

國泰綜合醫院 放射師/輻射防護教育課程



放射科學 在不同領域的應用

許世明 教授/主任/輻防師
國立陽明大學 生物醫學影像暨放射科學系
游離輻射防護講習班



中華民國108年10月19日



Brief History of Radiological Physics

- **1895:** Discovery of x-rays by Wilhelm Conrad Roentgen.
- **1896:** Application of x-rays to diagnosis & therapy.
- **1896:** Discovery of radioactivity by Henri Becquerel.
- **1898-1902:** Discovery of polonium & radium (radioactivity) by Pierre Curie.
- **Early 1900:** Application of radioactivity to therapy.
- **1931:** Van de Graff machine (up to ~ 2 MeV)
- **1940s:** Betatrons
- **1950s:** Co-60 units
- **1960s:** Microwave powered linear accelerators (Linacs)

2

The discovery of x-rays

Wilhelm Conrad Röntgen (1845~1923) discovered the x-rays on **November 8, 1895** at the Physics Institute of the University of Würzburg, Germany.

This new radiation could penetrate opaque substance, produce fluorescence, blacken a photographic plate, and ionize gas. It is a form of electromagnetic radiation.



3

The Nobel Prize in Physics 1901
Wilhelm Conrad Röntgen

Share this: 67

The Nobel Prize in Physics 1901



Wilhelm Conrad Röntgen
Prize share: 1/1

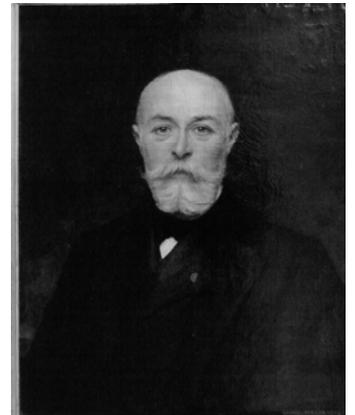
The Nobel Prize in Physics 1901 was awarded to Wilhelm Conrad Röntgen "in recognition of the extraordinary services he has rendered by the discovery of the remarkable rays subsequently named after him".

4

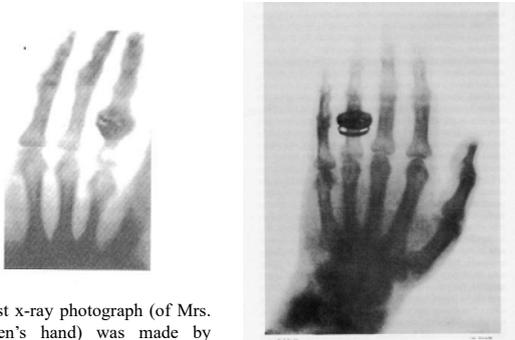
The discovery of radioactivity

Henri Becquerel (1852~1908) discovered the radioactivity in **March, 1896**.

First discovered by Becquerel in 1896, radioactivity is a phenomenon in which radiation (α , β , or γ) is given off by the nuclei of the elements.



6



The first x-ray photograph (of Mrs. Roentgen's hand) was made by Roentgen at Dec. 22 1895.

Hand des Anaxenon Gehörtrah von Kölliker in Würzburg.
Die Photographie wurde am 22. December 1895.
am 1. Februar 1896 in der Physikalisch-medizinischen Gesellschaft in Würzburg.
Publiziert von W. C. Röntgen.

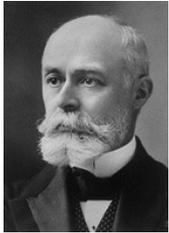
FIG. 3. The "x-ray" of professor A. Kölliker's right hand taken by Röntgen before the Physikalisch-medizinische Gesellschaft in Würzburg on January 23, 1896, included in the pre-print of Röntgen's first communication.¹⁷

5



The Nobel Prize in Physics 1903

800萬瑞典克朗的合93萬美元



Henri Becquerel (1852-1908)



Pierre Curie (1859-1906)



Marie Curie (1867-1934)



自2014年起，唐獎每兩年頒發乙次，提供每一獎項獎金新台幣4,000萬元整，並提供得獎人研究補助費新台幣1,000萬元。每屆每一獎項之得獎人最多為三人。如有二位以上的得獎人，獎金及獎勵研究補助費將共享之。



The Nobel Prize in Physics 1903

Share this: [social media icons]

The Nobel Prize in Physics 1903



Antoine Henri Becquerel
Prize share: 1/2



Pierre Curie
Prize share: 1/4



Marie Curie, née Skłodowska
Prize share: 1/4

The Nobel Prize in Physics 1903 was divided, one half awarded to Antoine Henri Becquerel "in recognition of the extraordinary services he has rendered by his discovery of spontaneous radioactivity", the other half jointly to Pierre Curie and Marie Curie, née Skłodowska "in recognition of the extraordinary services they have rendered by their joint researches on the radiation phenomena discovered by Professor Henri Becquerel".

輻射是什麼？

■ 輻射就是能量轉送的一種方式

- 投石入水——可見的能量轉遞過程
- 無線電波——不可見的能量轉遞過程

- X
- γ
- n
- α
- β



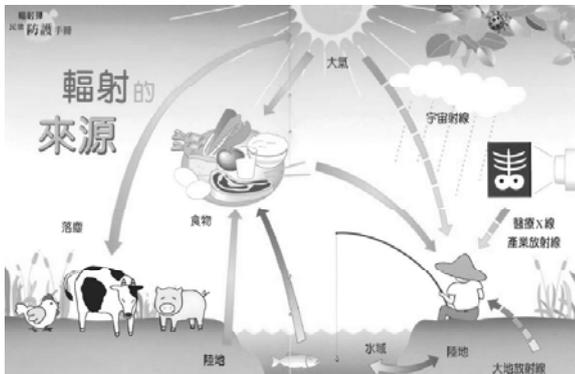
不可見也不能感覺的游離輻射

輻射是什麼？

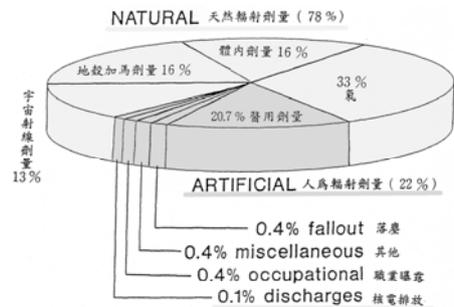
■ 輻射的特性

- 輻射源——輻射由輻射源產生
 - ^{60}Co , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 射源, X光機。
- 輻射場——有輻射存在的地方
 - ^{60}Co , 照射器, X光室。
 - 輻射源被移走或關閉後, 輻射及輻射場也隨之消失。
- 游離輻射——能量較高, 可產生游離作用的輻射。
- 輻射場+人→輻射劑量 (戈雷, Gy)

游離輻射的來源



游離輻射的來源



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
全世界人口平均背景輻射與醫用輻射分配圖

自然背景輻射來源

游離輻射防護法:第二條

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。

13

宇宙射線

■ 高度變化

上升1500公尺，劑量率約增加一倍
二次宇宙射線的尖峰值約在海拔20公里處

■ 緯度效應

台灣 3.1 $\mu\text{R}/\text{h}$
日本 3.4 $\mu\text{R}/\text{h}$
美國 3.7 $\mu\text{R}/\text{h}$

14

來自地殼的輻射

土壤

地表輻射的直接來源是土壤，土壤中主要含有鈾、釷衰變系列及鉀-40等天然放射性核種。

表 11.2 土壤中放射性核種造成的劑量

放射性核種	土壤中平均濃度與分佈範圍 (貝克/千克)	土壤中每單位放射性濃度對空氣的吸積劑量率 (10^{-10} 戈雷/時每貝克/千克)	地上 1 m 高處空氣吸積劑量率分佈範圍 (10^{-8} 戈雷/時)
(a) ^{40}K	370(100—700)	0.43	1.6 (0.4—3.0)
(b) ^{238}U	25(10—25)	4.27	1.7 (0.4—2.1)
(c) ^{232}Th	25(7—50)	6.62	

* (b)(c)假設與子核成放射性平衡

15

游離輻射的來源

■ 正常背景輻射源，對人類造成的年有效劑量評估值(mSv)

射源	體外照射	體內照射	總值(mSv)
	0.300	0.015	0.315
	0.120	0.180	0.300
		0.006	0.006
	0.090	0.950	1.040
	0.140	0.190	0.330
總值	0.650	1.341	1.991

• 台灣地區人民年有效劑量約1.62 mSv (32張 chest X-ray)

16

游離輻射的應用

醫學：

核子醫學、X光診斷、放射腫瘤治療、心導管檢查。

農業：

育種滅菌、抑制發芽、動植物新陳代謝、地下水向。

工業：

液位儀、密度儀、測厚儀、自動控制流量、測漏與磨損、滅菌高分子聚合、環保應用(廢氣、廢水、污泥處理)。



17

游離輻射的應用

研究機構：

示蹤、品種改良，反應機制研究、基因工程、化學反應分析。

非破壞檢測：

工業照相檢測、品保檢驗。

軍警：

毒氣偵檢、夜視、照相檢驗、行李及貨櫃檢查、爆裂物及毒品檢測。

能源：

核能發電、核融合。

18

密封放射性物質

- 定義：
- 密封在包殼或緊密覆蓋層裡的放射性物質。該包殼或覆蓋層應具有足夠的強度，使之在設計上的使用條件和正常磨損下，不會有放射性物質散失出來。

19

密封放射性物質種類

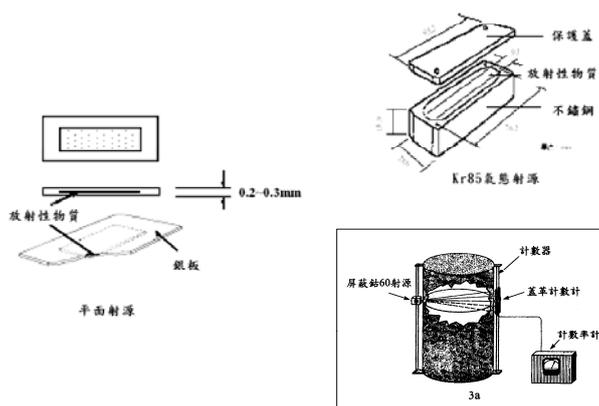
- 以種類區分，計有阿伐、貝他、加馬、中子和低能量光子射源。
- 以幾何形狀區分，有點狀、線狀、面狀、圓柱狀、圓環狀。
- 以活度的精確度區分，有核對級(check)、操作級、參考級、標準級等不同級別的放射性物質。
- 以用途區分，有醫學應用、工業程序控制用、工業照相用、加馬照射用、輻射儀表用、離子發生器用、放射測量用。

20

密封放射性物質的應用

- 阿伐射源：煙霧警報器、靜電消除器、避雷器的離子產生器，Ex: ^{210}Po 、 ^{238}Pu 、 ^{239}Pu 、 ^{241}Am 、 ^{235}U 、 ^{238}U 。
- 貝他射源：測厚計、標誌發光體、離子產生器、參考射源或操作級射源。
- 低能量加馬或X光：X光螢光分析儀、厚度計、密度計。
- 加馬射源：廣泛用於工業、農業、科學研究等。

21



22

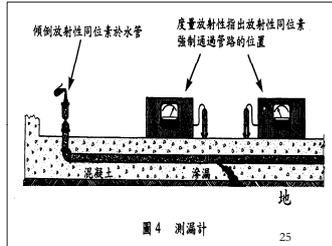
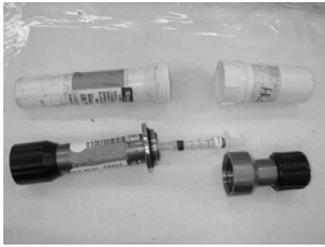
非密封放射性物質

- 定義：
- 液態或氣態放射性物質常不加密封而直接用為示蹤劑，稱為非密封放射性物質。
- 使放射性物質直接與周圍環境的介質接觸。

23

- 非密封放射性物質如使用不當，則有可能造成擴散和污染，因此常選擇使用短半衰期且低活度的核種。
- 假如放射性物質大量的轉移到工作場所或環境中，不但造成工作場所放射性污染，還要產生大量的放射性廢棄物，使環境媒質中帶有放射性物質。
- 使工作人員將其攝入，甚至使居民也可能攝入放射性物質。
- 從事非密封放射性物質操作，必須加倍重視這類操作的輻射防護工作。

24



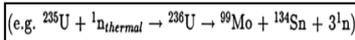
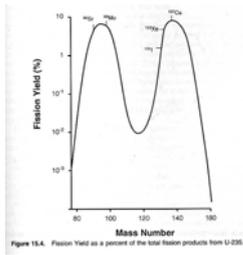
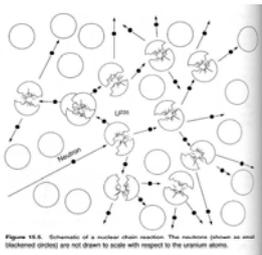
密封放射性物質：核對射源

Co-60 治療機的密封射源



游離輻射的應用

能源：核能發電



游離輻射的應用

能源：核能發電 $^{235}\text{U} + n = ^{236}\text{U} + 200 \text{ MeV}$



貨櫃檢查儀設備介紹

貨櫃用X光檢查儀

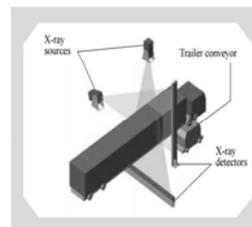


Fig. 3—Schematic of Container Inspection Equipment Used in Past. A trailer conveyor in an underground pit was fixed to a truck's front wheels for pulling the truck and trailer forward.

利用射線穿透貨櫃，detector接收不同強度之訊號，形成即時影像以檢查貨櫃內部。

1. X-ray Pulse Beam
能量範圍: 2MeV~10MeV
2. γ -ray
Co-60: 1.25MeV (平均能量)

三個方向：垂直、水平、斜向
欲照時，開啟對應的detectors

貨櫃儀器介紹

設備移動性區分有固定式、半固定式與機動式

- 固定式(作業場有建物屏蔽、X射線能量達6MeV以上)
- 半固定式(作業場有屏蔽式及開放式兩種，均可拆卸後另地組裝，屬中高能X射線，能量2.5MeV以上)
- 機動式(作業場屬開放式，適中低能量，X射線能量在4.5MeV以下)

31

固定式



32

半固定式



33

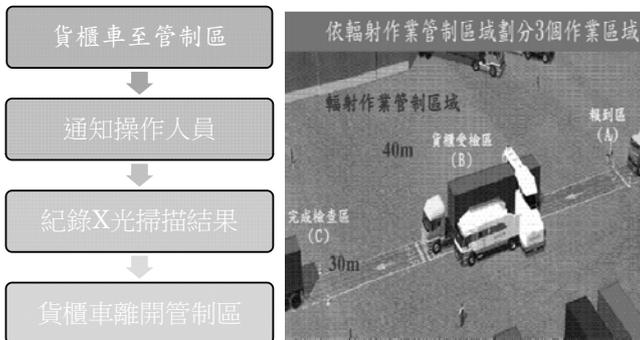
機動式



機動式貨櫃檢查儀

34

海關X光檢查流程



35

無死角掃描



36

貨櫃X光儀器影像

X光穿透貨物，不同密度的物質在影像上有深淺之分。射線能量從2MeV至10MeV。



各活動所受輻射劑量與貨櫃掃描之數量對照表

資料來源-核能研究所86年7月份發行之輻射與健康、全國核子事故處理委員會印製之核子防護手冊及財團法人核能資訊中心97期簡訊

從事活動所受之輻射劑量	相當於站在管制區邊緣上掃描貨櫃數量
搭飛機從台北到高雄來回1趟	10只
搭飛機從台北到紐約來回1趟	3千餘只
看電視1年	4百餘只
接受1次胸部X光照相	6千餘只
接受1次胃部X光照相	8萬餘只
接受1次鈾六十治療	4166萬餘只

38

機場相關 X光設備

設備介紹分析

- 1.設備設置原則
- 2.安檢流程設備分析



39

40

機場&空運X光

客機貨櫃之X光

1. 客機貨櫃之X光
2. 旅客常見之X光
3. 機場內勤區X光

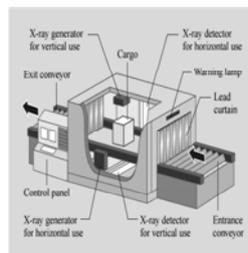
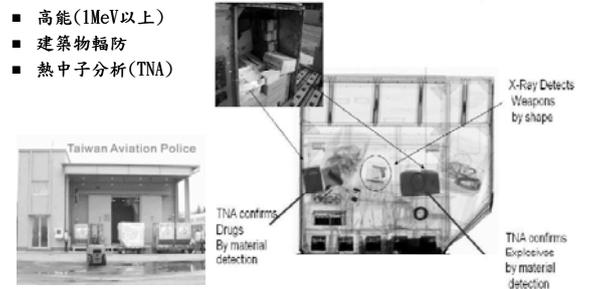


Fig. 5—X-ray DR Equipment for Inspecting Cargo.
Cargo is inspected vertically and horizontally using X-rays.

41



42

旅客常見之X光

- 行李-fluoroscopy
- 旅客-backscatter



43

機場內勤區之X光

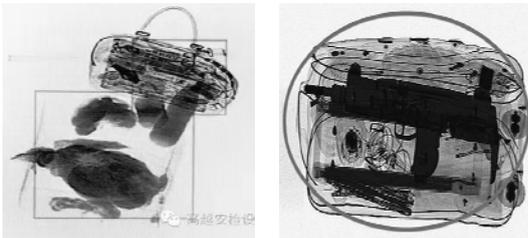
- ECAC Standard 3 (since 2012)
- Real Time Tomography



44

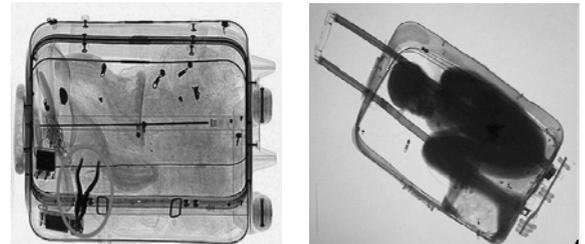
機場內勤區之X光

- 色彩剖析法



機場內勤區之X光

- 色彩剖析法



46

行李檢查儀-CT Scan

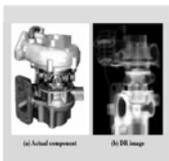
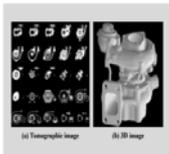
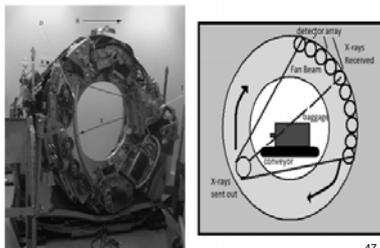


Fig. 6—Examples of DR Images of Automobile Component
The DR image shows overlapping, much less 3-ray images do.



Fan Beam 及 Multi-detector對物體進行多切面的造影，能提供較清楚且能避免如DR影像上的重疊影像。



47

檢疫

48

X 光自動化檢疫系統

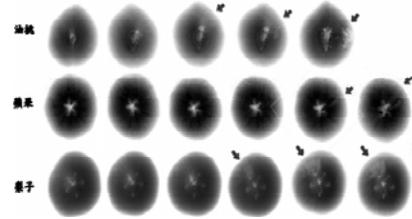
- X光透視影像分析技術
- 設計專用的X光機
- 建立自動化檢測系統



49

檢測

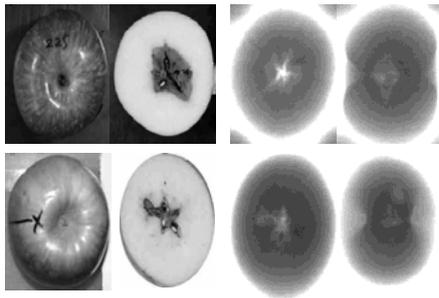
- X 光影像的黑白灰階程度可呈現出水果內的密度差異
- 蟲害檢測：



50

檢測

- 病害檢測：



51

輻射異常物理處

- 原能會為防止國內生產之鋼鐵材遭受輻射污染，自84年起即輔導設有熔煉爐之鋼鐵廠建立輻射偵檢能力，由上游開始建立防範管理機制
- 92年修正發布「放射性污染建築物事件防範及處理辦法」，以法規命令強制要求設有熔煉爐之鋼鐵廠應向原能會申請輻射偵檢作業認可後，方得對其產品開具無放射性污染證明

52

- 鋼鐵廠車輛自動輻射偵測系統
- 國外進口廢鐵貨櫃輻射偵測
- 國內回收業者廢鐵貨車輻射偵測
- 產品出廠輻射偵測
- 偵測到輻射異常發出警報
- 國內外廢鐵貨櫃、貨車卸貨
- 搜尋輻射異常物

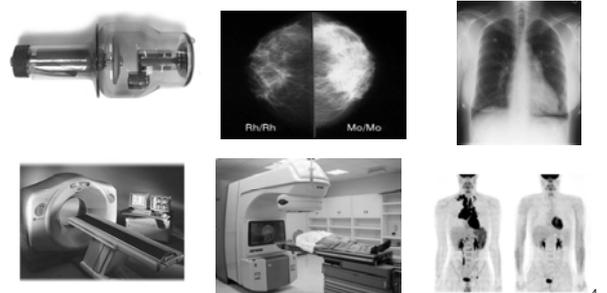


53

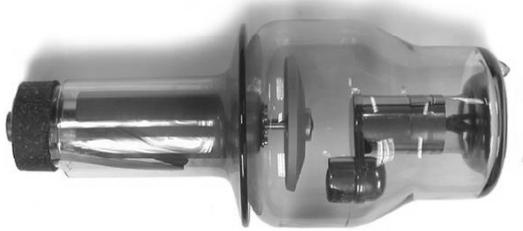
游離輻射的應用

醫學：

X光診斷、放射腫瘤治療、核子醫學



54



55

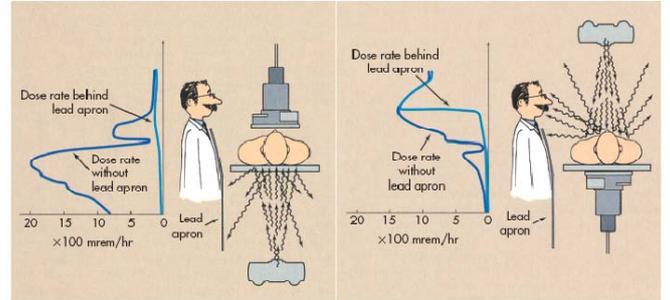


FIGURE 40-1 Scatter radiation during portable fluoroscopy is more intense with the x-ray tube over the patient. (Courtesy Stephen Balter, Columbia University Medical Center.)

56

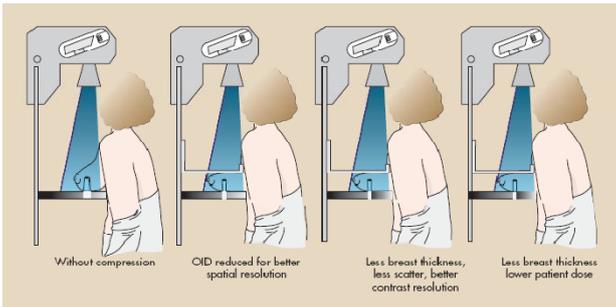


FIGURE 19-12 Compression in mammography has three principal advantages: improved spatial resolution, improved contrast resolution, and lower patient dose.

57

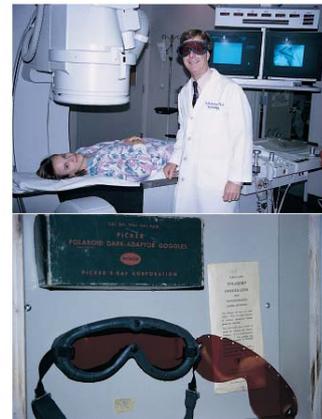


FIGURE 21-4 Red goggles were used to dark-adapt for conventional screen fluoroscopy. This radiologist is back to the

58



6 Gy (600 rad) for main erythema

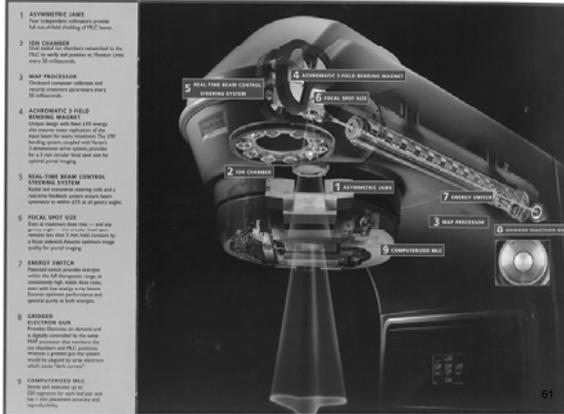
59

Cobalt-60 Teletherapy Unit

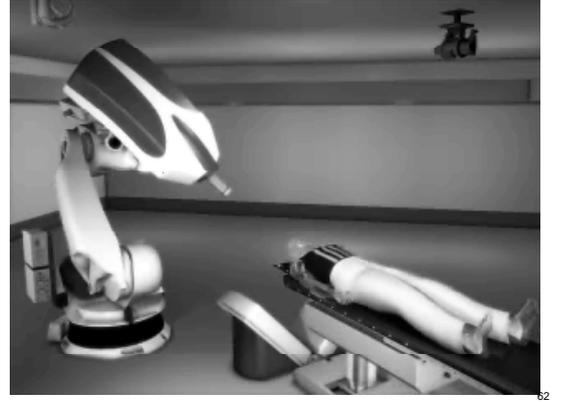


60

Complete electron accelerating system



Synchrony System Demonstration



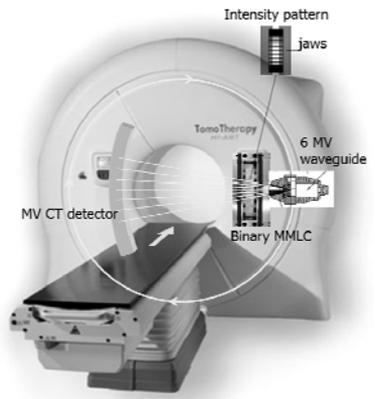
IGRT



KVCT

63

Tomotherapy

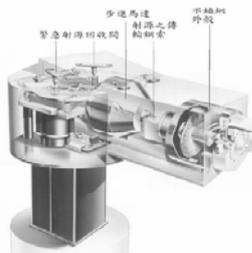


tomo

64

Brachytherapy

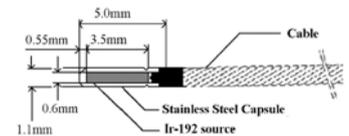
Iridium-192 sources



65

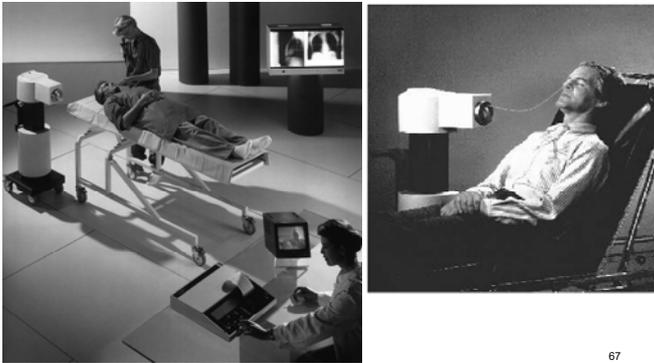
•Afterloading

Iridium-192 sources



66

Radiation Therapy Equipment



67

核子醫學

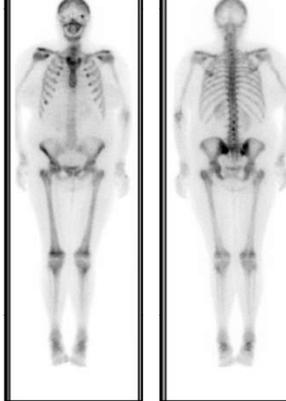
Nuclear Medicine

- 單光子放射斷層掃描
Single Photon Emission Tomography, SPECT
- 正子斷層掃描
Positron Emission Tomography, PET

68

SPECT

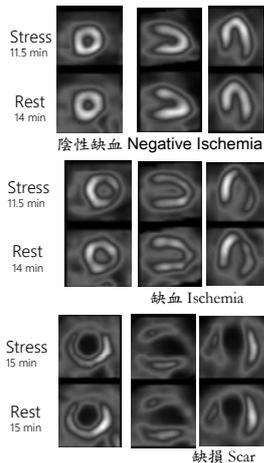
²⁵Mi Tc99m-MDP Planar Bone Scan



Ant 15 min.

Post 15 min.

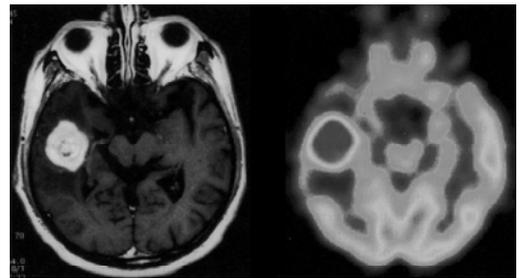
69



PET

MR T1-weighted image
(post-gadolinium)

FDG-PET



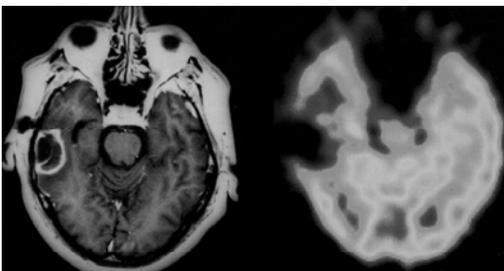
A 63-year-old patient with a right temporal astrocytoma III. The FDG uptake in the tumor is markedly increased when compared to that of contra lateral cortex. The PET image is calibrated to its own maximum.

70

PET

MR T1-weighted image
(post-gadolinium)

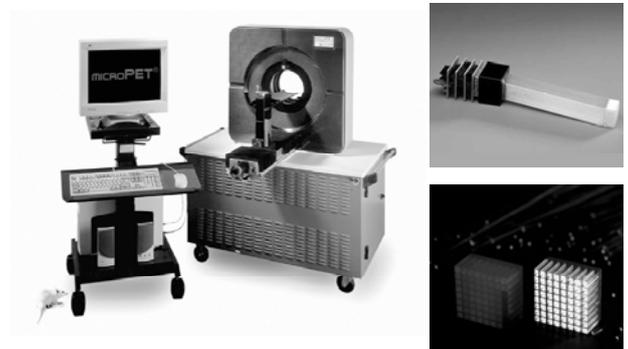
FDG-PET



A 63-year-old patient with radio-necrosis. The contrast-enhancing necrosis is hypometabolic.

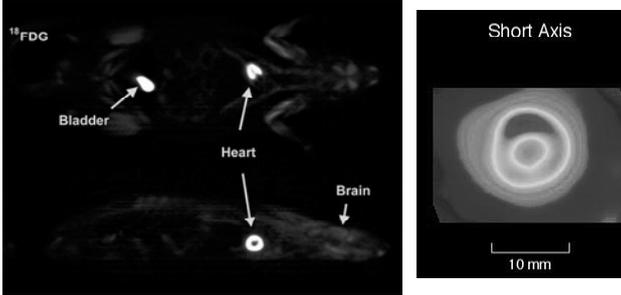
71

Small Animal PET Systems



72

MicroPET Systems



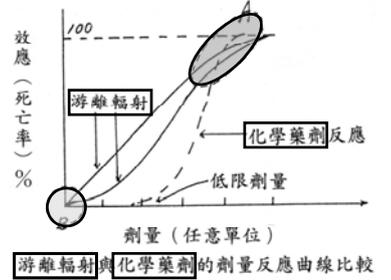
Coronal and sagittal tomographic sections through an 850-g rat, 2 h after injection of 118 MBq [¹⁸F]FDG. Note soft tissue and myocardial uptake indicating glucose metabolic rate

游離輻射傷害人體的原因

(A) 高劑量區

--- 確定效應

- 傷害效應的發生，其需要的劑量必須多過低限值，劑量愈大，傷害效應愈嚴重。

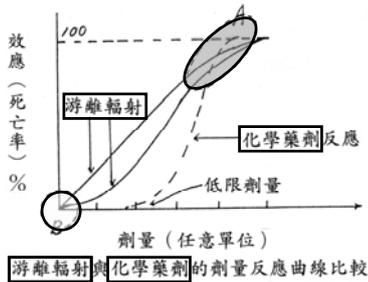


游離輻射傷害人體的原因

(B) 低劑量效應區

--- 機率效應

- 由高劑量效應依直線無下限論 (Linear non-threshold theory), 推論而得, 無實驗數據證實。
- 機會率的正確性與取樣數目有關, 取樣數目愈小, 不確定性愈大。(有隨機性)



游離輻射傷害人體的原因

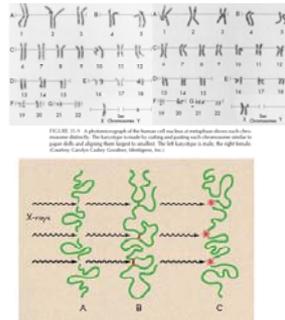
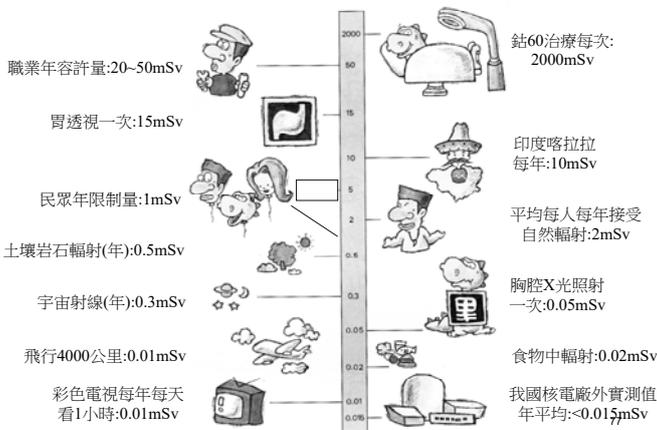


FIGURE 14.1 The results of irradiation of macromolecules. In A, Main-chain scission, B, Cross-linking, C, Point lesions.

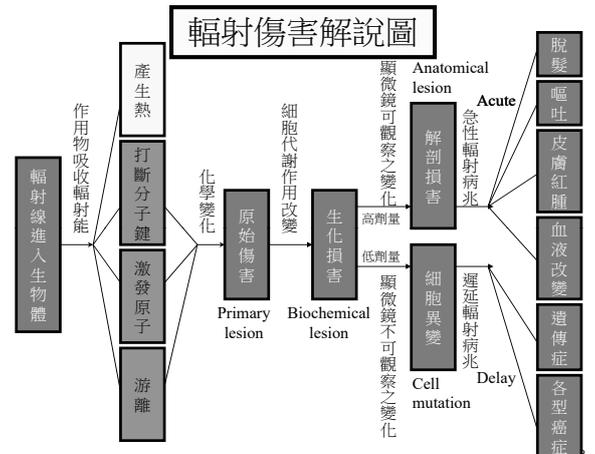


FIGURE 14.2 Chromosome damage in an irradiated human cancer cell. (Courtesy Neil Wald, University of Pittsburgh.)

各種輻射劑量比較



輻射傷害解說圖



游離輻射全身體外照射傷害之一般症狀

一次劑量(西弗, Sv)	一般症狀說明
	無可察覺症狀, 但遲延輻射病的產生仍可能發生。
	能引起血液中淋巴球的染色體變異。
	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, 但不致發生機能之影響。
	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。
	24小時內會噁心、嘔吐, 數週內有脫髮、食慾不振、虛弱、腹瀉及全身不適等症狀可能死亡。
	與前者相似, 僅症狀顯示的較快, 在2-6週內死亡率為50%。
	若無適當醫護, 死亡率為100%。

79

游離輻射全身體外照射傷害之一般症狀

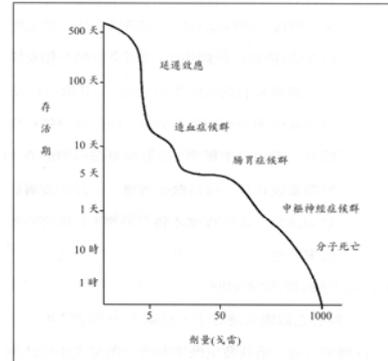


圖 3.9 急性傷害存活期與劑量的關係

80

游離輻射防護方法

體外曝露的防護原則

時間

縮短曝露時間及等候射源強度衰減

距離

遠離射源

屏蔽

用屏蔽物質把輻射擋住



81

游離輻射防護方法

屏蔽

- α : 不足構成體外危害, 無須屏蔽。
- β : 宜用較輕物質, 因可減少制動輻射的產生。
- γ : 宜用鉛等高原子序物質, 但須注意其康普吞散射。
- 中子: 含氫多的物質(水, 塑膠, 石蠟等)為宜, 水泥及石墨亦為常使用者。

82

游離輻射防護方法

體內曝露的防護

放射性物質侵入體內的途徑

- 吃入
- 吸入
- 經由外傷傷口侵入
- 經由無外傷的皮膚吸收



83

游離輻射防護方法

體內曝露的防護

避免在可能有放射性物質污染的區域內飲食、吸菸, 並於工作後及飯前洗手, 即可防止吃入。如有外傷, 不在污染區工作, 不從事有放射性物質之工作, 平日工作時必戴手套, 即可防止經由傷口侵入。至於防止吸入及經由完整皮膚吸收, 則須適當時機戴面具與穿塑膠衣。

84

游離輻射防護方法

體內曝露的防治

放射性物質一旦入侵體內後，即每分每秒一直影響著器官和組織，不可能增加距離或加設屏蔽，也不可能等候其衰變或任何方式減短其放射半衰期。故如欲減低體內曝露，除可以設法減少吸收外，增加排洩或防止滯留，以減短生物半衰期，從而減短有效半衰期。

85

輻射曝露的防護

自我防護法

- 面具
- 防護衣
- 自行偵檢
- 長柄工具
- 安全習慣



86

輻射曝露的防護

自我防護法

把可能受到污染的衣服換掉，置於密封袋中，交給主管機關處理。

不要食用暴露於輻射污染區內之食品及飲用水，以免造成體內污染。

以淋浴方式沖澡，可有效清除身上可能帶有輻射的塵土。



87

結語

- 善用輻射→利多於弊。
- 游離輻射為造物者賜給人類的財富，善加利用，無須恐輻。
- 火可取暖，亦可成災；水可載舟，亦可覆舟。
- 了解輻射會安心，健康過日子。

88

Thank You For Your Attention



89