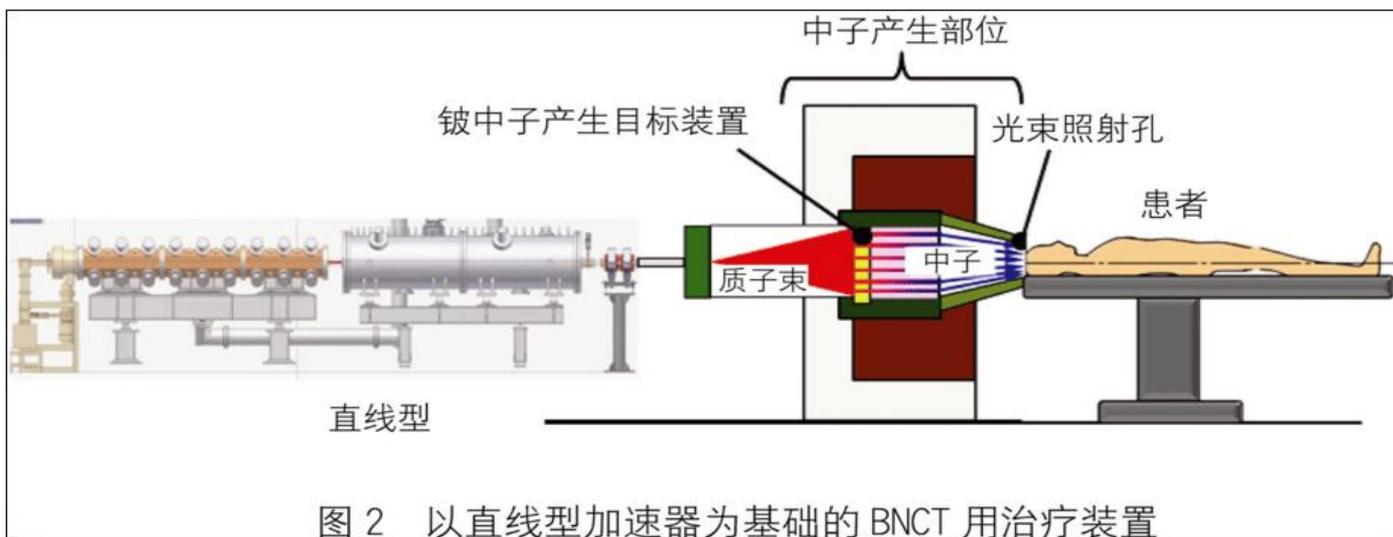
硼酸鹽

化合物

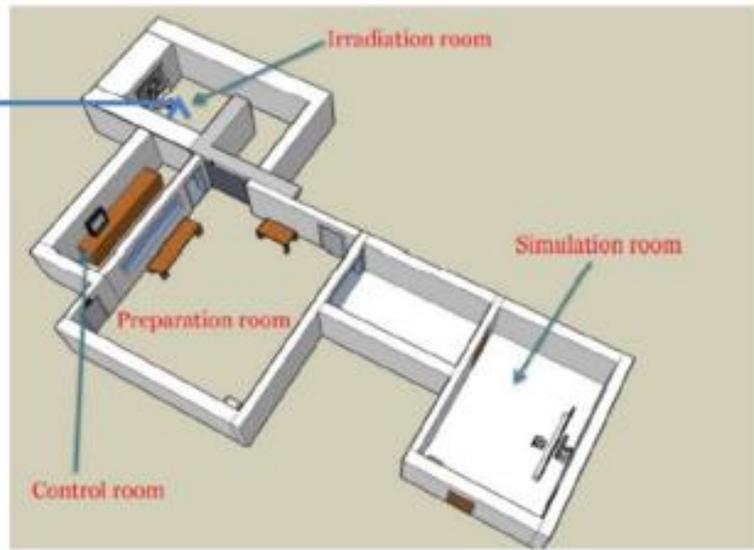
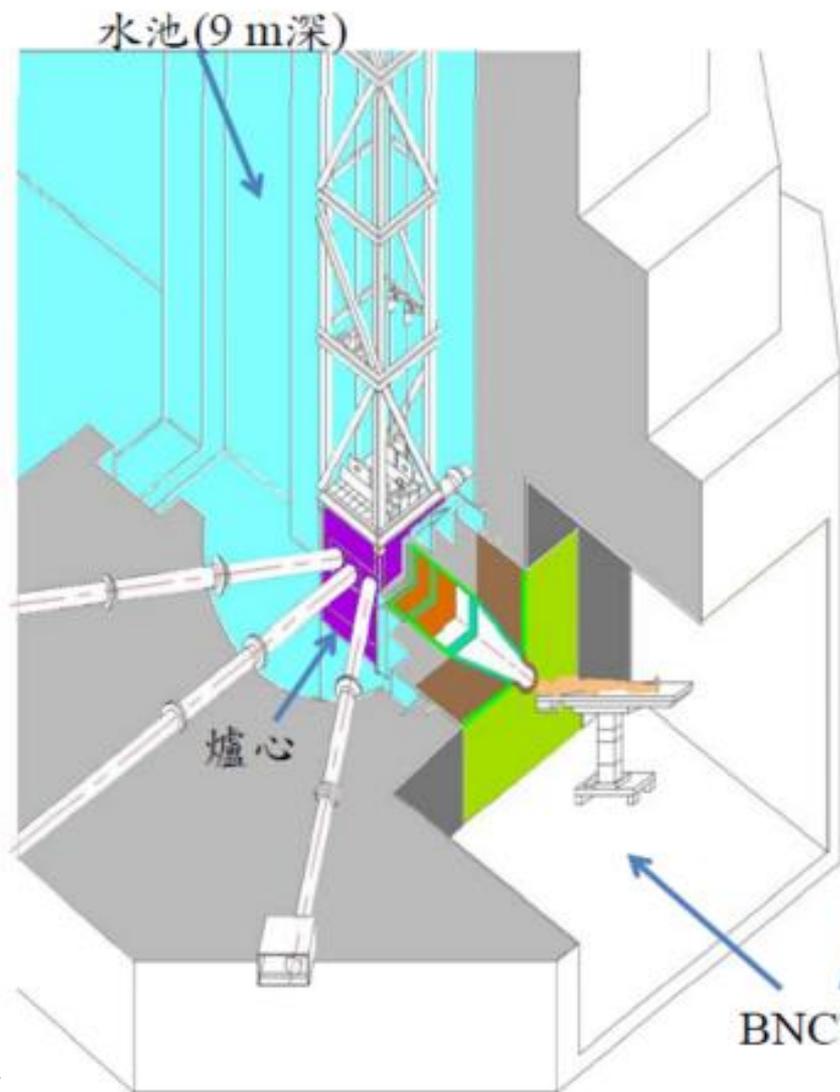
硼酸鹽是一類含硼的化合物。當中的硼可以與三個氧原子鍵合成 $B(OR)_3$ ，也可以與四個氧原子鍵合成 $B(OR)_4^-$ 陰離子。硼酸根離子的化學式為 BO_3^{3-} 。它可與金屬元素形成鹽。在自然界中所發現的硼通常為硼酸鹽礦物。硼也會與矽酸鹽結合形成絡合硼矽酸鹽礦物例如電氣石。硼酸鹽以許多形式存在。[維基百科](#)



硼中子捕獲技術---氦核



清華水池式反應器BNCT設施



中子輻射安全防護



輻防原則：

■ 針對中子：

防護中子是由多種核反應所產生的，中子的發射率、能量、角度分布均與入射荷電粒子的種類、能量、靶的材質有關。

為估算中子的屏蔽厚度就必須了解產生各種核反應特性。

中子輻射安全防護(續)



屏蔽原則(續)：

- 對X光及加馬射線，一般採用混凝土或重混凝土，局部輻射較強部份採用鉛皮或鋼板。
- 對中子亦採用混凝土予以緩速，再以硼(B)或鎘(Cd)等將中子吸收。
- 要注意屋頂屏蔽其厚度必需保證穿透屋頂輻射，經向天散射(sky radiation)到附近地面後的輻射強度不超過規定限度。

中子輻射安全防護(續)



中子輻射防護與屏蔽：

■ 中子與物質的主要作用模式

- 中子與輕物質的彈性碰撞，如 (n,n) 反應。
- 高能中子與較重物質的非彈性碰撞，如 $(n,n' \gamma)$ 反應。
- 與物質進行核反應釋出荷電粒子如 (n, α) ， (n, p) 反應。
- 釋出加馬射線如 (n, γ) 反應。
- 進行核分裂 (n, f) 。

中子輻射安全防護(續)



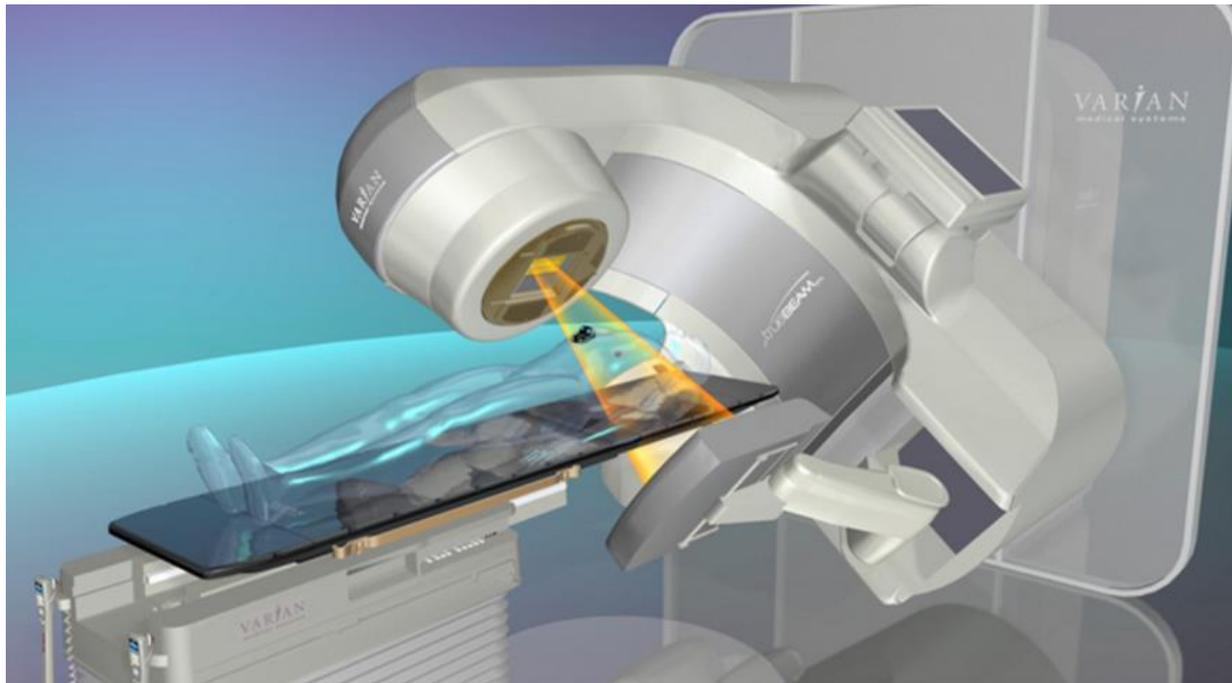
中子輻射防護與屏蔽：

■ 中子輻射源的屏蔽及基本防護原

- 快中子緩速或減能。質量數小的元素是優良的中子緩速劑，如水、塑膠、石臘、鈹及石墨。
- 捕獲緩速或減能後的中子。快中子緩速或減能為慢中子，再被與中子作用截面大的屏蔽物質原子核捕獲，產生 (n, γ) 作用。
- 使用密度較高物質衰減所可能引發的加馬輻射。

直線加速器-Linear accelerator

- 最高能量：10MV (15MV)
- 最高劑量率：600cGy/min (2400cGy/min)
- 功能：癌症治療



直線加速器輻射防護

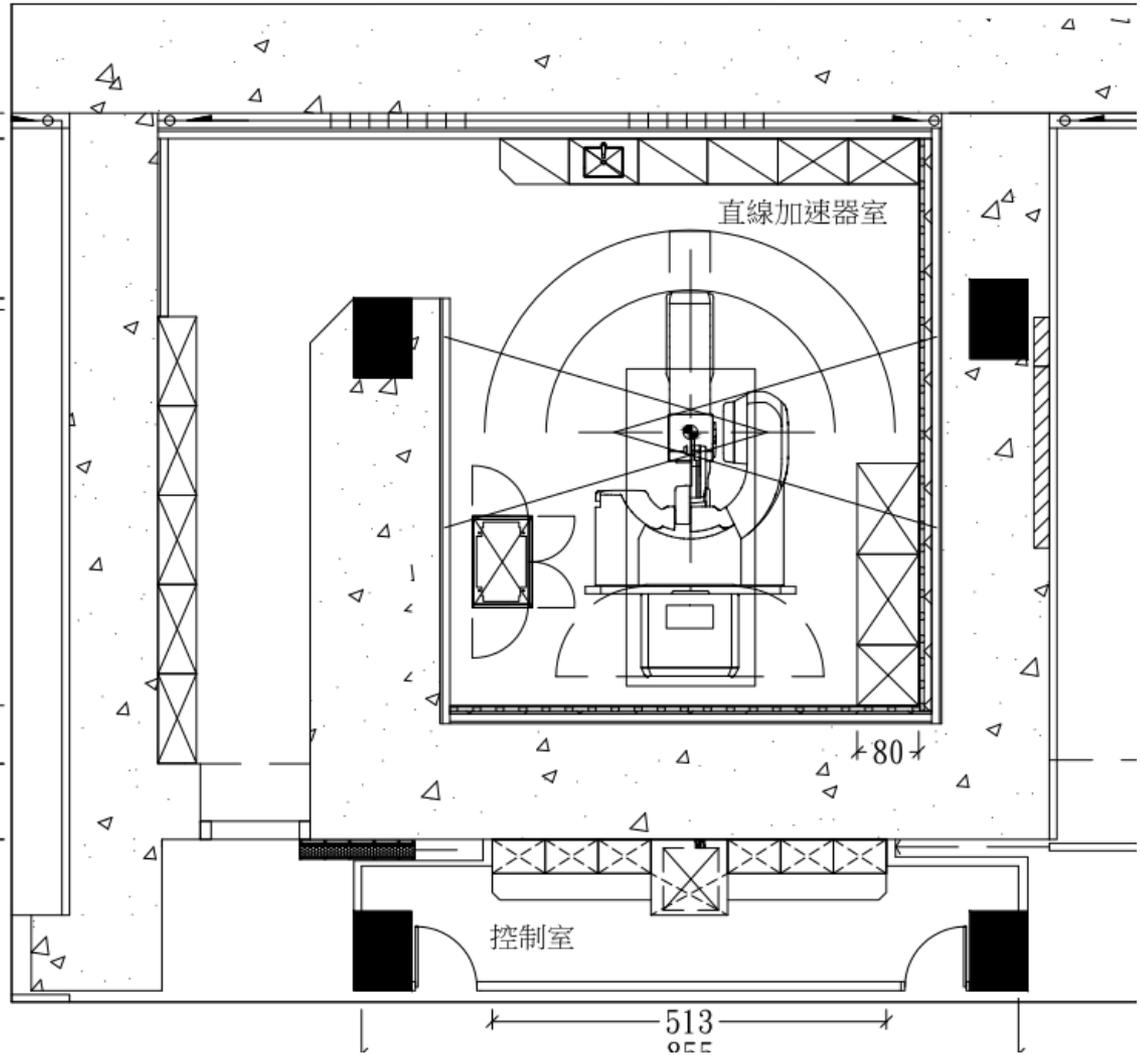
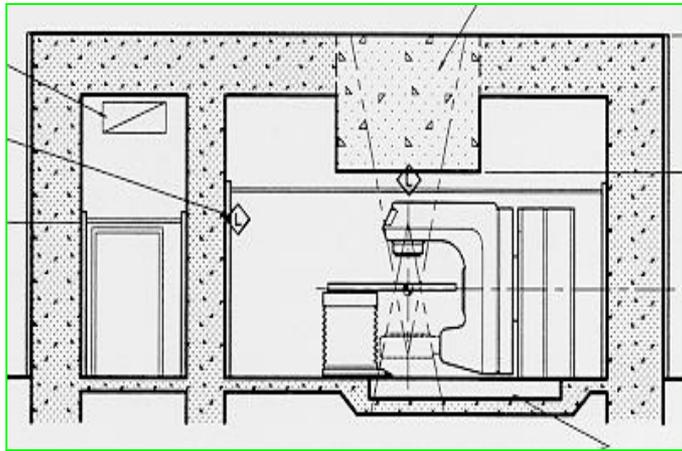
- 10MV TVL : 5.6cm Pb, 38.9cm RC
- 6Gy/min = 360Gy/hr(Sv/hr)
- 距離4公尺

- 主射束 150cm RC + 22cm Pb
- 迷(宮)道 250cm Rc + 7cm Pb
- 300cm RC 0cm Pb or 45cm Pb
- 散射輻射、滲漏輻射
150cm RC + 5cm Pb

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-7} (4)^2}{360} \\ &= 2.222 \times 10^{-8} \\ n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 7.65 \end{aligned}$$

	Pb(cm)	RC(cm)	Dose rate
Linac HDR 10MV pri	20	191.9218	2400
Linac HDR 10MV sec	5	179.4182	2400
Linac HDR 6MV pri	12	208.8612	1400
Linac HDR 6MV sec	10	151.1645	1400
Linac 10MV pri	12	214.3528	600
Linac 10MV sec	5	146.2778	600

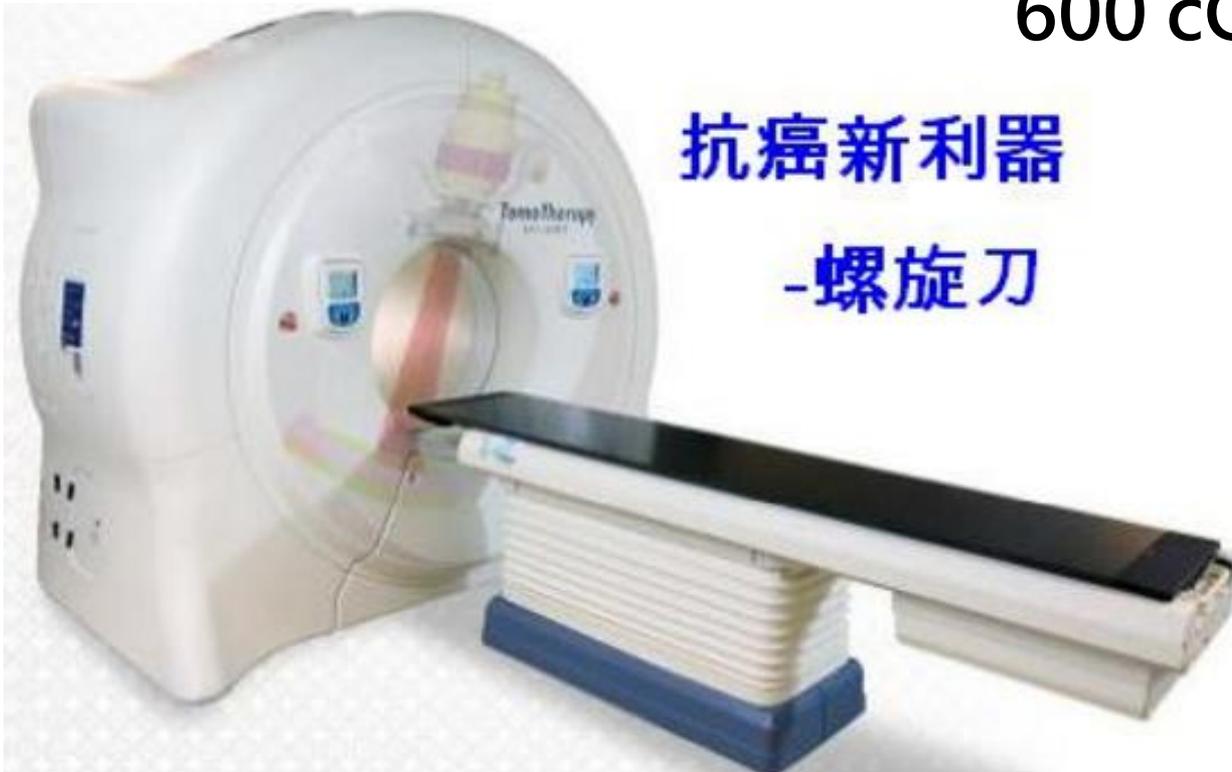
直線加速器治療室設計



電腦斷層治療儀-Tomotherapy

- 最高能量：6MV
- 最高劑量率：
600 cGy/min

抗癌新利器
-螺旋刀



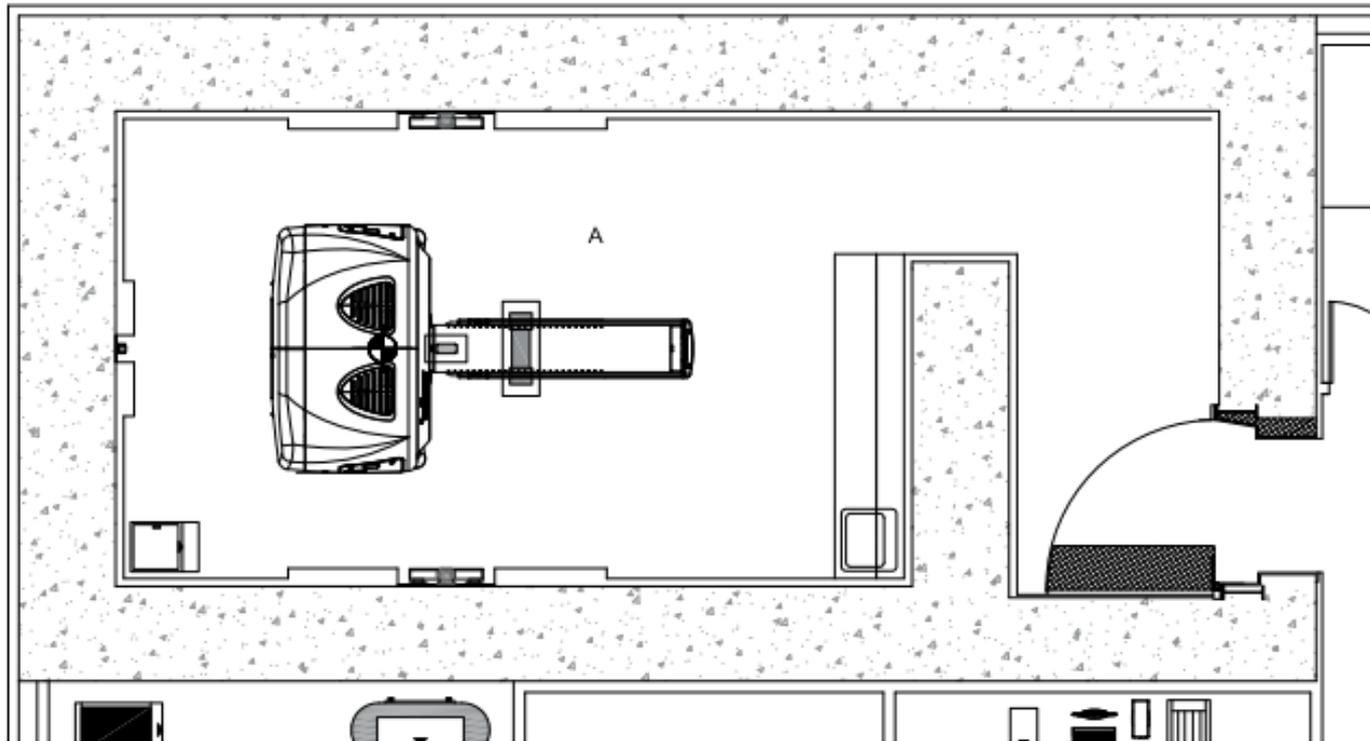
電腦斷層治療儀輻射防護

- 6MV TVL : 5.5cm Pb, 34.3cm RC
- 6Gy/min = 360Gy/hr(Sv/hr)
- 距離2公尺

- 主射束 160cm RC+20cmPb
- 散射輻射、滲漏輻射
150cm RC+5cm Pb

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-10} (2)^2}{360} \\ &= 5.556 \times 10^{-6} \\ n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 5.256 \end{aligned}$$

電腦斷層治療儀治療室設計



電腦刀Cyberknife

- 最高能量：6MV
- 最高劑量率：600cGy/min
- 功能：癌症治療



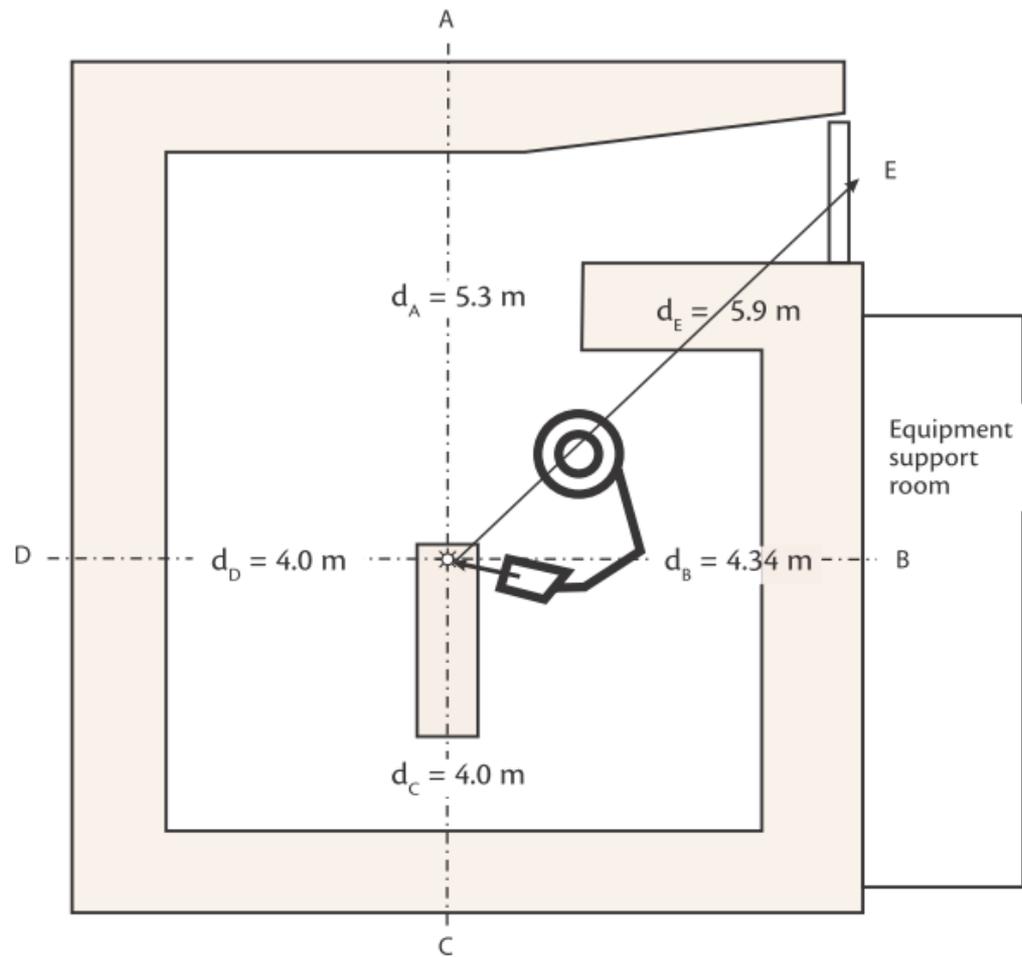
電腦刀輻射防護

- 6MV 6cm cone TVL :
5.25cm Pb, 32.4cm RC
- 6Gy/min = 360Gy/hr(Sv/hr)
- 距離4公尺

- 主射束 150cm RC + 16cm Pb
- 散射輻射、滲漏輻射
150cm RC

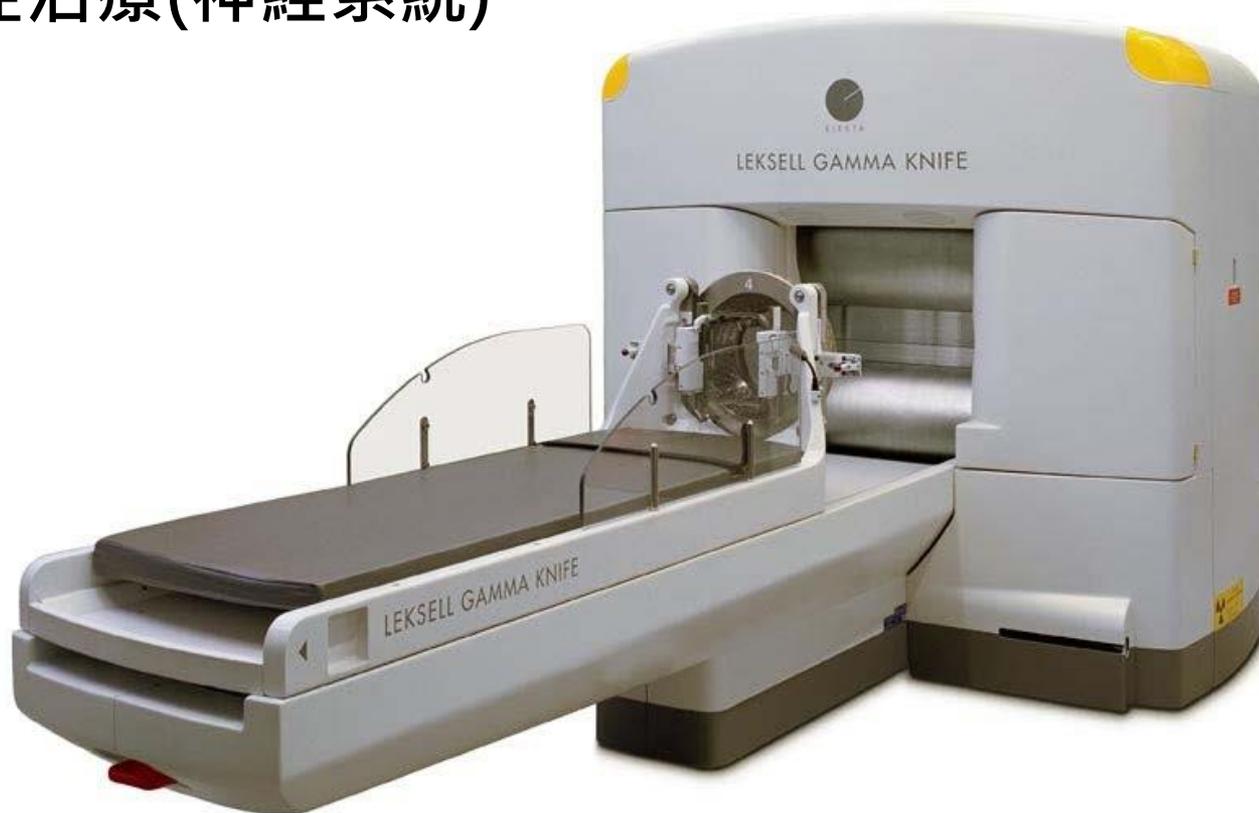
$$\begin{aligned}B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-7} (4)^2}{360} \\ &= 2.222 \times 10^{-8} \\ n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 7.65\end{aligned}$$

電腦刀治療室設計



加馬刀-Gamma Knife

- 最高能量：201 x Co60(1.173、1.332 MeV)
- 最高劑量率：374cGy/min
- 功能：癌症治療(神經系統)



加馬刀輻射防護

Co-60 TVL : 4.0cm Pb, 20.6cm RC

3.74Gy/m = 224.4Gy/h

距離2公尺

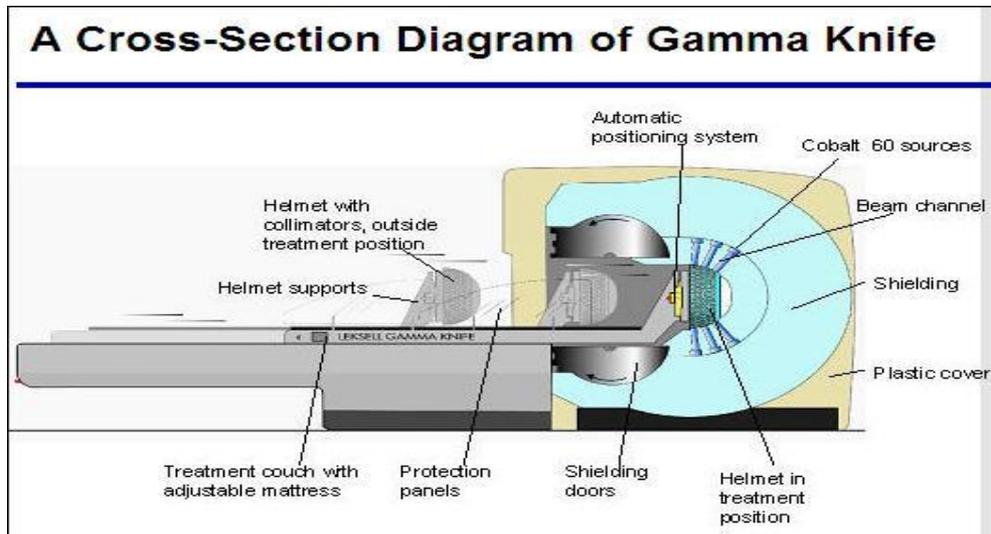
主射束 12cm Pb + 100cm RC

散射輻射、滲漏輻射

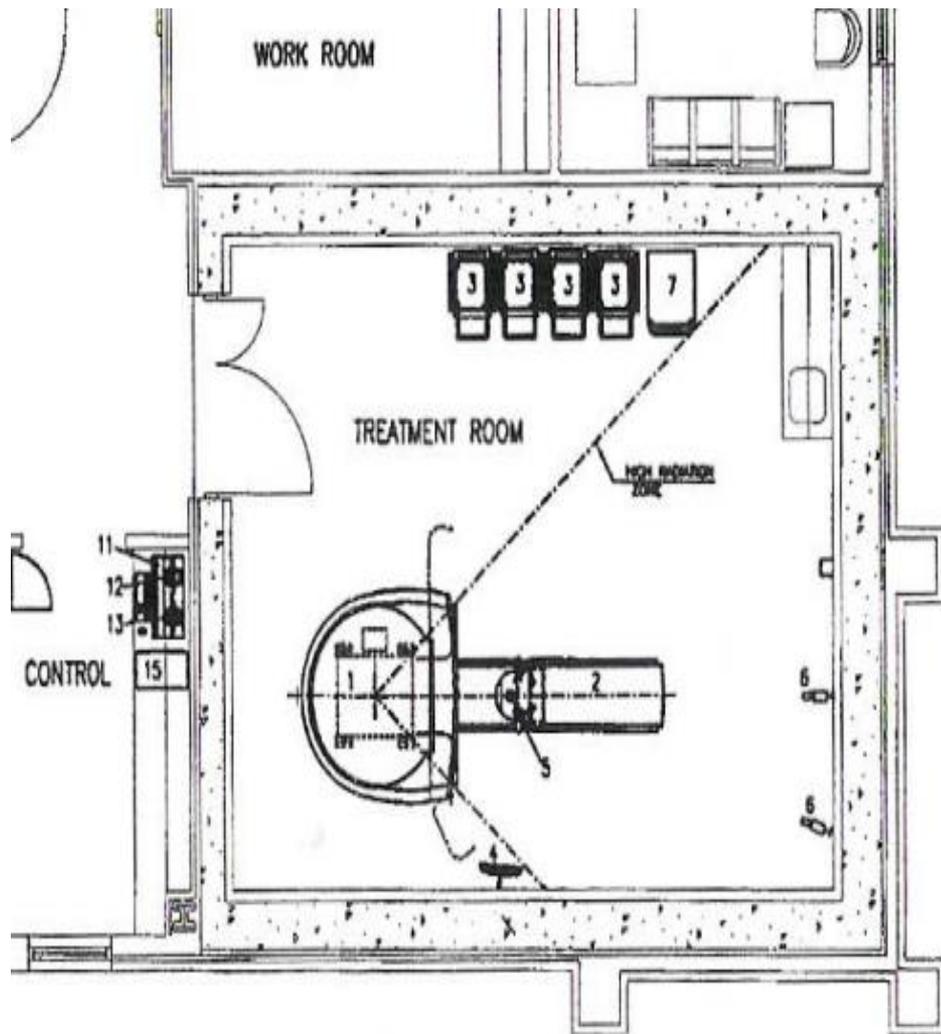
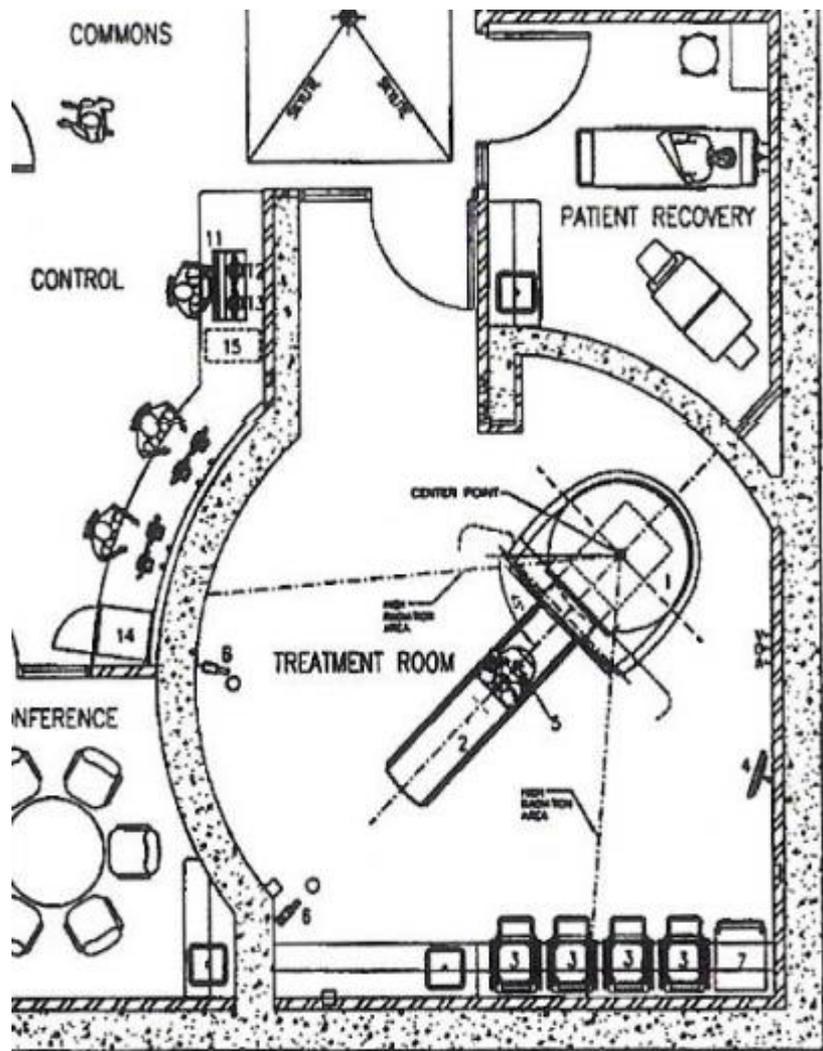
12cm Pb + 50cm RC

$$B_x = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$
$$= \frac{5 \times 10^{-10} (2)^2}{224.4}$$
$$= 8.913 \times 10^{-6}$$

$$n_t = \log\left(\frac{1}{B_x}\right)$$
$$= 8.04$$

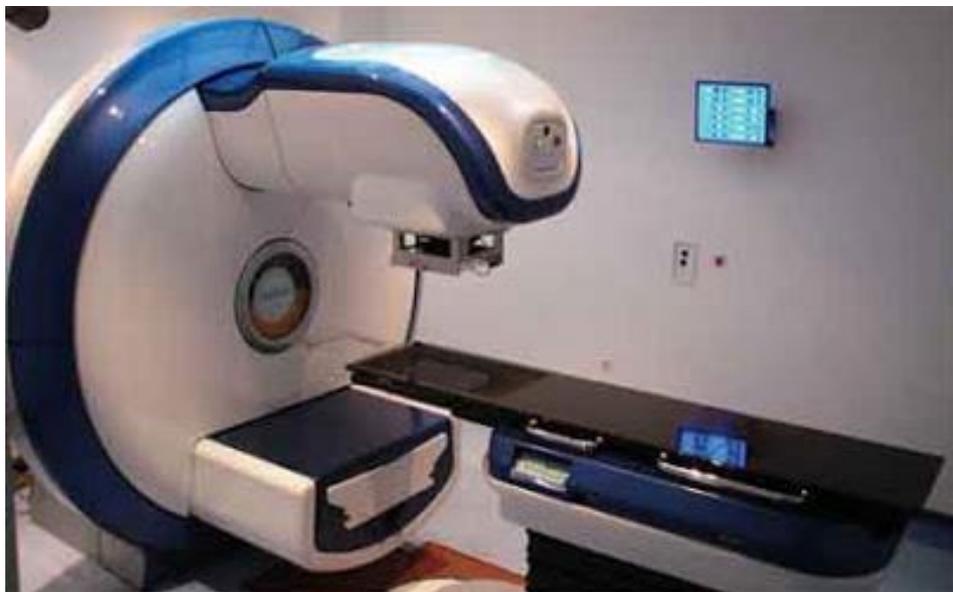


加馬刀治療室設計



鈷-六十

- 最高能量：Co-60(1.173、1.332 MeV)
- 最高劑量率：100cGy/min (5400Ci)
- 功能：頭頸部、皮膚表層癌症治療



鈷-六十輻射防護

Co-60 TVL : 4.0cm Pb, 20.6cm RC

1.0Gy/m = 60.0Gy/h

距離4公尺

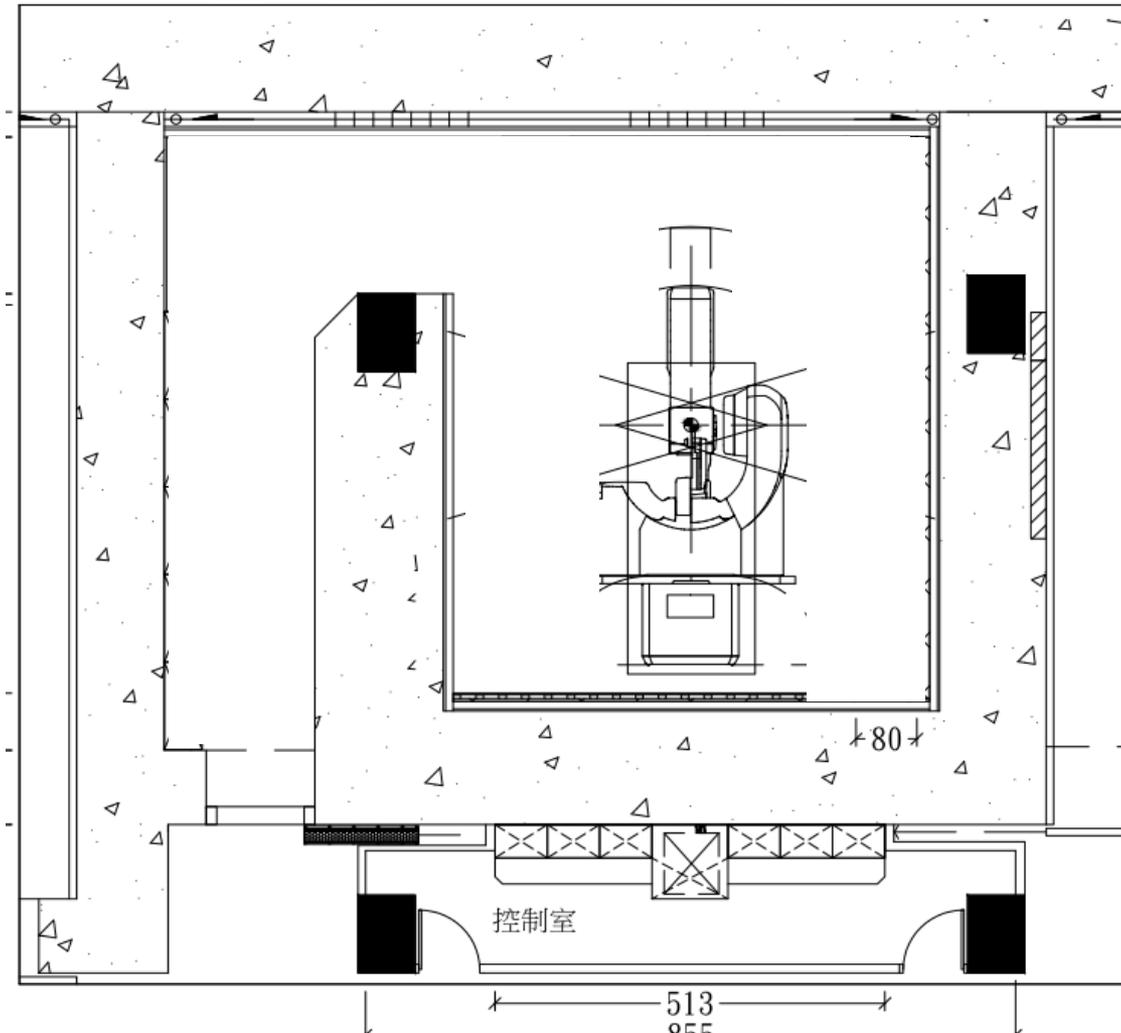
主射束 10cm Pb + 100cm RC

散射輻射、滲漏輻射

6cm Pb + 50cm RC

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-10} (4)^2}{60.0} \\ &= 1.33 \times 10^{-6} \\ n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 6.875 \end{aligned}$$

鈷-六十治療室設計



遙控後荷治療-Remote Control Afterloading Brachytherapy

- 最高能量：Ir-192 (0.468,平均0.38MeV)
- 最高劑量率：4.8cGy/hr (10Ci,1m)
- 功能：鼻咽癌癌症治療



遙控後荷治療輻射防護

Ir-192 TVL : 2.0cm Pb, 14.7cm RC

4.8 cGy/hr = 0.048 Gy/hr

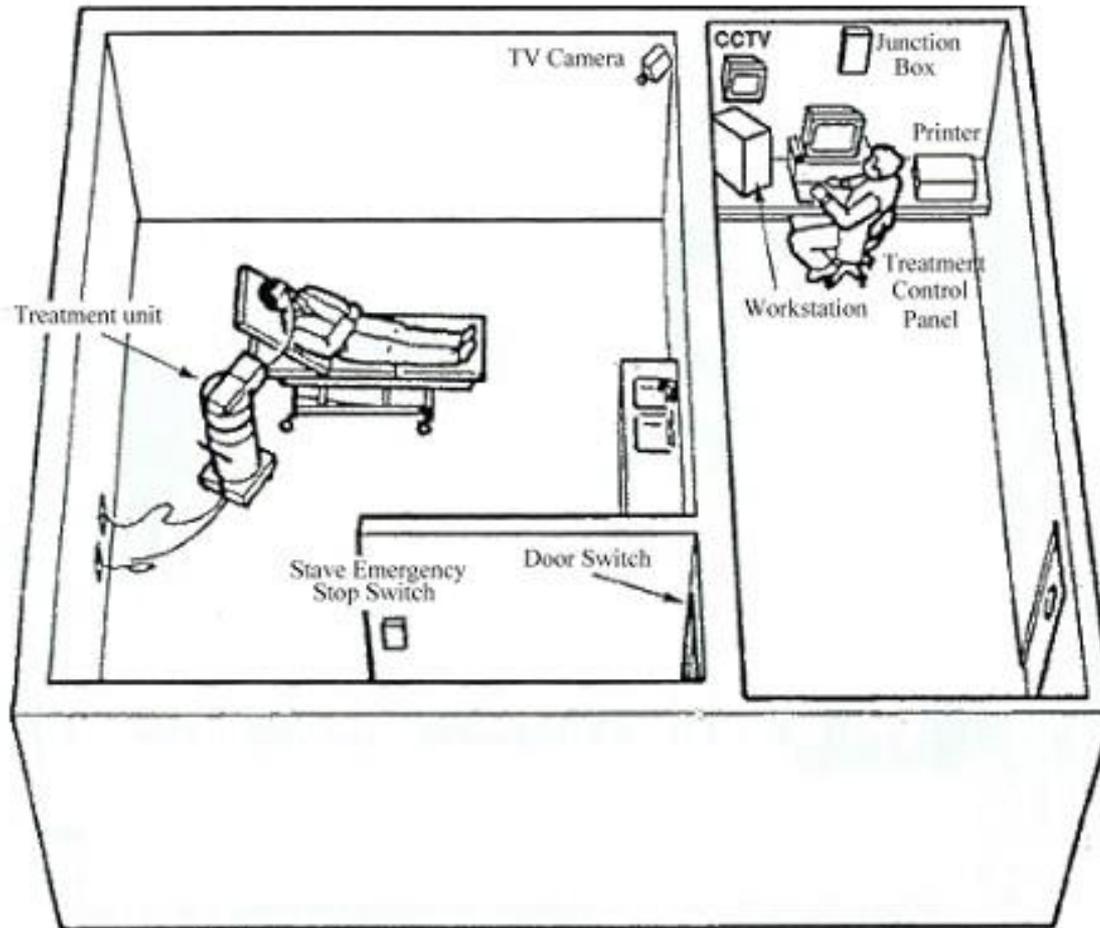
距離3公尺

主射束 6cm Pb + 18cm RC

散射輻射、滲漏輻射 20cm RC

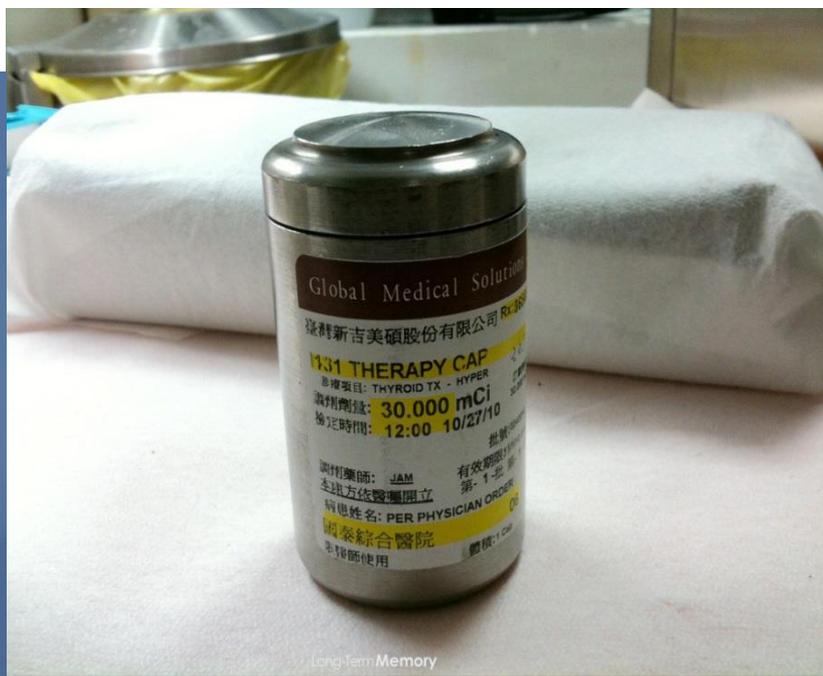
$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-10} (3)^2}{0.048} \\ &= 9.375 \times 10^{-5} \\ n_t &= \log\left(\frac{1}{B_x}\right) \\ &= 4.03 \end{aligned}$$

遙控後荷治療室設計



碘131治療-RAIT, radioiodine therapy

- 最高能量：0.723MeV g, 0.806MeV b
- 最高劑量率：220uSv/hr(200mCi,1m,剛服藥)
- 功能：甲狀腺癌治療



碘131輻射防護

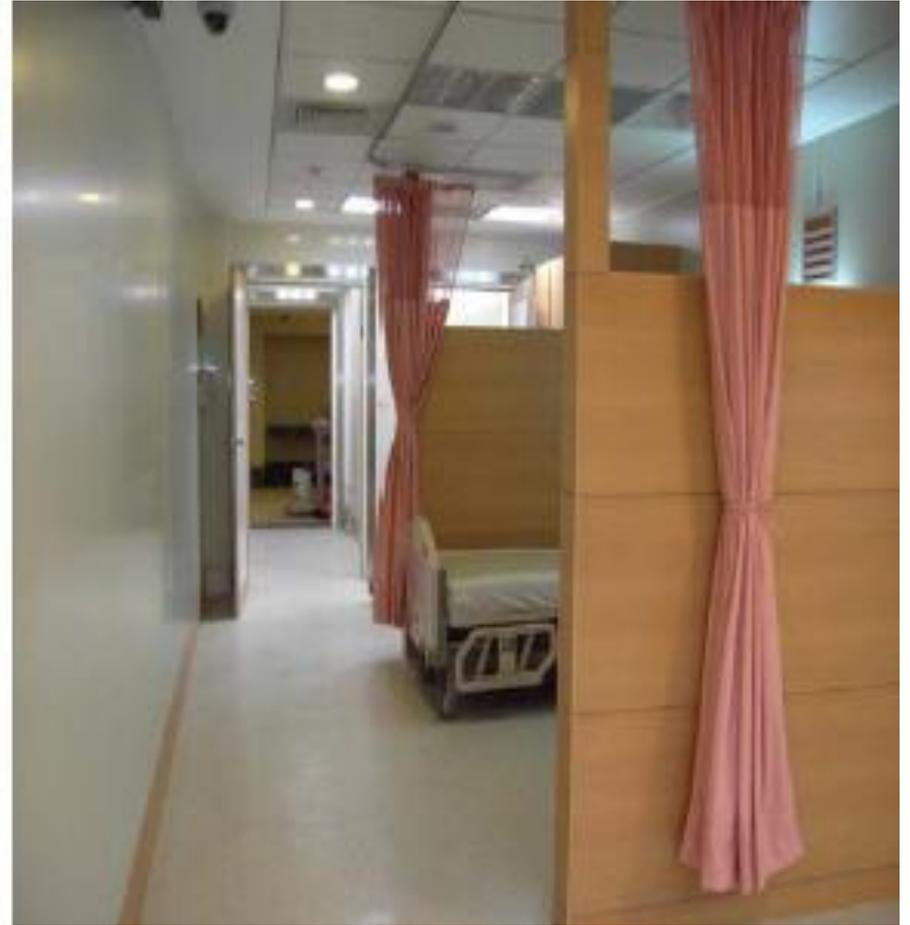
- I-131 HVL : 2.4mm Pb, 29.3mm RC
- 220uSv/hr
- 距離1公尺

- 主射束 2cm Pb
- 散射輻射、滲漏輻射 20cm RC
- b max rang=0.2cm

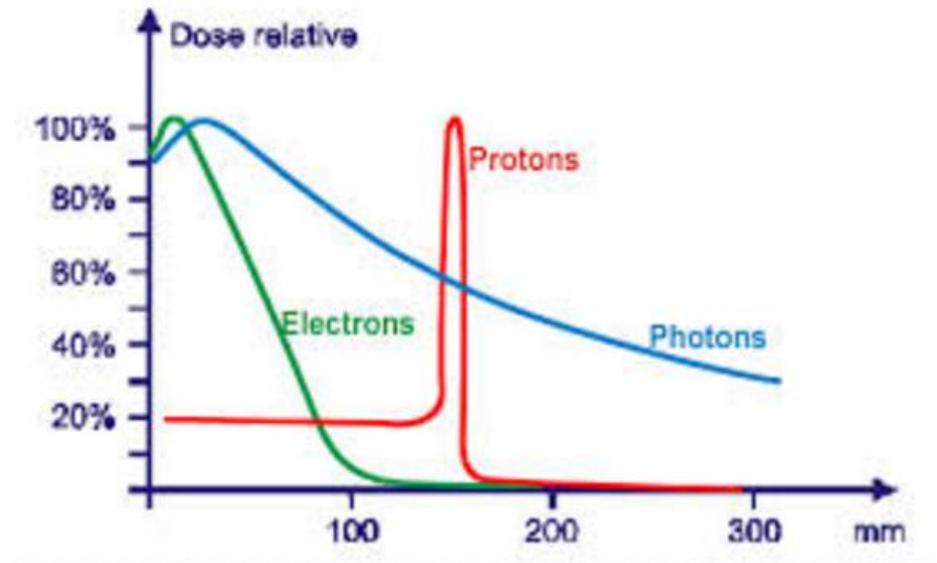
$$\begin{aligned} B_x &= \frac{P(d_{pri})^2}{WUT} \\ &= \frac{5 \times 10^{-10} (1)^2}{3.67 \times 10^{-6}} \\ &= 0.0023 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_h &= \log_2 \left(\frac{1}{B_x} \right) \\ &= 8.78 \end{aligned}$$

碘131病房設計



質子治療



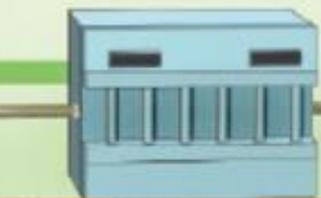
質子治療裝置

示意圖



治療室

治療室中會有定位系統、監控系統等等，協助精確治療



射束傳導系統

利用磁能將質子射束傳導至治療室



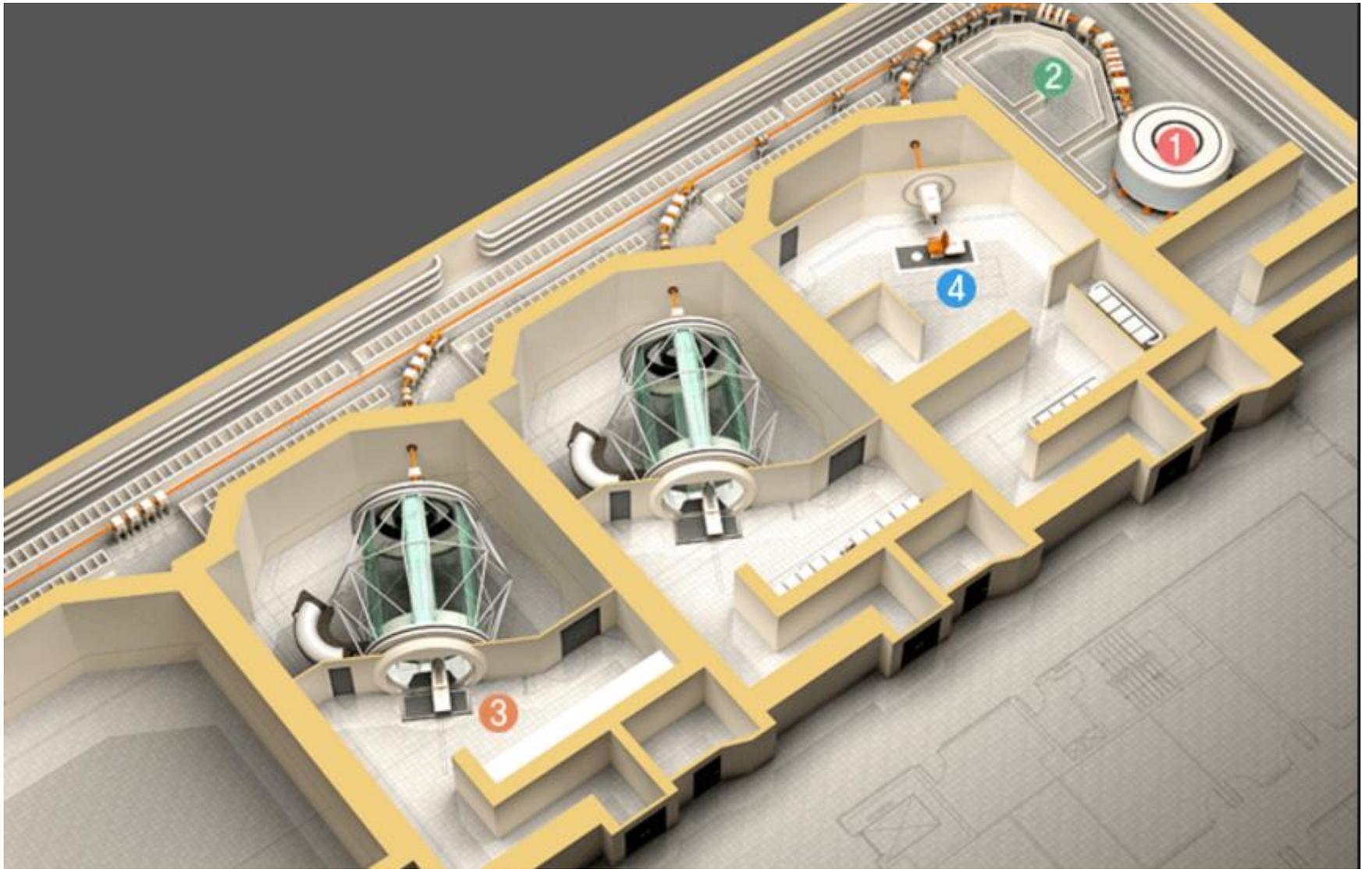
能量選擇系統

依據病人腫瘤狀況選擇適當的能量



迴旋加速器

加速使質子具有治療腫瘤的能量

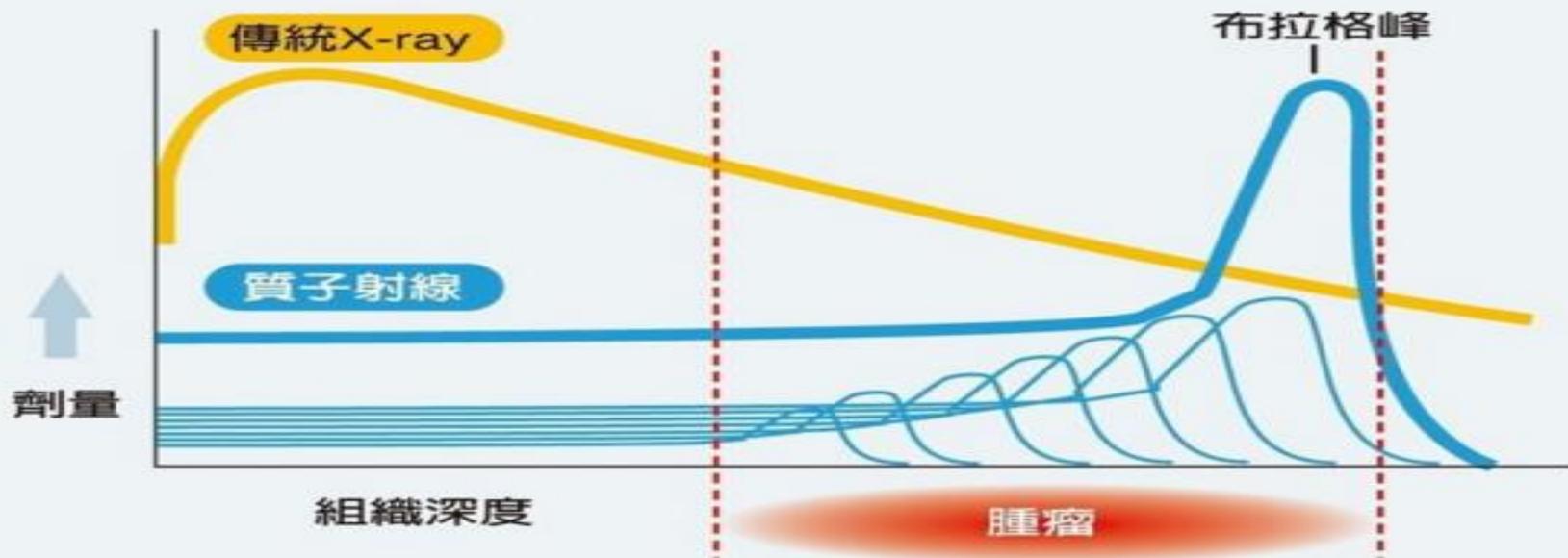


癌症放射線治療有那些？



一般放射線	質子	重粒子
<p>特點 +</p> <p>使用最普遍，但精準度不如質子、重粒子</p>	<p>進入腫瘤後才釋放能量，對周遭器官傷害少，但治療強度不如重粒子</p>	<p>可精確對準腫瘤，但治療強度高，恐傷害正常組織</p>
<p>適應症 ✓</p> <p>一般癌症治療</p>	<p>適合早期器官腫瘤，胃、子宮等無法定位器官不宜</p>	<p>局部性早期器官腫瘤</p>
<p>價格 \$</p> <p>約30萬，但大部分健保給付</p>	<p>約30萬到100萬元不等</p>	<p>約80萬到100萬元不等</p>

質子放射物理特性



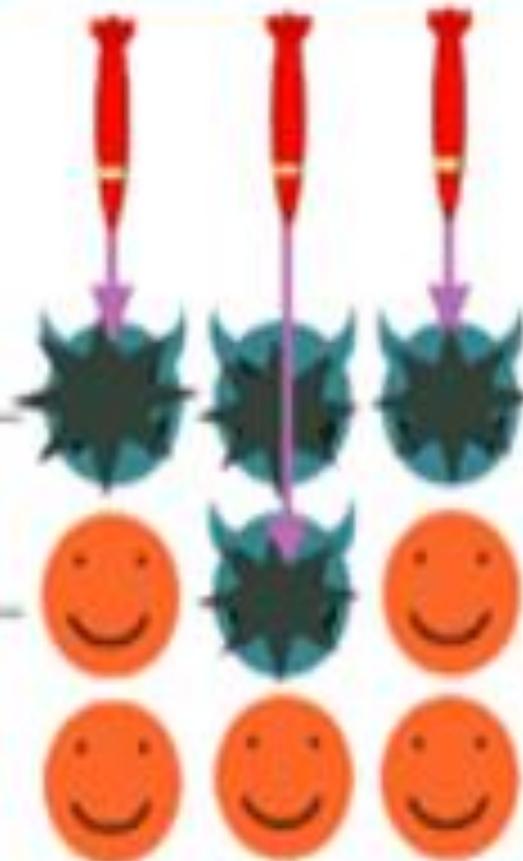
X線



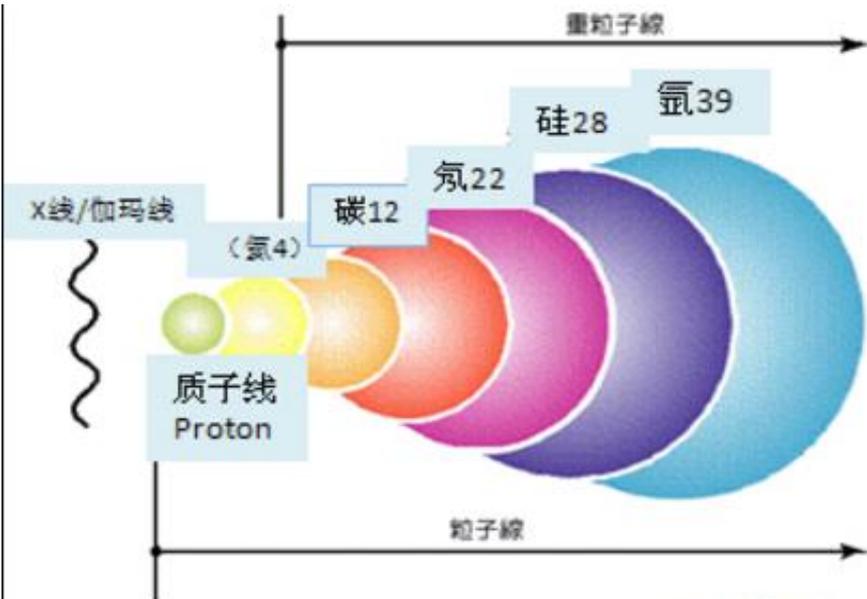
重粒子線

がん細胞

正常組織



重荷粒子治療



什么是重粒子(重离子)放射线?

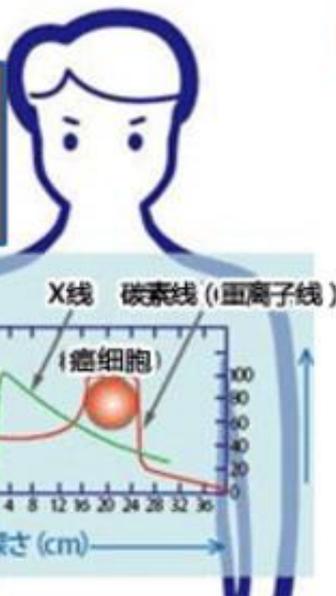
重粒子(重离子)放射线是把碳、氮、硅、氩等粒子(离子)用加速器加速到接近光速的射线。日本放射线医学综合研究所开发、建设了世界第一台以医疗为目的的重粒子(重离子)放射线治癌装置(HIMAC:Heavy Ion Medical Accelerator in Chiba, 简称黑马客)。经过反复认证与比较,研究出用各重粒子(重离子)线中的炭素线治疗癌症效果最佳。其疗效超过目前任何一种癌症治疗。

重粒子与一般放疗有何不同?

普通放疗的X线一进入人体内,线量会随深度增加越来越弱,效果也越来越差。非但不能有效地照射到体内较深的癌细胞,而且伤害了到达之前的正常细胞。使病人痛苦,且效果不佳。

与之对比,重粒子(重离子)放射线在到达癌细胞之前基本上没有杀伤力,但一到达癌细胞顿时会发挥巨大效果,非常适用于身体深处的癌症治疗。

通过制作患者专用的照射固定器,能准确地控制重粒子(重离子)放射线到达体内的深度。



重离子线(碳素线) **加速** 用特殊的加速器加速到接近光速。

台北榮民總醫院重粒子治癌計畫
先端醫療重粒子治癌中心

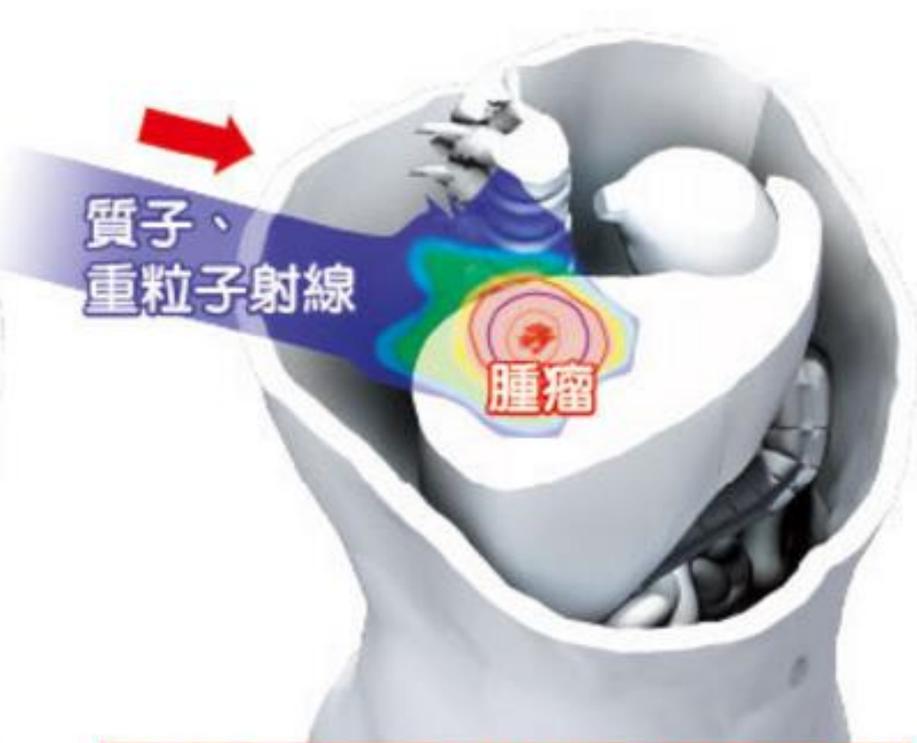
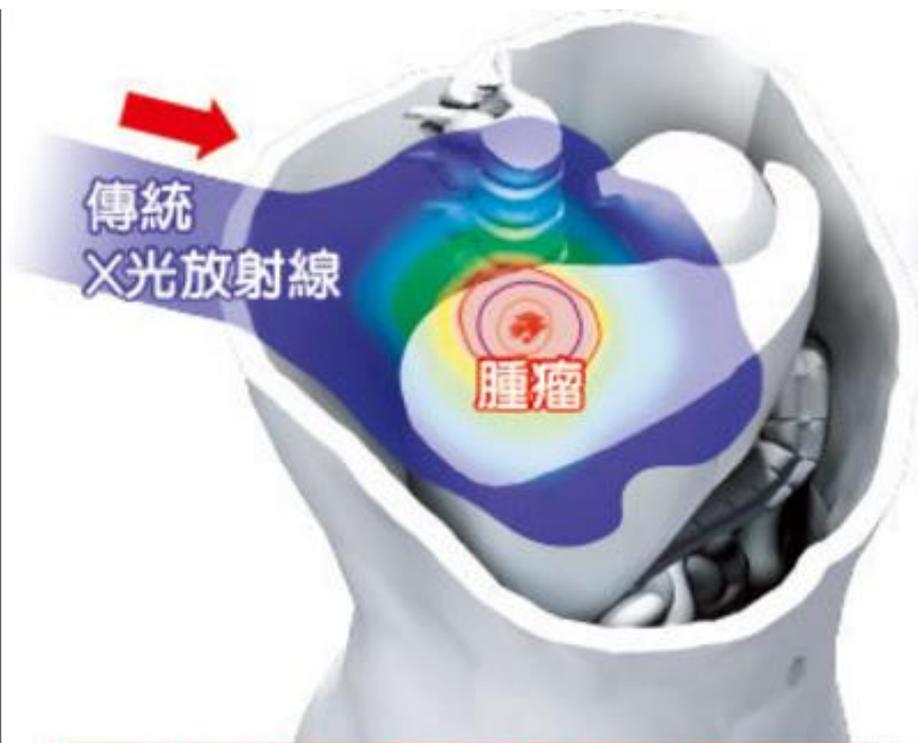
Carbon Ion RadioTherapy Painless !

張榮發總裁說：治療時不“痛”不“癢”

- 治療難治的癌症
- 治療期間短暫，低侵入性
- 高品質的術後生活
- 治療手術困難的癌症，以及使用傳統放射線無效的癌症

- Painless
- Effective Cure of Intractable and Specific Cancers
- Shortened Treatment Course
- High Quality of Life

- ★ 可能成為將來榮總的亮點
- ★ 部分癌症病人的希望



傳統放射線療法

傳統X光放療除了殺死癌細胞，也會損傷腫瘤周邊正常細胞。

資料來源：《蘋果》資料室

質子 重粒子治療

質子、重粒子射線抵達腫瘤，才釋出最大能量殺死癌細胞，不易傷及正常細胞。

照血機(γ 或x射線輻照血液用)

- 捐血者血中之活的淋巴球，與受血者淋巴球HLA(人類白細胞抗原)型部分相同時，能順利進入病人體內(不被認出而驅逐)，並繼續增殖。
- 反之，捐血者的淋巴球，即外來的淋巴球，聚集成眾，且不認同病人原有的淋巴球，反而視為異己，起而對抗，破壞病人原有之淋巴球與組織而引起之疾病，即稱為「**移植**物抗宿主疾病」(TA Graft versus host disease 簡稱TA-GvHD)。



關於移植物抗宿主疾病(TA-GvHD)

- 「移植物抗宿主疾病」(TA Graft Versus Host Disease 簡稱TA-GvHD)是一種罕見的輸血併發症，其原因為捐血者之T淋巴球誘發免疫反應而攻擊受血者之淋巴組織。
一般而言，捐血者之淋巴球會被受血者的免疫系統視為外來物而摧毀之。然而，在某些情況下，如受血者之免疫機能不全(先天免疫機能缺陷、後天免疫機能缺陷、罹患惡性腫瘤等)，或者當捐血者之人類白血球抗原基因為純合子(homozygous)，而受血者為雜合子(heterozygous)(可發生於捐血者為受血者之一等血親時)，此時，受血者之免疫系統無法摧毀捐血者之淋巴球，這時可能導致輸血相關移植物抗宿主疾病。

關於輻照血液臨床應用

- 輻照血液(irradiated blood components)是指使用照射強度為25-30 Gy的加馬射線對血液製劑進行照射，使血液製劑中的T淋巴球失去活性所製成的成分血。冰凍解凍去甘油紅血球和血漿成分不需輻射照射，紅血球成分在全血採集後14天內完成輻射照射。經輻照後的血液製劑，T淋巴球失去活性，對受者的刺激不再產生反應，避免TA-GvHD。
- 此外， γ 射線的輻照作用只發生在輻照血液的瞬間，輻照完成後，殺傷作用便不存在，輻照血液本身並無放射活性，輸給受血者無任何放射性殺傷作用安全可靠。

放射線房間的輻射防護

- 原則

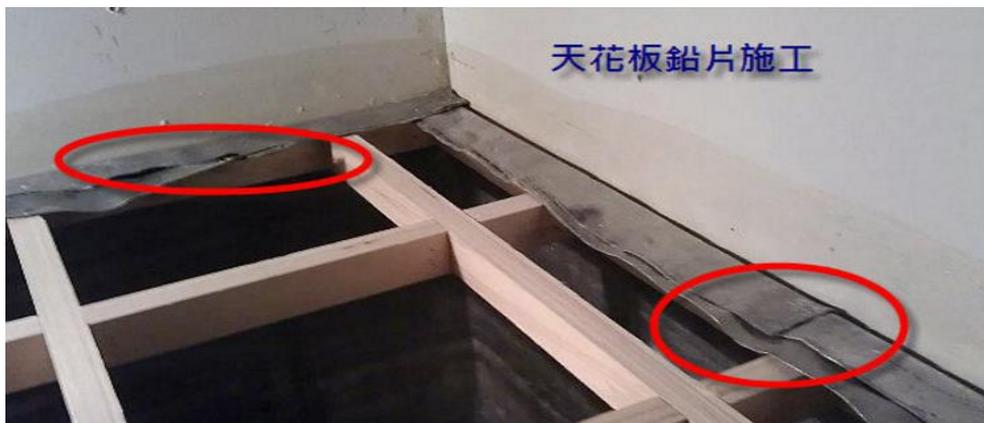
- 合理抑低

(as low as reasonably achievable ;
ALARA)

- 盡可能使用鉛，而不外加混凝土
 - 注意門的接合-重疊處



鉛片在門片與門框處需要交疊



天花板鉛片施工

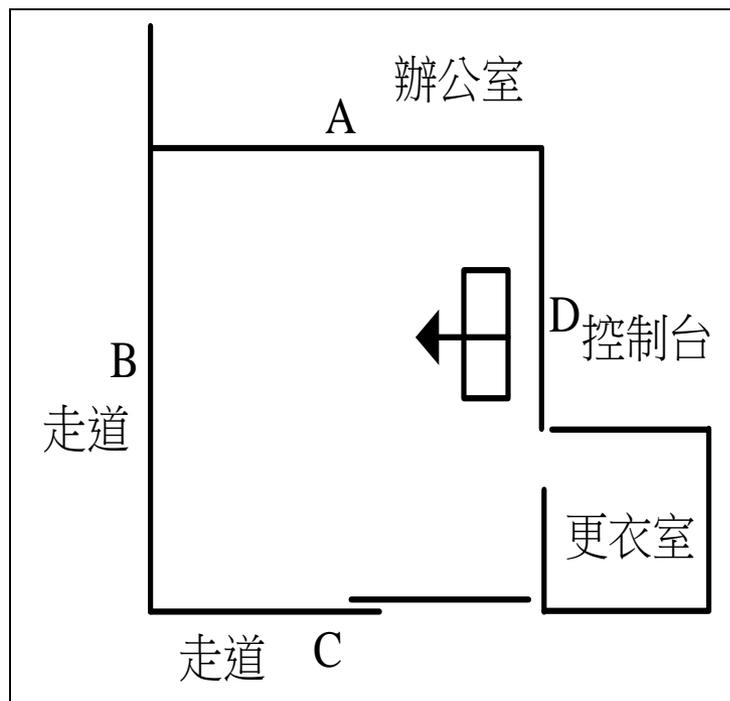


類型

- 一般診斷科X光機、一般透視X光機
- 移動式X光Portable
- 一般牙科X光機、牙科全口、牙口電腦斷層
- C-arm：心導管檢查儀、開刀房透視、碎石機
- 3D電腦斷層掃描儀
- 乳房攝影檢查儀
- 骨質密度檢查儀
- 放射治療模擬攝影（模擬定位儀）

一般X光機輻射防護

測量點	P	U	T	D	B _{ux}	B _{Lx}	K _{ux}	需屏蔽厚度	建議厚度
A牆：辦公室	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
B牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	5.12 mmPb	6
C牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
D牆：控制台	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
天花板：護理站	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	12.64 cmRC	18
地板：販賣部	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	33.45 cmRC	18cm + 3mm



$$K = \frac{P(d_{pri})^2}{WUT}$$

$$K = \frac{1000 \cdot P \cdot d^2}{W \cdot f \cdot T}$$

$$W = mA \cdot \text{min} / \text{week}$$

- 鉛衣
- 鉛頸圍
- 鉛手套
- 鉛屏蔽
- 鉛玻璃



鉛衣及個人防護設備系列
Lead Clothes and Accessories

· 頭、頸部防護系列



防護鉛帽



防護巾



防護面罩A型



防護面罩B型



防護鉛帽
(圍領連體型)



防護鉛帽



一體型鉛頸圍



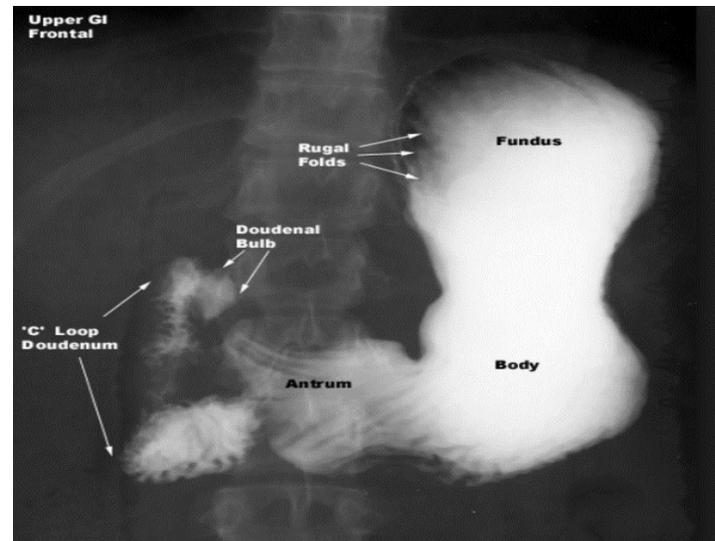
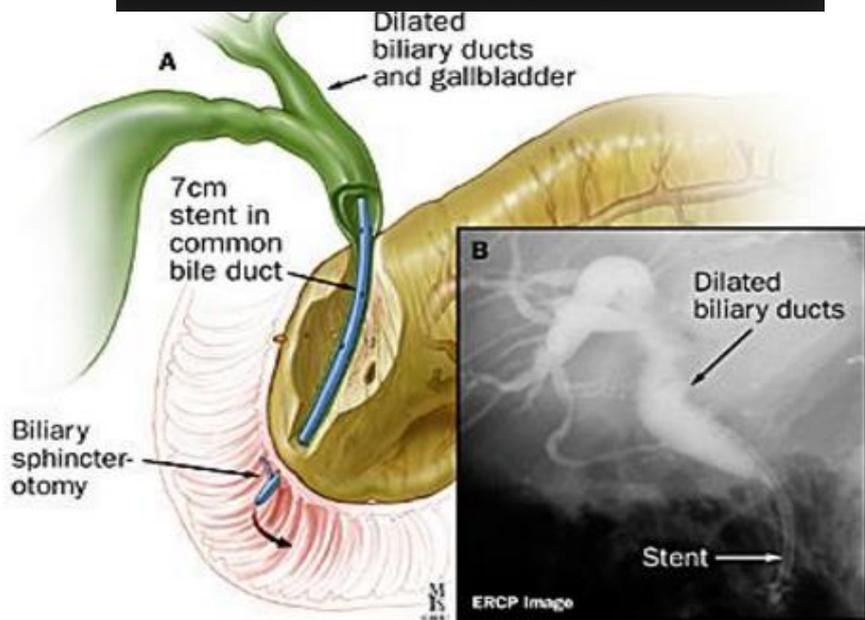
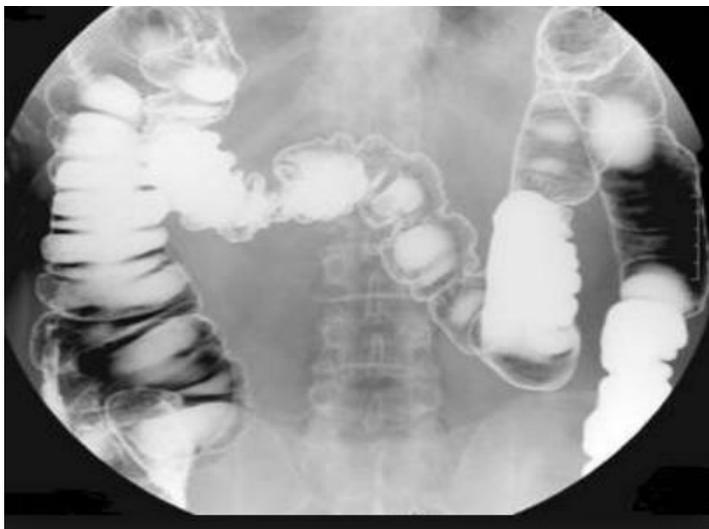
大領型鉛頸圍

一般X光機類

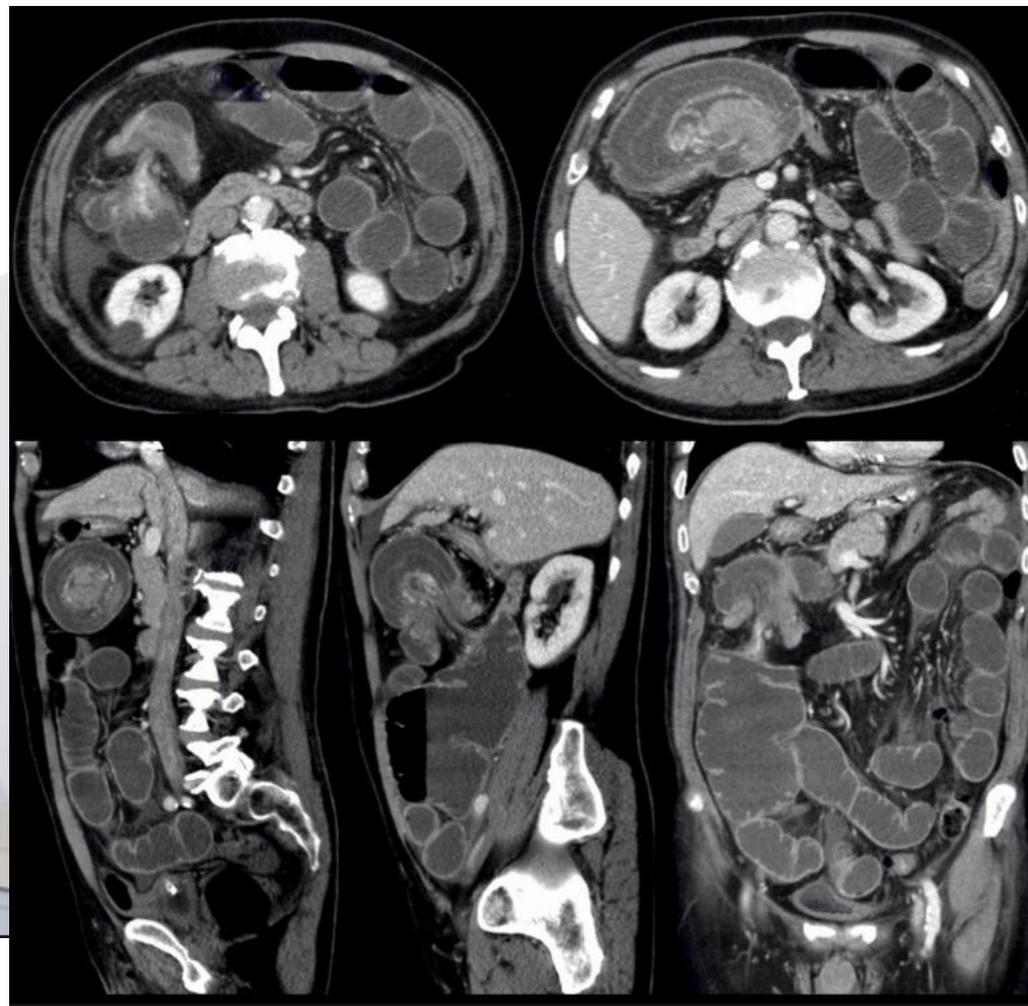
- 最高能量：150keV
- 最高管電流：600mA
- 功能：醫學影像診斷

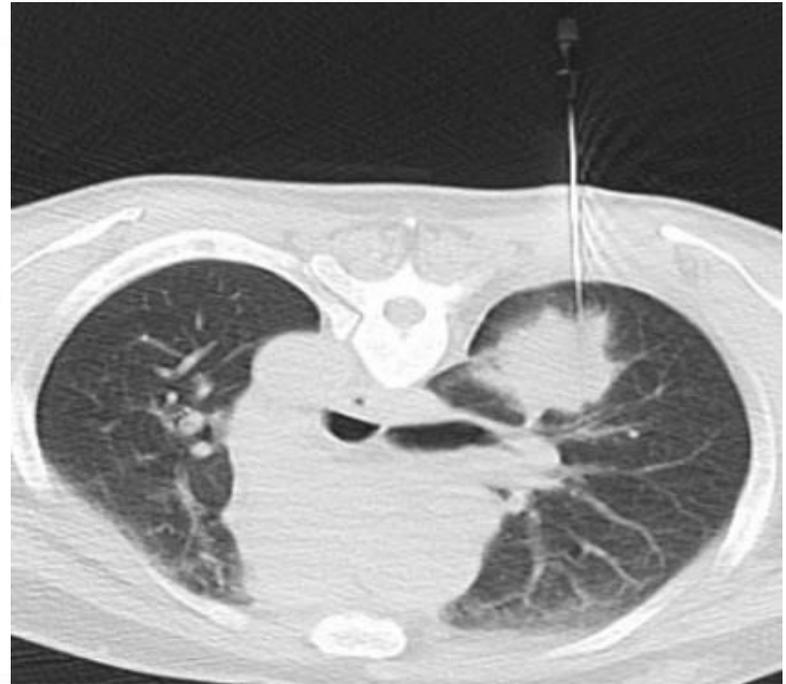
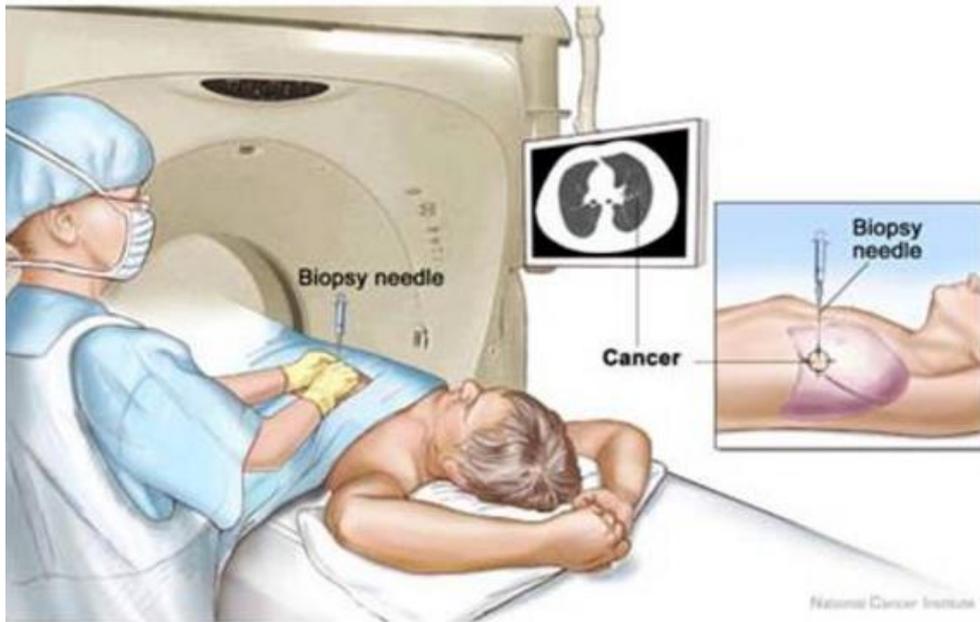
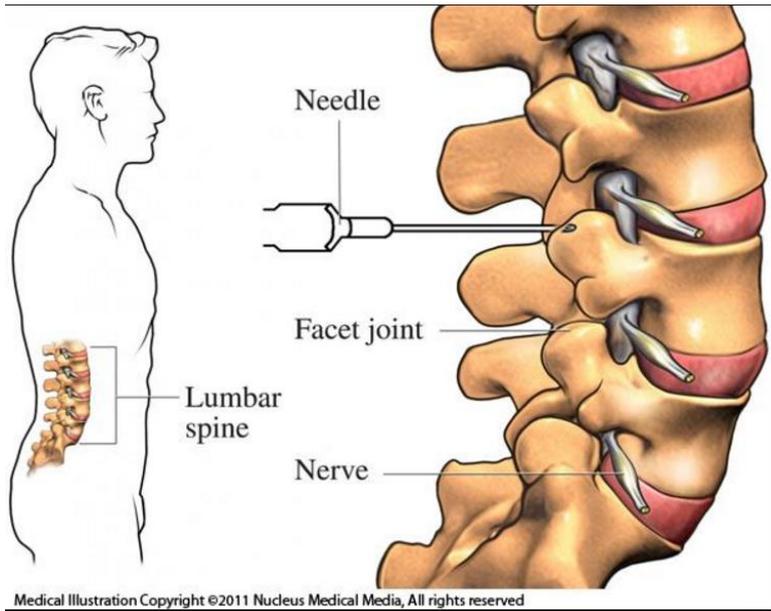


一般透視X光機

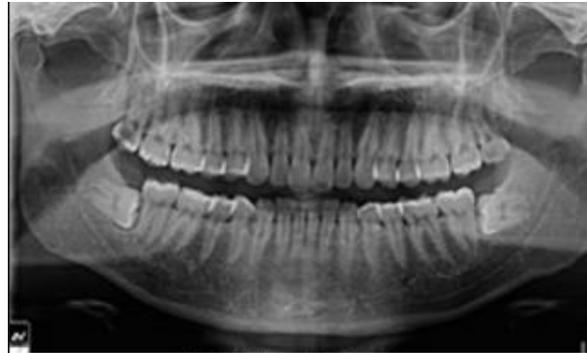


3D電腦斷層掃描儀





一般牙科X光機



全景片 (大片)



根尖片 (小片)



C-arm類

- 最高能量：150keV
- 最高管電流：20mA
- 功能：醫學影像診斷



開刀房透視C-arm



泌尿科-碎石機C-arm

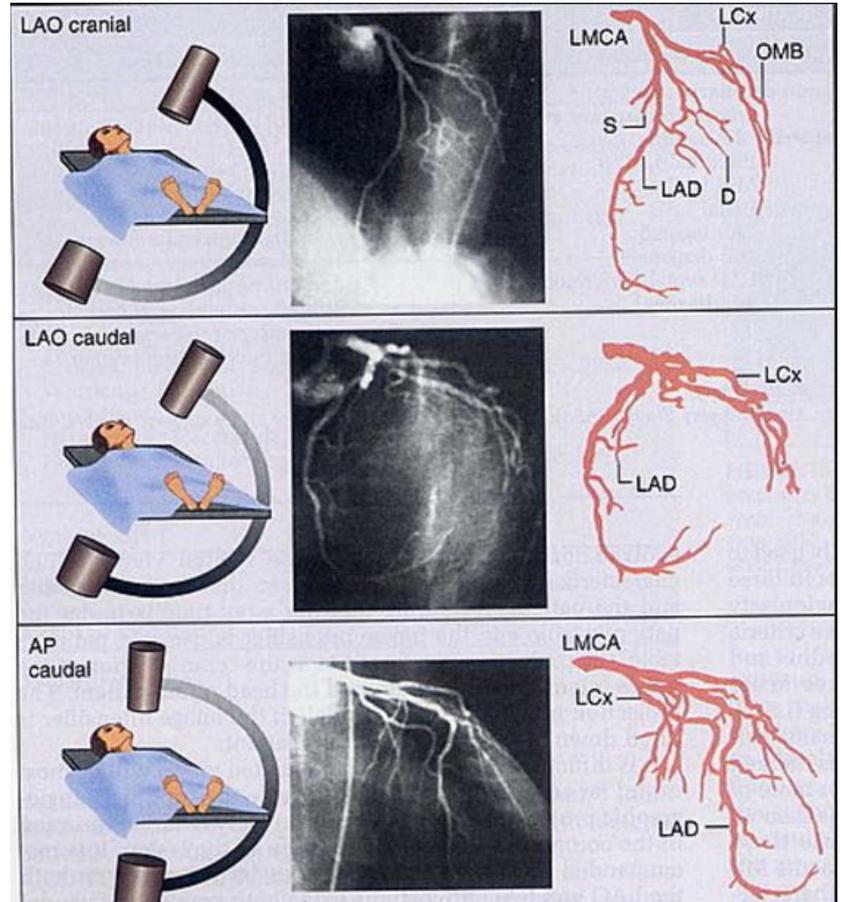
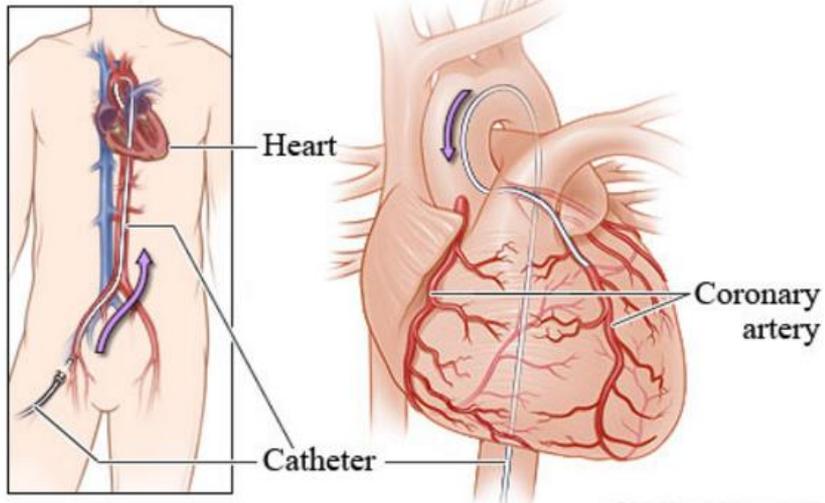


心導管攝影



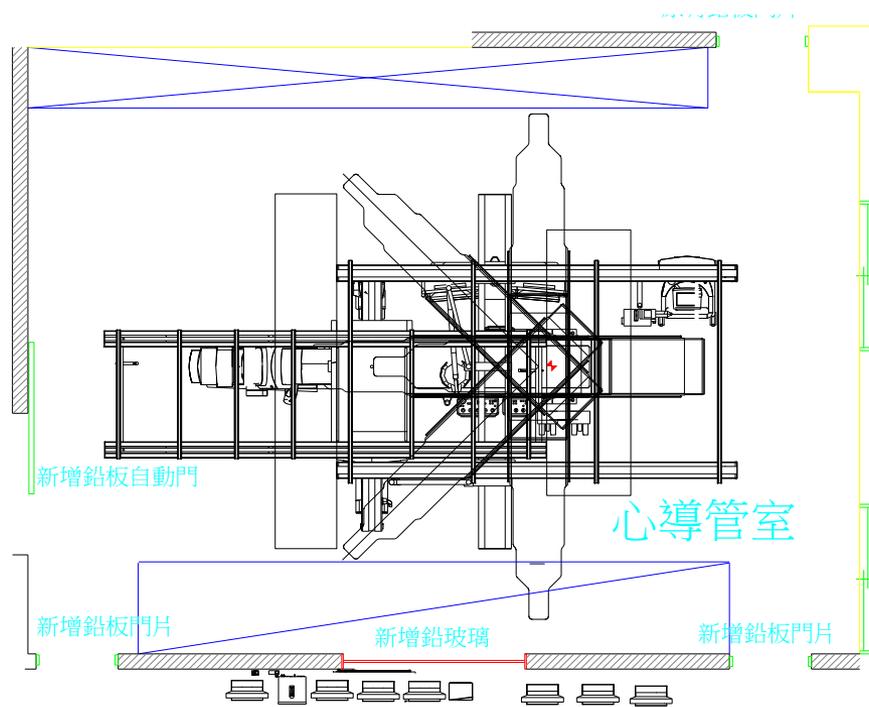
Catheter from groin to heart

Catheter placed in coronary artery

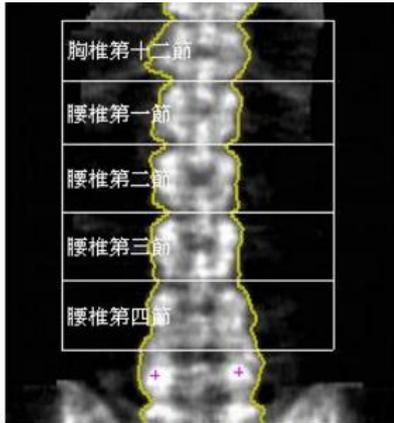


心導管攝影輻射防護

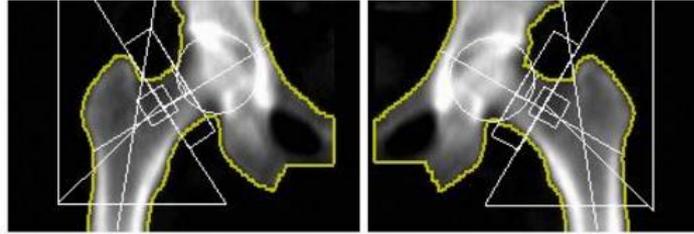
測量點	P	U	T	D	B_{ux}	B_{Lx}	K_{ux}	需屏蔽厚度	建議厚度
A牆：辦公室	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
B牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
C牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
D牆：控制台	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3
天花板：護理站	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	12.64 cmRC	18
地板：販賣部	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	12.64 cmRC	18



骨質密度檢查儀BMD

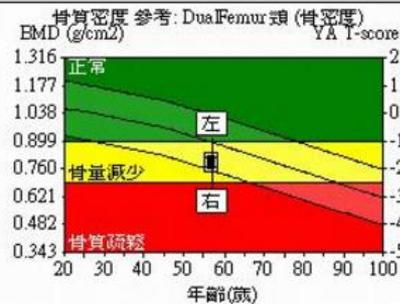
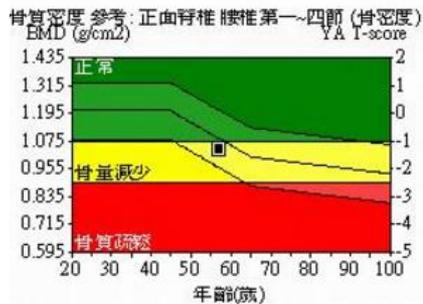


影像不用作診斷



影像不用作診斷
不能提供H&I的圖表結果

(右側= 100.6 mm) (左側= 102.8 mm)



區域	骨密度 ¹ (g/cm ²)	年輕的成年人 ^{2,7} T-score	與同年齡正常人群 ³ Z-score	世界衛生組織分類 ¹¹
正面脊椎 腰椎第一~四節	1.089	-1.3	-0.4	骨量減少
Dual Femur 頸				
左	0.801	-1.7	-0.7	骨量減少
右	0.780	-1.9	-0.8	骨量減少
均值	0.790	-1.8	-0.7	骨量減少
差別	0.021	0.2	0.2	-

乳房攝影-Mammography

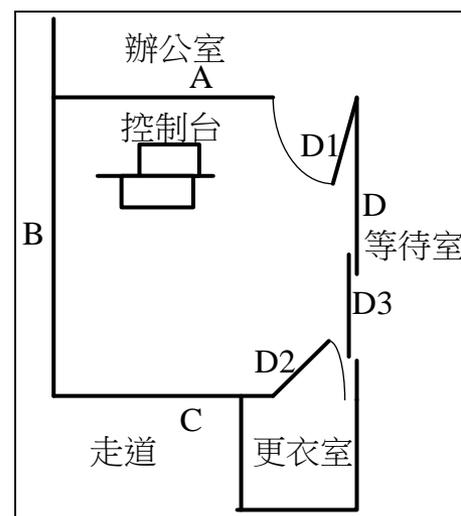
- 最高能量：40keV
- 最高管電流：56mA
- 功能：醫學影像診斷



乳房攝影輻射防護

- 40keV 半值層 0.06mm Pb, 4.3mm Rc

測量點	P	U	T	D	B _{ux}	B _{Lx}	K _{ux}	需屏蔽 厚度	建議厚 度
A牆：辦公室	0.002	0.25	1	1.9	2.89E-05	2.5992	0.004813	0.90	3
B牆：空中	0.002	0.25	0.25	1.9	0.000116	10.3968	0.019253	0.78	3
C牆：走道、更衣室	0.002	0.25	1	1.9	2.89E-05	2.5992	0.004813	0.90	3
D牆：等待室	0.002	0.25	1	1.9	2.89E-05	2.5992	0.004813	0.90	3
天花板：開刀房	0.002	0.25	1	4	0.000128	11.52	0.021333	5.56	18
地板：倉庫	0.002	0.25	1	4	0.000128	11.52	0.021333	5.56	18



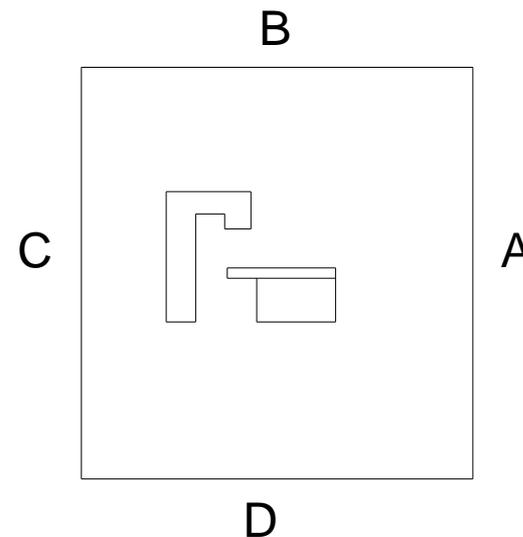
模擬定位儀-X ray simulator

- 最高能量：150kVp
- 最高管電流：320mA
- 功能：放射線遠隔治療模擬定位



模擬定位儀輻射防護

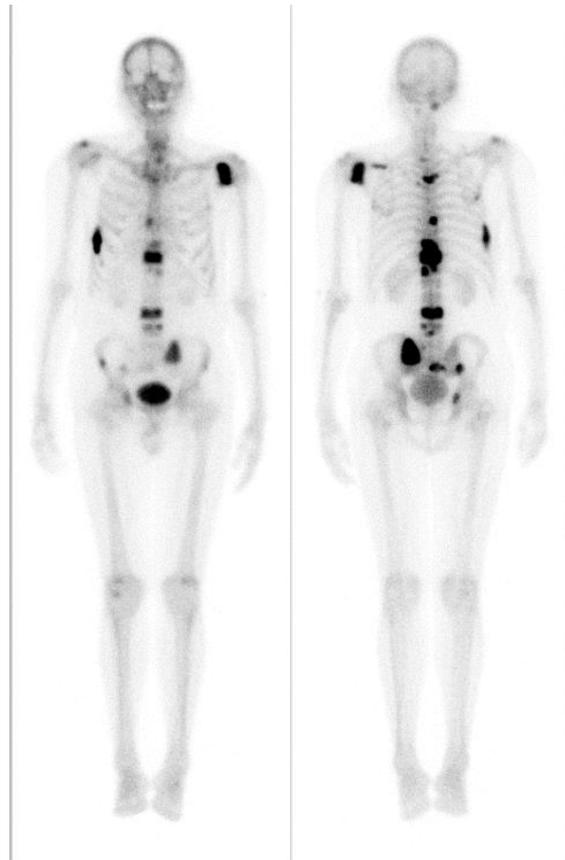
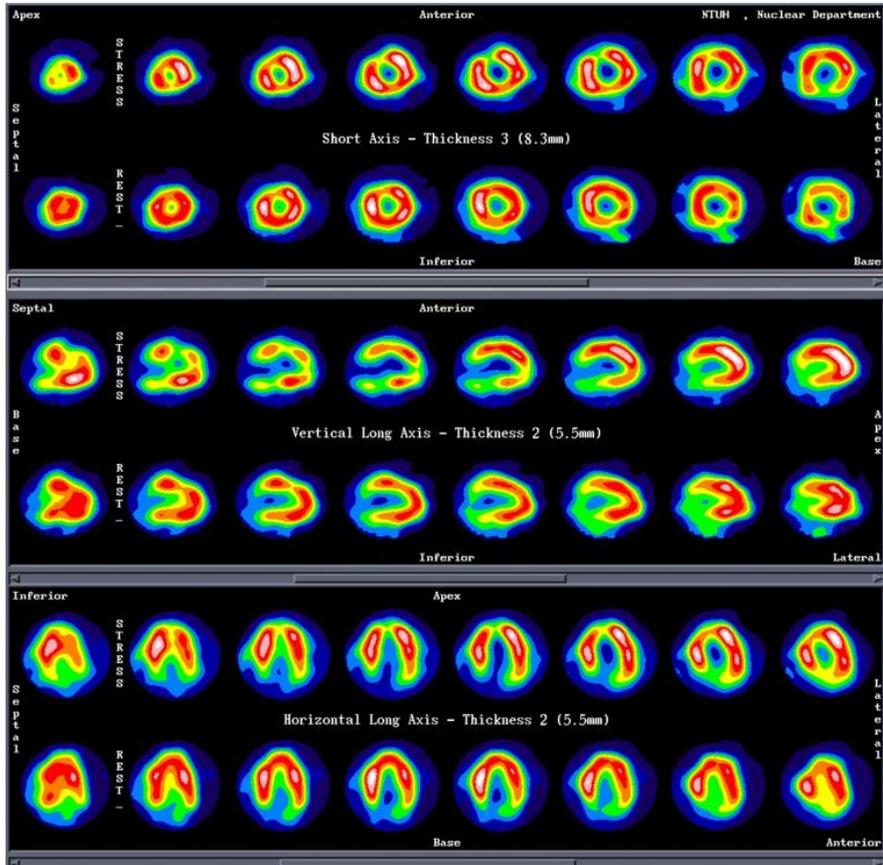
測量點	P	U	T	D	B_{ux}	B_{Lx}	K_{ux}	需屏蔽厚度	建議厚度
A牆：辦公室	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3 mmPb
B牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	5.12 mmPb	6 mmPb
C牆：走道	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	2.34 mmPb	3 mmPb
D牆：控制台	0.002	1	1	1.9	7.2E-06	2.5992	0.00451	5.12 mmPb	6 mmPb
天花板：護理站	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	33.45 cmRC	18cm + 3mm
地下樓：販賣部	0.002	1	1	4	3.2E-05	11.52	0.02	33.45 cmRC	18cm + 3mm



γ 射線(放射示蹤劑) for radiotracer (核子醫學)

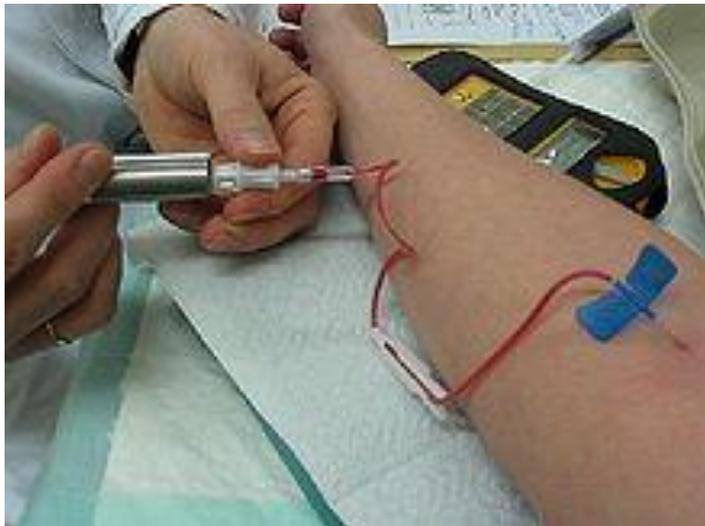
- 骨骼掃描-Tc-99m MDP
- 心臟攝影-Tl-201, Tc-99m MIBI
- 正子攝影 PET- C-11, N-13, O-15, F-18 etc.





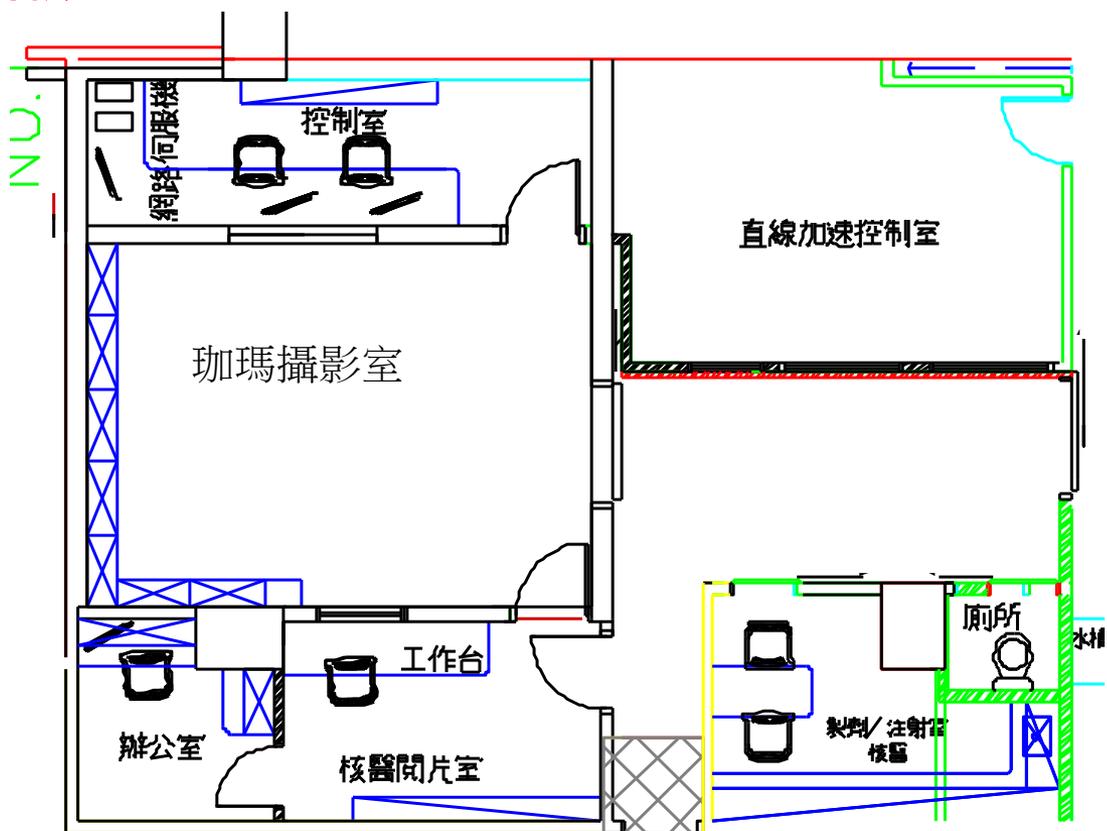
Tc-99m(鎝-99m)

- 最高能量：141keV, 0.033 mSv/h/GBq
- 最高活度：~20mCi
- 1m劑量率：24.42 uSv/h
- **Pb HVL：0.27mm**
- 功能：核子醫學影像診斷



Tc-99m(鎝-99m) (radioisotope)

- 非管制區以5mm鉛屏蔽
- 管制區以3mm鉛屏蔽

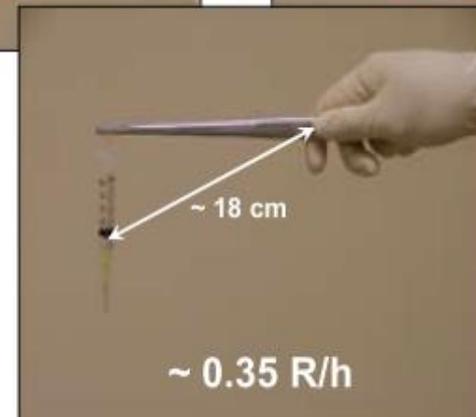
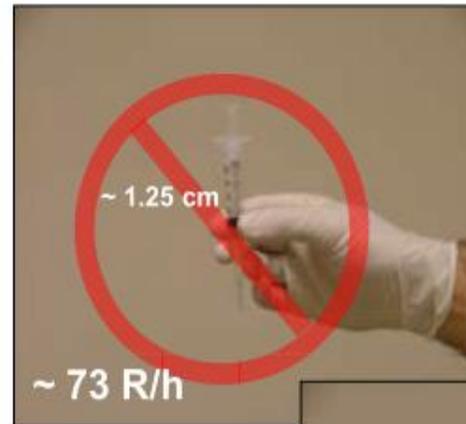


正子攝影

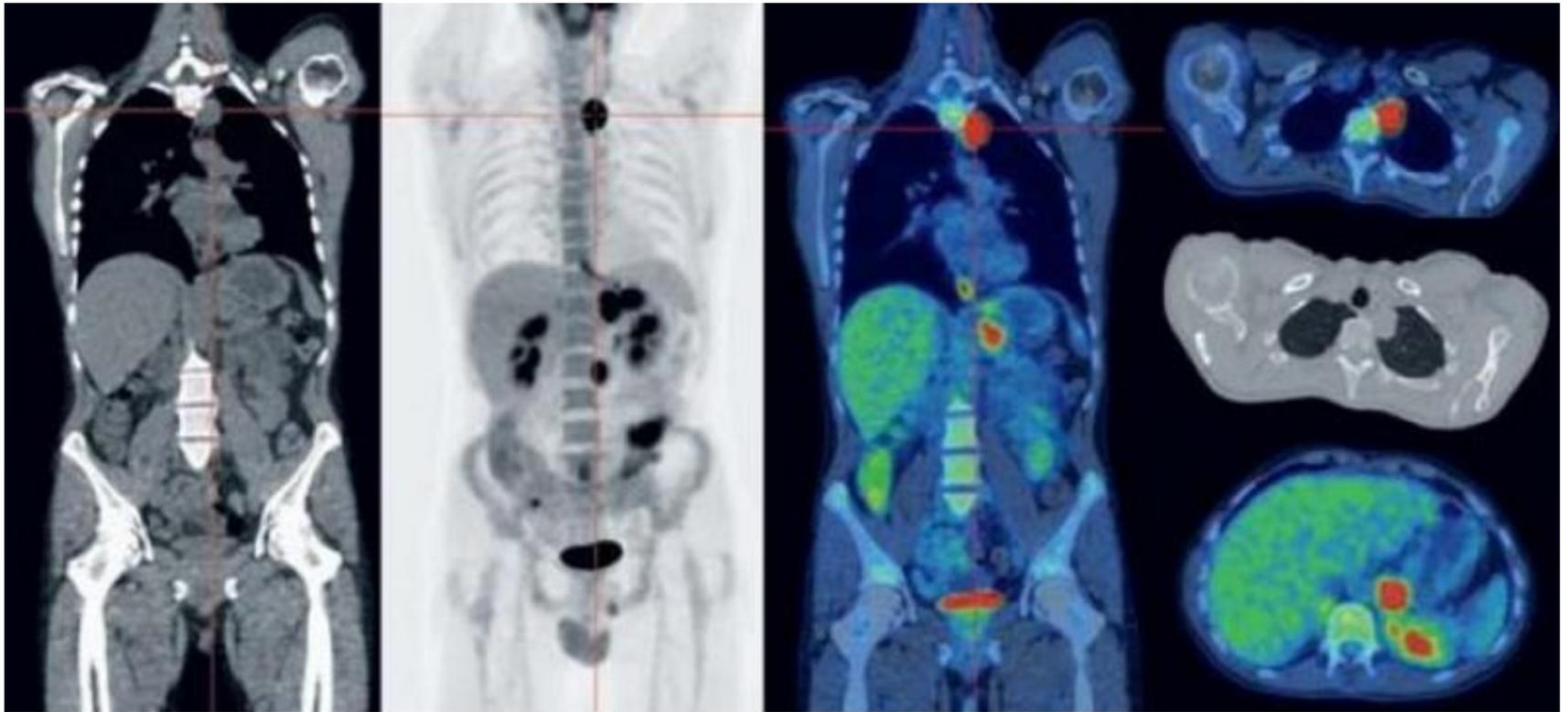
- F-18, 0.143 mSv/h/GBq
- 最高能量：633 keV β^+ , 193% 511 keV g
- 最高活度：10mCi
- 1m 劑量率：5.3 uSv/h
- HVL：4mm Pb, 4cm RC
- 功能：核子醫學影像診斷

正子攝影輻射防護

- Pb:20 $\mu\text{Sv}/\text{week}$
- 1cm Pb
- or 15cm RC
- or 4.5cm Iron



PET-CT Scan F-18



正子攝影房間工程

Uptake Rooms Floor



Scan Room Floor



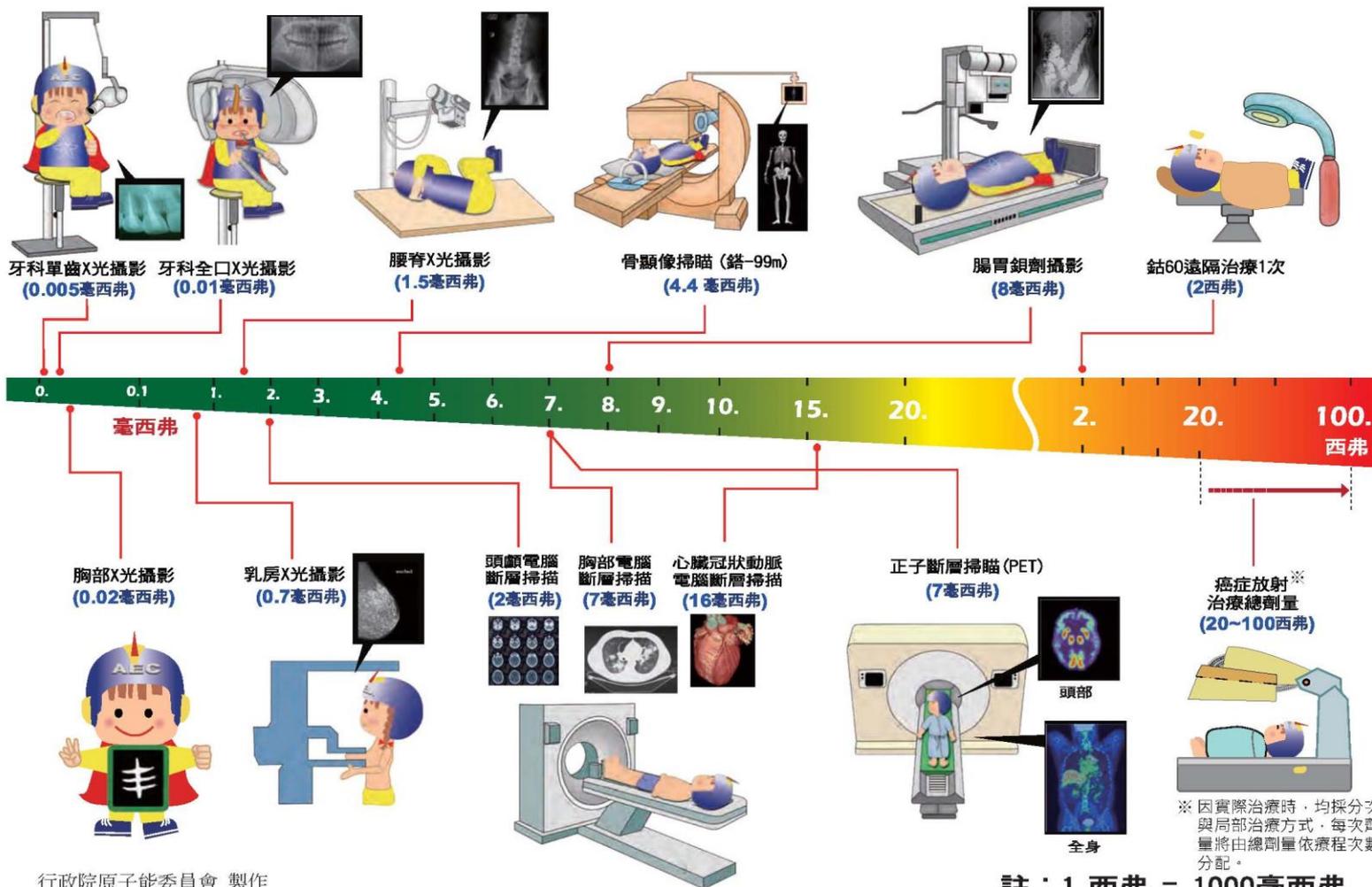
Uptake Rooms Walls



Scan Room Wall



劑量比較圖

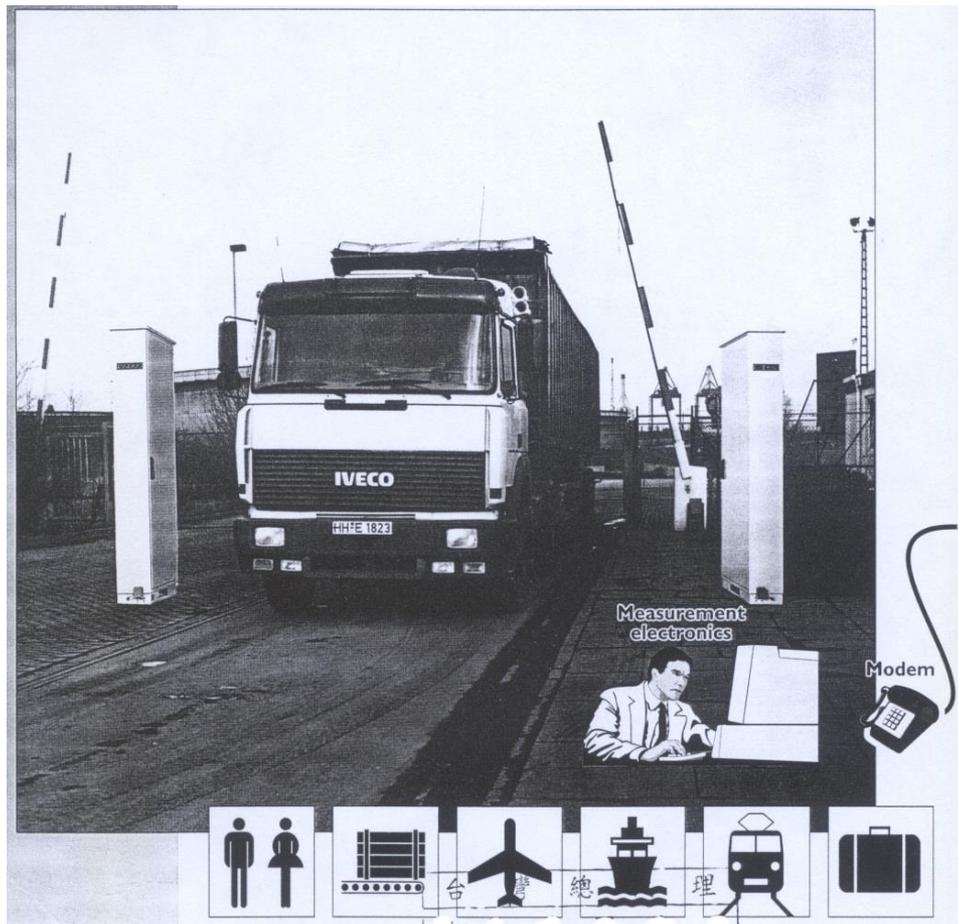


註：1 西弗 = 1000毫西弗

進出輻射管制區之 門型偵檢器



進出海關碼頭之 門型偵檢器



體內曝露的偵測

全身計測法

可直接自體外計測體內含核種及活度，對體內污 χ 或 γ 核種的測量甚為方便，高能量 β 核種也可能測量。



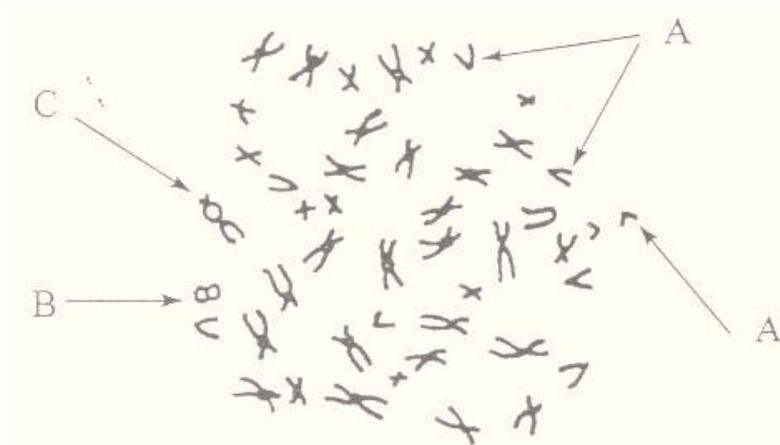
全身計數器

全身計測

生化分析法

藉由取人的排泄物(糞便、尿、血液等)，經過適當處理後加以偵測，據以推算全身污染的活度，此方法適於偵測發射任何輻射(α 、 β 、 γ 、 χ)的放射性核種。

染色體變異分析



肆、結語

輻射防護的原則

- ▶ 時間：縮短於輻射場中的逗留時間
- ▶ 衰減：注意射源原始強度與衰減時間
(瞭解你的射源)

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

- ▶ 距離：加馬射源強度隨距離平方成反比
- ▶ 屏蔽：使用各種有效的屏蔽材料



Thank for your attention !