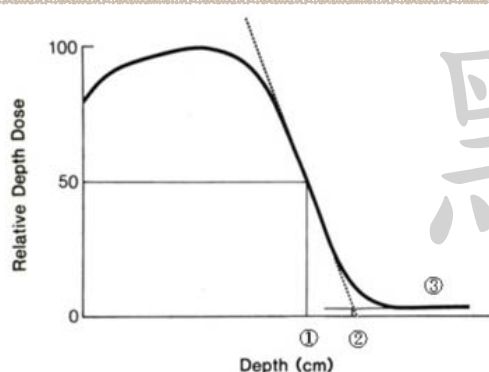


放射線與物質作用-電子

• 電子射束的深度百分劑量曲線

- D 下圖中編號2為50%相對深度劑量的切線與編號3的延伸線交點，稱之為：A.depth of dose maximum, $d_{\max}$ B.depth of reference dose, R_r C.depth of 50% dose, R_{50} D.practical range, R_p 104-1-27



編號1.為 R_{50}

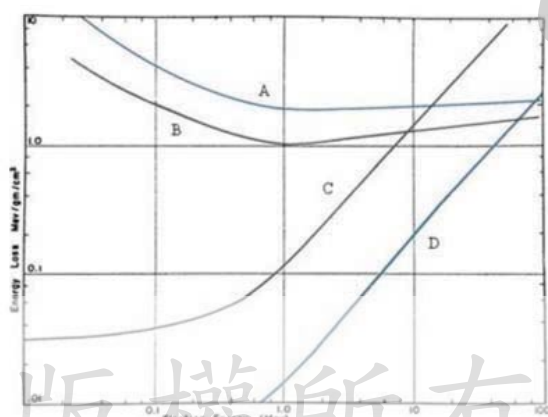
編號2.為 R_p

編號3.的部分是制動輻射導致的光子污染

42

放射線與物質作用-電子

- A 下圖為電子在水與鉛中之質量阻擋本領與電子能量之關係，試問那一條為電子在水中之質量碰撞阻擋本領(mass collision stopping power)曲線? 102-1-51



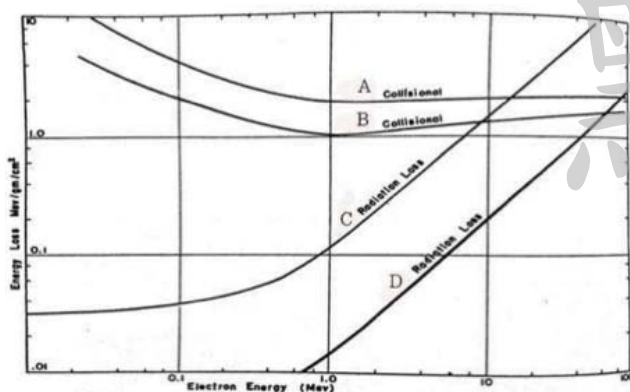
1. 電子能量越高，越易發生制動輻射，因此曲線C、D應為質量輻射阻擋本領。
2. 水為低原子序物質，和鉛比起來相對亦容易發生游離與激發，因此質量碰撞阻擋本領應該比鉛高

43

放射線與物質作用-電子

- D 下圖為電子在鉛與水中的能量損失圖，曲線A與B是碰撞能量損失，C與D是輻射能量損失。曲線A~D依序是哪種材質的能量損失曲線？(A)鉛,水,鉛,水(B)鉛,水,水,鉛(C)水,鉛,水,鉛(D)水,鉛,鉛,水

104-1-26



在低原子序物質，主要與外圍電子碰撞產生游離或激發；高原子序物質，主要與原子核作用產生連續能譜的制動輻射

44

放射線與物質作用-電子

- 電子射束臨床運用

- B 臨床放射治療最常使用的電子射束,其能量介於多少MeV之間?
A.2~5 B.6~20 C.21~27 D.28~35

104-2-26

- D 一般18 MeV電子束的有效治療深度範圍約為:
A.0~1.5 cm B.1.5~3 cm C.3~4.5 cm D.4.5~6 cm

104-2-27

電子射束的最大劑量深度 R_{100} 約為能量的1/3處。即 $18/3=6$

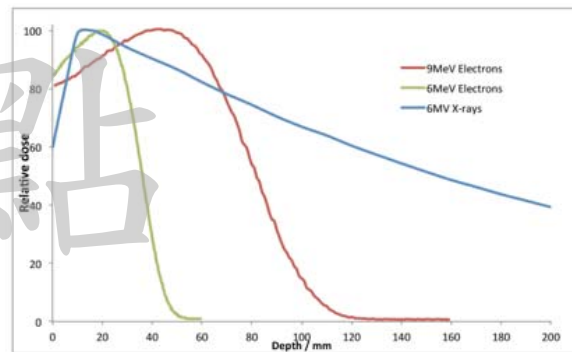
放射線與物質作用-電子

- 電子射束與光子射束深度百分劑量曲線比較

放射治療中，下列哪種射線對皮膚之劑量最大

- D (A)6 MV X-ray(B)10 MV X-ray(C)18 MV X-ray(D)9 MeV 電子
103-1-4

- 電子造成的皮膚表面劑量比光子高
- 光子能量越高，表面劑量越低



<http://www.cureus.com/articles/2706-anthropomorphic-phantoms-for-confirmation-of-linear-accelerator-based-small-animal-irradiation>

46

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 重荷電粒子，由於其帶電且質量大，主要以游離與激發物質中的電子為主，極易造成電子的游離，且游離後行徑不偏折、容易造成二次電子(δ 射線)的產生。
- 由於重荷電粒子幾乎只造成物質游離與激發，幾乎無制動輻射，因此其阻擋本領就等於碰撞阻擋本領。

$$S=S_{\text{col}}$$

放射線與物質作用-布拉格曲線

- 帶電粒子進入物質後，不同深度的相對劑量曲線，即稱為布拉格曲線。
- 荷電粒子所損失的能量，與運動速度的平方成反比。意指運動速度越快(入射初期)，損失的能量越少。
- 1904年，Bragg和Kleeman發現，質子與重荷電粒子於入射初期，損失的能量相當少。直到一射程後，質子迅速減速，釋放大量動能。

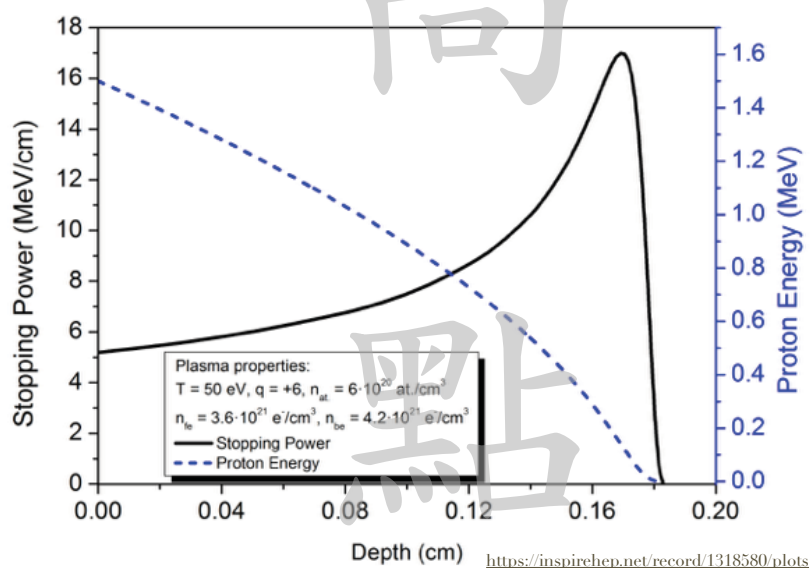
48

放射線與物質作用-布拉格曲線

- 路徑接近終點時，有非常高的能量釋放，且後端幾乎沒有動能，此曲線高峰稱之為布拉格峰(bragg peak)。臨床質子治療即是利用此尖峰進行治療。
- 電子由於有高的荷質比，造成行徑過程易改變方向，因此雖然一樣是帶電粒子，但電子並沒有bragg peak。

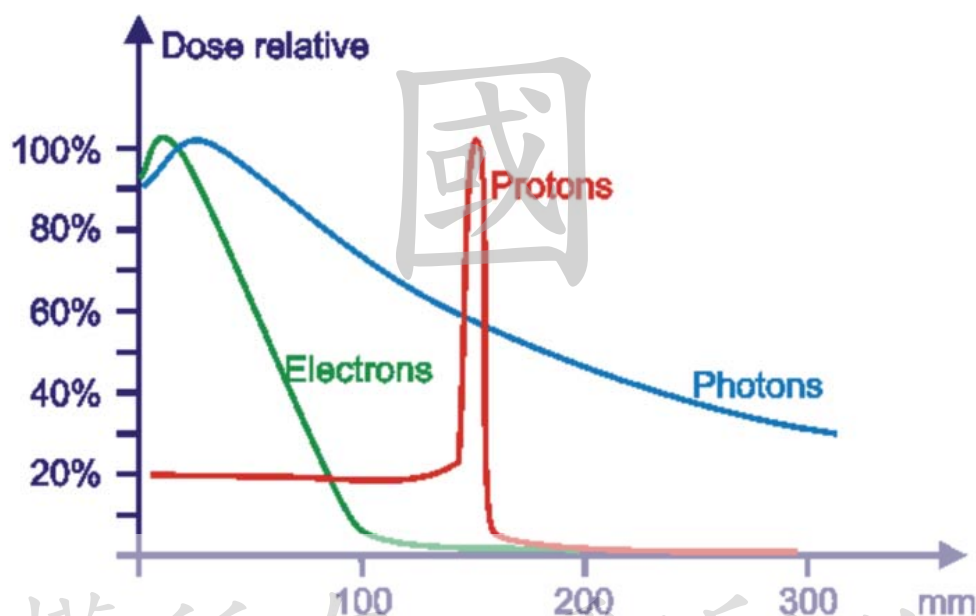
49

放射線與物質作用-布拉格曲線



50

放射線與物質作用-布拉格曲線



<http://physics.stackexchange.com/questions/169665/dose-depth-curve-of-photons-vs-protons>

51

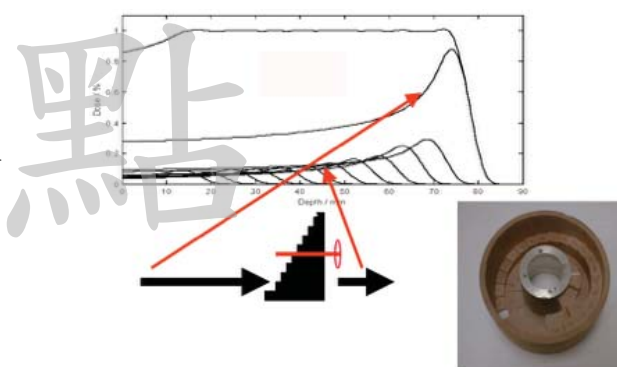
放射線與物質作用-布拉格曲線

- SOBP(spread-out Bragg peak)

由於原始的布拉格峰範圍太狹窄，無法完全包覆著腫瘤，因此在放射治療的臨床上運用，會使用一些方法，製造出較寬闊的布拉格峰。

▲ Range modulator

▲ 使用不同能量的射束

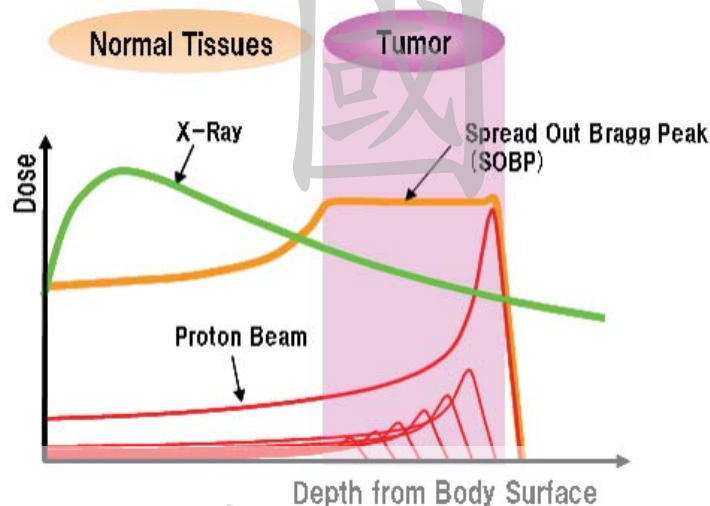


<http://www.aapm.org/meetings/05AM/pdf/18-4016-65735-22.pdf>

52

放射線與物質作用-布拉格曲線

- SOBP(spread-out Bragg peak)



<http://www.shi.co.jp/quantum/eng/product/proton/proton.html>

53

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 質子射束

- A 有關質子射束之特性,下列敘述何者錯誤? A.可產生大量制動輻射 B.靜止質量約為電子的1,840倍 C.應用的質子能量較LINAC之電子能量大許多 D.利用布拉格峰(Bragg peak)之特性 104-1-28

重荷電粒子，由於其帶電且質量大，主要以游離與激發物質中的電子為主，極易造成電子的游離，且游離後行徑不偏折、容易造成二次電子(δ 射線)的產生。

54

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 質子射束

- B 質子治療所用之質子與介質發生作用損失能量的最主要機制為:
A.彈性碰撞 B.與價電子之庫倫作用力 C.核反應
D.Bremsstrahlung 103-2-50

重荷電粒子，由於其帶電且質量大，主要以游離與激發物質中的電子為主，極易造成電子的游離，且游離後行徑不偏折、容易造成二次電子(δ 射線)的產生。

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 質子射束

B 質子射束治療之深度劑量分布有何特性? A.低線性能量轉移(low LET) B.布拉格尖峰效應(Bragg peak) C.康普吞邊緣(Compton edge) D.增建範圍(buildup range) 102-2-59;102-1-79

56

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 質子治療臨床運用

C 放射治療用之質子射束治療其能量範圍(眼部癌症除外) 為:A.10~50 MeV B.50~100 MeV C.150~250 MeV D.250~350 MeV

57

放射線與物質作用-重荷電粒子

- 質子治療臨床運用

A

將單一能量窄的布拉格峰(Bragg peak),應用不同能量的質子束,調控成較寬可應用於腫瘤的 布拉格峰,請問這射束被稱何?

- A.SOBP(spread-out Bragg peak)
- B.CBBP(cyclotron-beam Bragg peak)
- C.SBBP(synchrotron-beam Bragg peak)
- D.MEBP(multi-energy Bragg peak)

58

放射線與物質作用

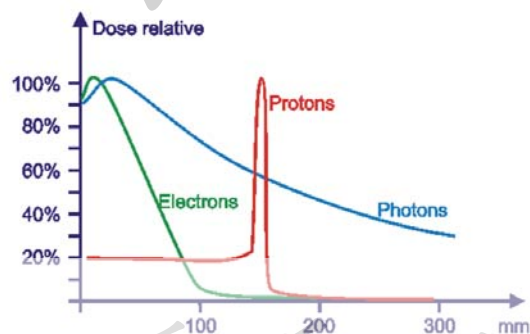
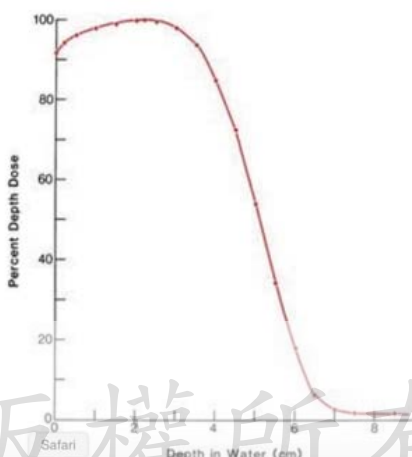
- 百分劑量深度曲線比較

D

如圖所示,下列何種輻射可在水中形成圖示之深度劑量曲線?

- A.光子 B.中子 C.質子 D.電子

102-2-47



<http://physics.stackexchange.com/questions/169663/dose-depth-curve-of-photons-vs-protons>

59

放射線與物質作用

- 百分劑量深度曲線

A 在臨床上,等劑量曲線及深度劑量分布通常藉由下列何種假體測量?A.水假體 B.擬人假體 C.氣態假體 D.壓克力假體 102-2-65

60

放射線與物質作用-中子

- 中子與物質作用主要有彈性碰撞與非彈性碰撞兩種
 - ▲ 中子與靶核行彈性碰撞，將能量轉移給靶核形成反跳核，中子能量與速度都迅速下降。對於輕的元素，主要以行彈性碰撞為主。
 - ▲ 中子與物質行非彈性碰撞，造成靶核的激發，當靶核從激發態降至基態時，將釋出 γ -ray。對於重的元素，主要以行非彈性碰撞為主。

放射線與物質作用-中子

- 快中子($E \geq 0.1\text{MeV}$)

▲ 中子質量與質子相近，約為電子的1840倍。由於質量差異，中子與電子的碰撞能量轉移低，若是與原子核發生彈性碰撞產生反跳核，能量轉移率高，且反跳核具質量且帶電，極具游離能力。

▲ 快中子也可與原子核行非彈性碰撞，例如 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 。

62

放射線與物質作用-中子

- 慢中子($E < 0.1\text{MeV}$)、熱中子(能量約為 0.025eV)反應以中子捕獲反應和核分裂為主。其中 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$ 為可運用在放射治療的硼中子捕獲治療，其產物 α 與Li的反跳核皆具有很高的游離能力。

63

放射線與物質作用-中子

- 中子捕獲截面：為原子核捕獲熱中子的機率，單位為邦(barn)，等於 10^{-24} cm^2 。此捕獲截面大約與中子速度一次方成反比。其中中子的速度又與其能量的 $1/2$ 次方成正比。

$$\text{反應截面(邦)} \propto 1/V ; V \propto E^{1/2}$$

利用此關係可求得不同能量的中子，其反應截面的變化。

64

放射線與物質作用-中子

- 中子屏蔽
 - ▲ 第一層：目的為減速快中子。減速快中子的方法為使其與低原子序物質進行彈性碰撞。例如水、塑膠、石蠟。
 - ▲ 第二層：目的為捕獲減速後的中子。因此須選擇捕獲截面大的材質。例如鎘、硼、氬等。
 - ▲ 第三層：目的為阻擋中子捕獲反應後所產生的高能 γ -ray。因此須選用高原子序物質。

高 放射治療原理與技術學

第三章 點

1

建 主題

- 細胞存活曲線
- 細胞週期
- 氧效應

國

【版權所有，翻印必究】

2

細胞存活曲線

- 對於低LET的放射線而言，每1Gy的劑量，就會造成細胞約1000個鹼基傷害、1000個單股斷裂、與大約20-40個的雙股螺旋斷裂。其中，雙股斷裂為細胞致死的主要傷害。
- 細胞是否真正死亡，往往須藉由其是否有形成一個群落(colony)的能力，來判斷其繼續增生(proliferate)的能力是否完整。

3

細胞存活曲線

- D 每個哺乳類細胞接受一個 D_0 的輻射劑量,約會產生若干個雙股斷裂?
A.>1000 B.1000 C.92 D.40

每1Gy的劑量，就會造成細胞約1000個鹼基傷害、1000個單股斷裂、與大約20-40個的雙股螺旋斷裂。其中，雙股斷裂為細胞致死的主要傷害。

細胞存活曲線

- 對於分化完全的細胞(神經、肌肉細胞等)，因其已經沒有繼續增生的能力，因此判斷是否死亡的方式為判定其特定的生理功能是否還在。要造成此種細胞死亡，約需要100Gy的劑量。
- 對於分裂中的細胞(proliferating cells)言，判定其是否死亡即是看其增生能力是否還在，若無法繼續繁殖形成一個新的群落，即稱為繁殖死亡(reproductive death)。致死劑量約小於2Gy。

5

細胞存活曲線

- 細胞存活曲線是一條縱軸為細胞存活分率、橫軸為劑量(可以是輻射劑量、藥物劑量等)的曲線。大多由體外的clonogenic assay得到。

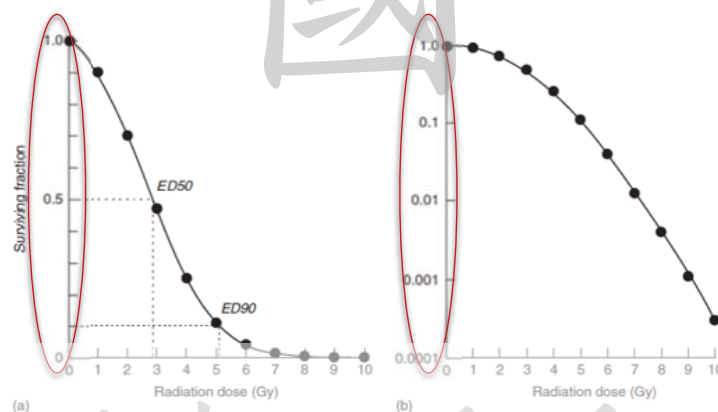


Figure 4.3 A typical cell survival curve for cells irradiated in tissue culture, plotted (a) on a linear survival scale. (b) The same data plotted on a logarithmic scale.

Michael Joiner and Albert van der Kogel (2009), Basic Clinical Radiobiology (4th ed), HODDER ARNOLD, P43

細胞存活曲線

- Clonogenic assay：利用細胞體外培養的方式，檢驗細胞是否仍保留增生或繁殖能力的試驗。
- 繁殖死亡 (Reproductive death)：其定義為細胞失去繁殖的能力，但細胞未必真的死亡，其外在可能仍存在且可被觀察到，甚至能完成一至二次分裂。
- 存活 (Survival)：細胞仍保有不斷繁殖能力，有能力形成一個群落 (colony)
- Colony：大於50個細胞聚集在一起的群落稱之，約是單一細胞有能力複製五至六次，形成一個可見的群落，即稱此細胞為存活的細胞。

7

細胞存活曲線

- 種植效率(PE)：在沒有輻射劑量下，種入培養皿的細胞數，數天後長成群落的分率。

$$PE = \text{觀察到的群落數} / \text{植入細胞數} * 100\%$$

例：初始時將100個細胞植入培養皿中，數天後(依不同細胞而定)，長成80個群落，則種植效率為：

$$PE = 80/100 * 100\%$$

細胞存活曲線

- 存活分率(S)：照射輻射後，觀察到的群落數與種入細胞數和PE乘積的分率。

$$S = \text{觀察到的群落數} / \text{植入細胞數} * \text{PE}$$

例：初始時將1000個細胞植入培養皿中，經4Gy照射後僅觀察到36個群落(已知種植效率90%)，試求存活分率

$$S = 36 / 100 * 90\% = 4\%$$

9

細胞存活曲線

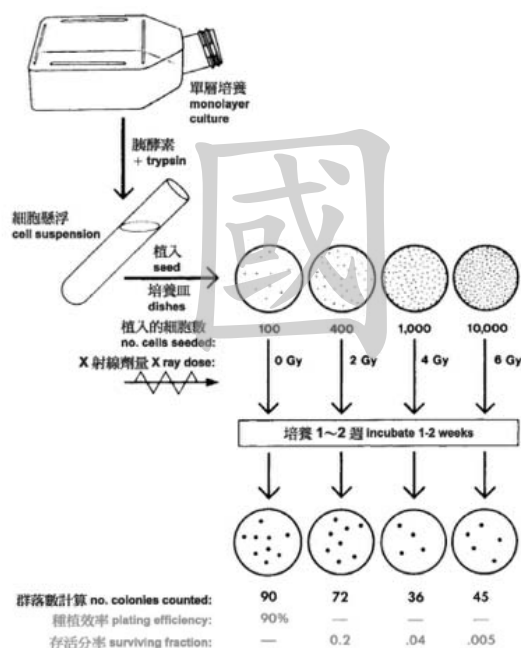


圖 3.2。獲得細胞存活曲線所需的細胞培養技術。利用胰酶將細胞分成單細胞懸浮液，並計算細胞濃度。再將已知數目的細胞植入培養皿去接受照射，並培養至巨觀的群落形成。存活分率即為長成的群落數比上植入細胞再除以 PE 校正的數目比值（如：即使沒有照射放射線，並非所有植入的細胞都可以長成群落）。

細胞存活曲線

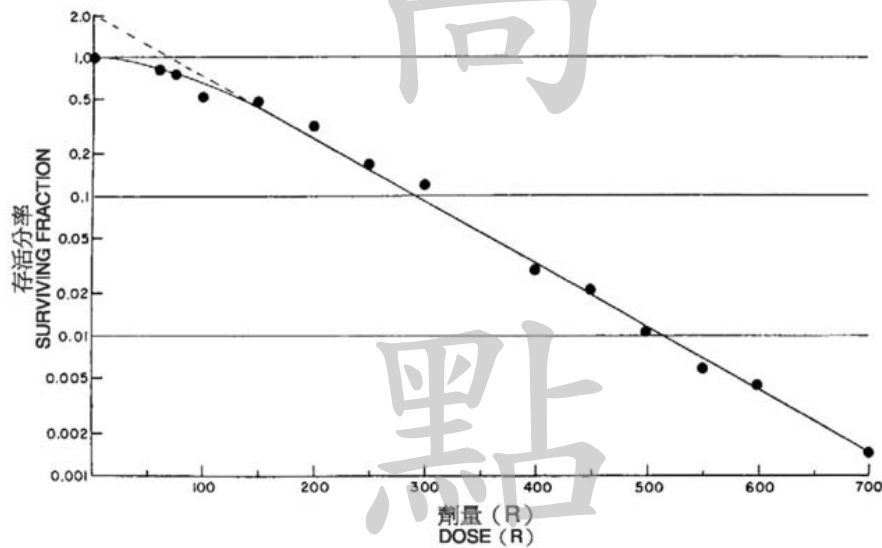


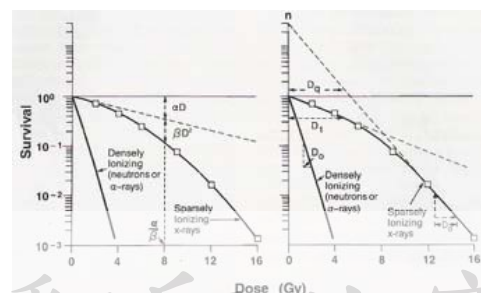
圖 3.6 • 以 X 射線照射 HeLa 細胞所得的存活曲線圖，肩部小為其特色。(From PuckTT, Markus PI : Action of X-rays on mammalian cell. J Exp med 103:653-666, 1956, with permission.)

11

洪世凱、黃正仲等 (2013)。分子輻射生物學 (第二版)。藝軒出版社。P44

細胞存活曲線

- α 粒子和低能中子(緻密的游離輻射)的細胞殘存曲線，在log-linear 圖上呈一直線，表示其殘存是與劑量呈指數關係
- x-ray或 γ -ray (稀疏的游離輻射) 的細胞殘存曲線，有一個起始斜率，接著為一個肩部(shoulder)，其後再高劑量區會趨向一直線。



Eric J. Hall, Amato J. Giaccia(2006): Radiobiology for radiologist(6th ed). Lippincott Williams & Wilkins. P34

12