

醫學影像簡介 (一)

Medical Imaging I

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

放射診斷影像簡介：

X 光相關技術

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

X 光的發現

- 倫琴 (Roentgen WC) : Nov, 1895
 - 低壓游離氣體導電的偶然發現
 - 暗室中的螢光屏曝光
 - 「肉體透明、但骨骼不透明」

X 光的發現者



倫琴 (1845-1923)

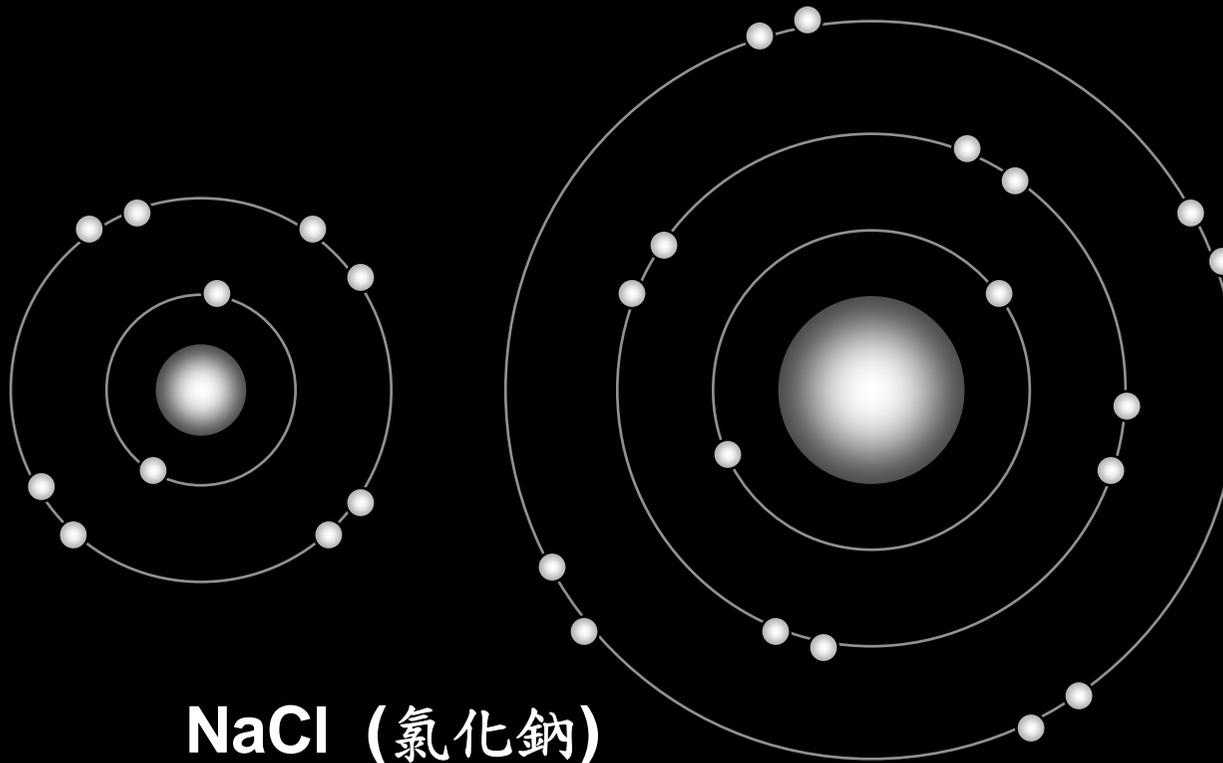


倫琴夫人的手

什麼是 X 光？

- 極短波長的電磁波 (~ angstrom)
- **Angstrom** : 大約原子大小等級
- 在此尺度下，物質的大部分是空的
- 大部分都會穿透，除非與物質作用

簡單的原子模型



「物質」的大部分都是空的

為什麼骨骼「不透明」？

- 人體組織成分：H、C、O ...
- 骨骼：P、Ca ...
- 原子序高，電子多，與 X 光作用機會大，因此 X 光穿透較少 (待敘)

典型的 X 光影像



頭顱 (頭骨)

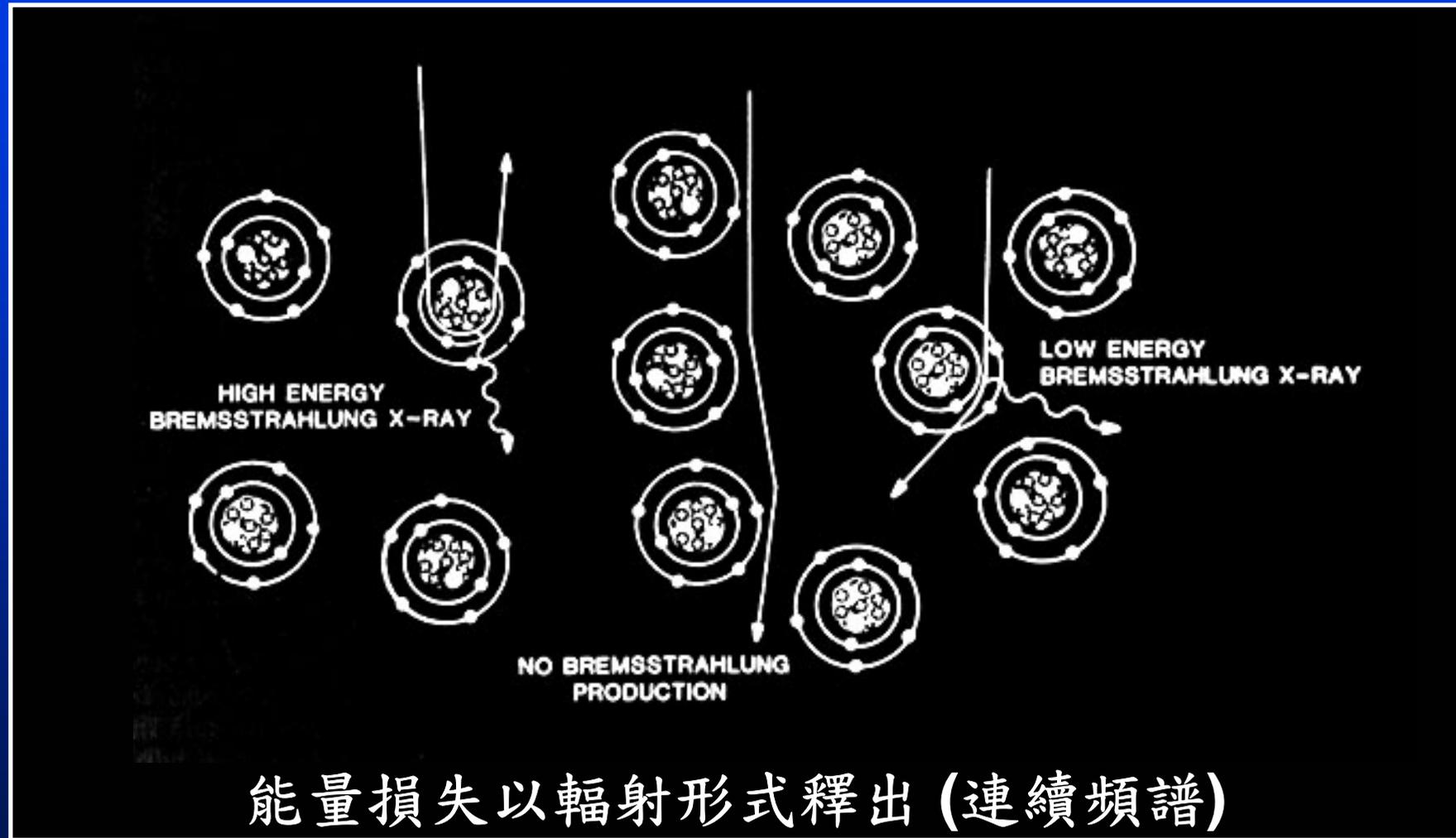


人工植入物

如何產生 X 光？

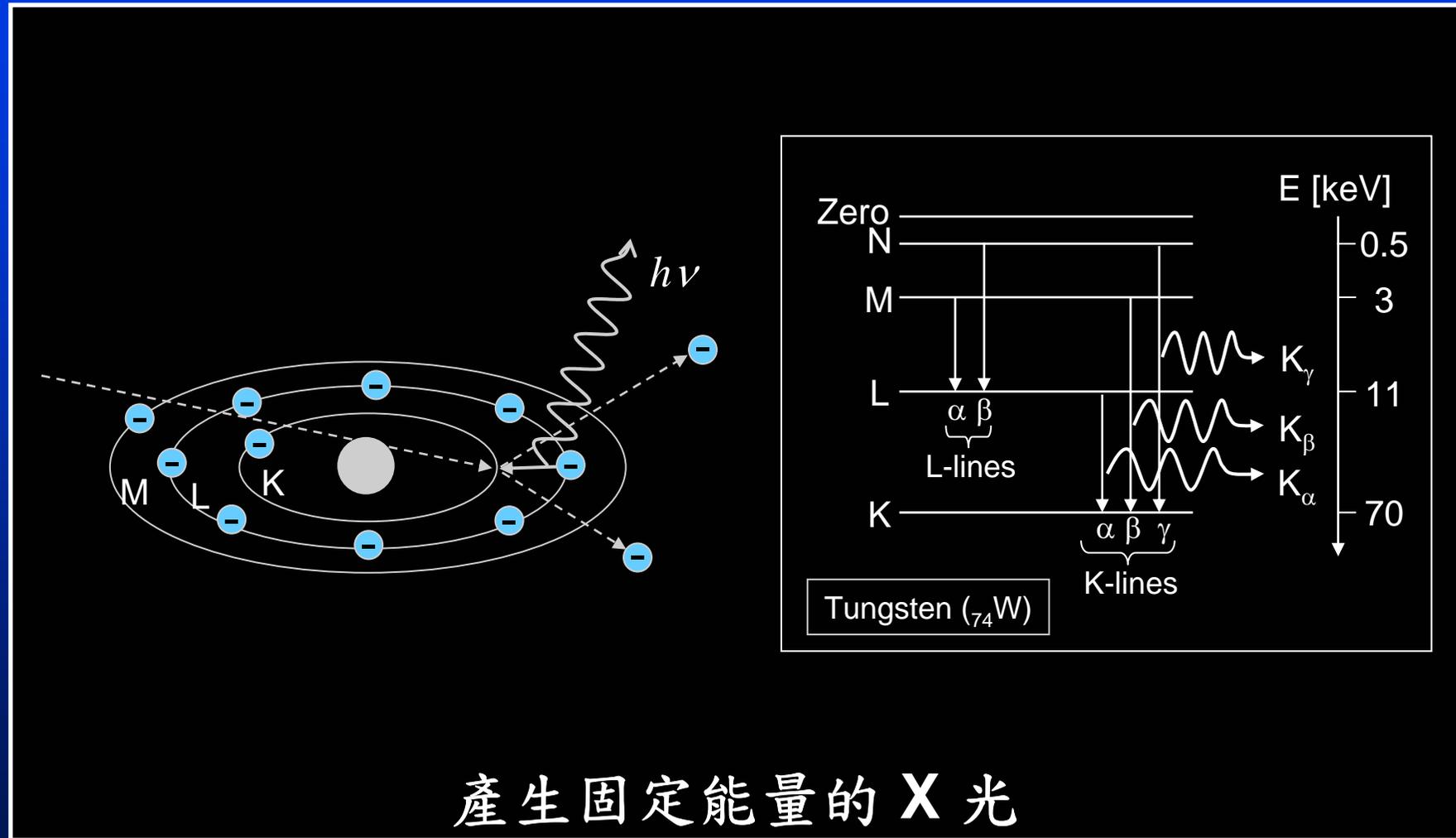
- 只要使高速電子瞬間減速即可
 - 動能損失以電磁波形式釋出
 - **Bremsstrahlung (煞車效應)**
- **特性輻射 (characteristic radiation)**

煞車效應 (Bremsstrahlung)

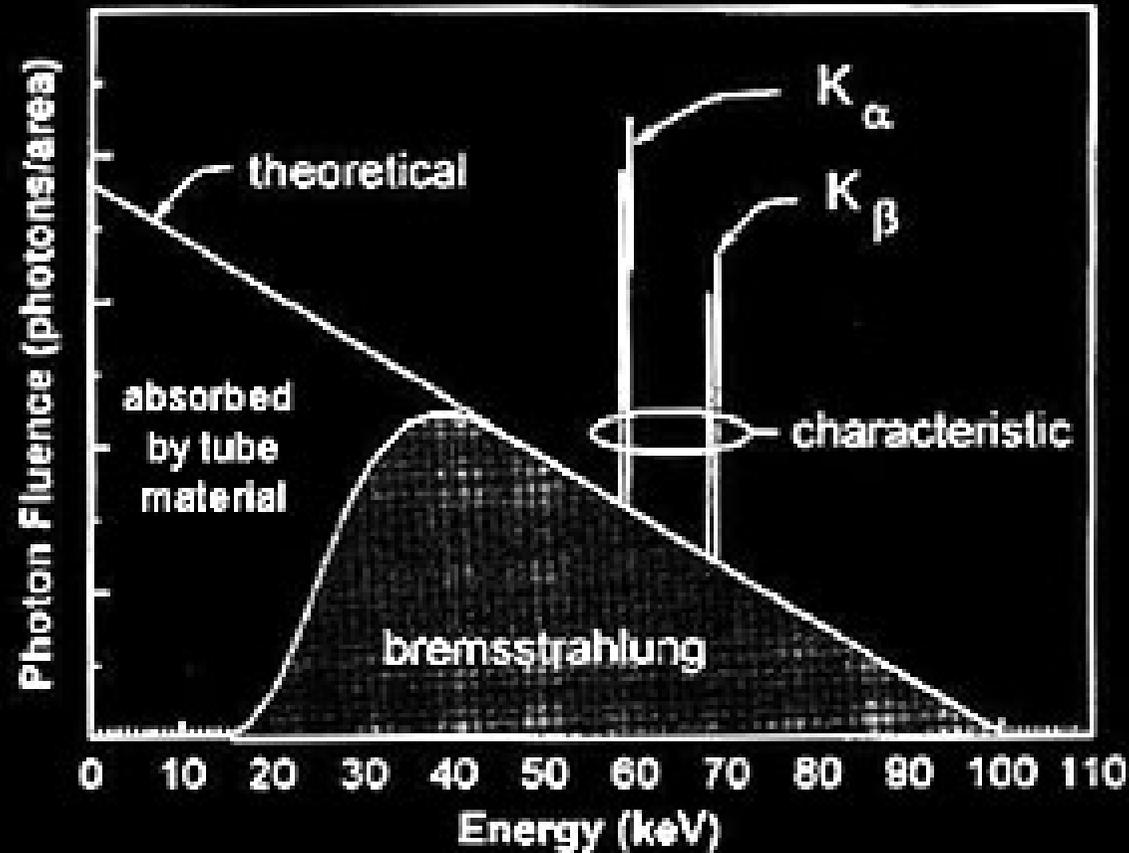


能量損失以輻射形式釋出 (連續頻譜)

Characteristic Radiation



煞車效應加特性輻射的 X 光頻譜

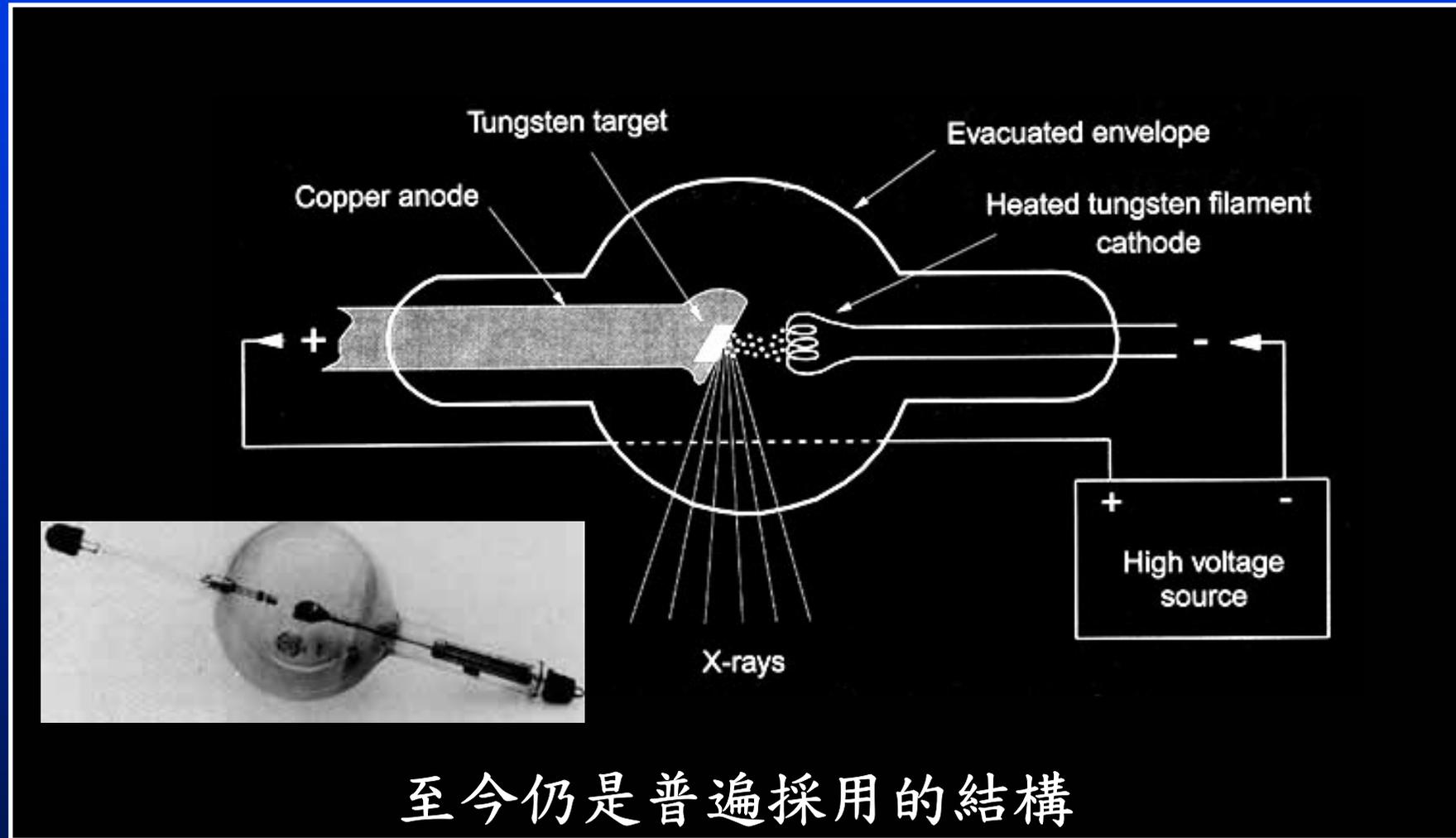


都可做為醫學檢查使用

產生 X 光的儀器

- **Collidge WD (1913) : 熱陰極管**
- 高倍真空管高壓加速熱電子
- 電子撞擊鎢靶產生 X 光
- 仍舊是今日臨床儀器所採用的架構

Hot Cathode X-ray Tube 原理

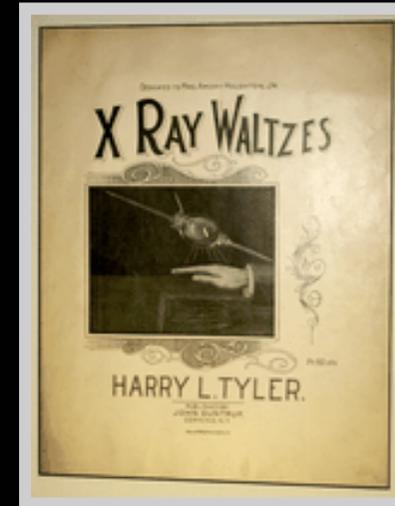


至今仍是普遍採用的結構

X 光引起的革命性進展

- 醫學診斷
- 放射治療
- 工業非破壞性檢測
- 商品廣告宣傳

X ray 引起的廣告狂熱



這個時代難道沒有嗎？



銀の神話
奈米銀香皂

銀の神話
奈米銀香皂

Cellperfect
奈米壓縮面膜
面膜奈米化~美麗更加分!

YBS 保養品奈米化 皮膚吸收率提高1萬倍

這個時代難道沒有嗎？

The collage features several advertisements:

- Top Left:** A vertical advertisement for a rice steamer with the text "直立式奈米烘碗機" (Vertical Nano Dish Steamer) and an image of the appliance's interior.
- Top Right:** An advertisement for a rice cooker with the text "奈米超厚鍋" (Nano Super Thick Pot) and an image of a person cooking.
- Center:** An advertisement for a water purifier with the text "奈米能量" (Nano Energy) and an image of the device.
- Bottom Left:** An advertisement for a face mask with the text "單位 10 入" (Unit 10 pieces) and "奈米光觸媒負離子口罩 (10 入) 耐洗 8 次以上，殺菌效果不減" (Nano photocatalytic negative ion mask (10 pieces) washable 8+ times, antibacterial effect remains).
- Bottom Right:** An advertisement for "Volc. Nano POWER RELEASE" cleaning products, showing a box and a bottle.

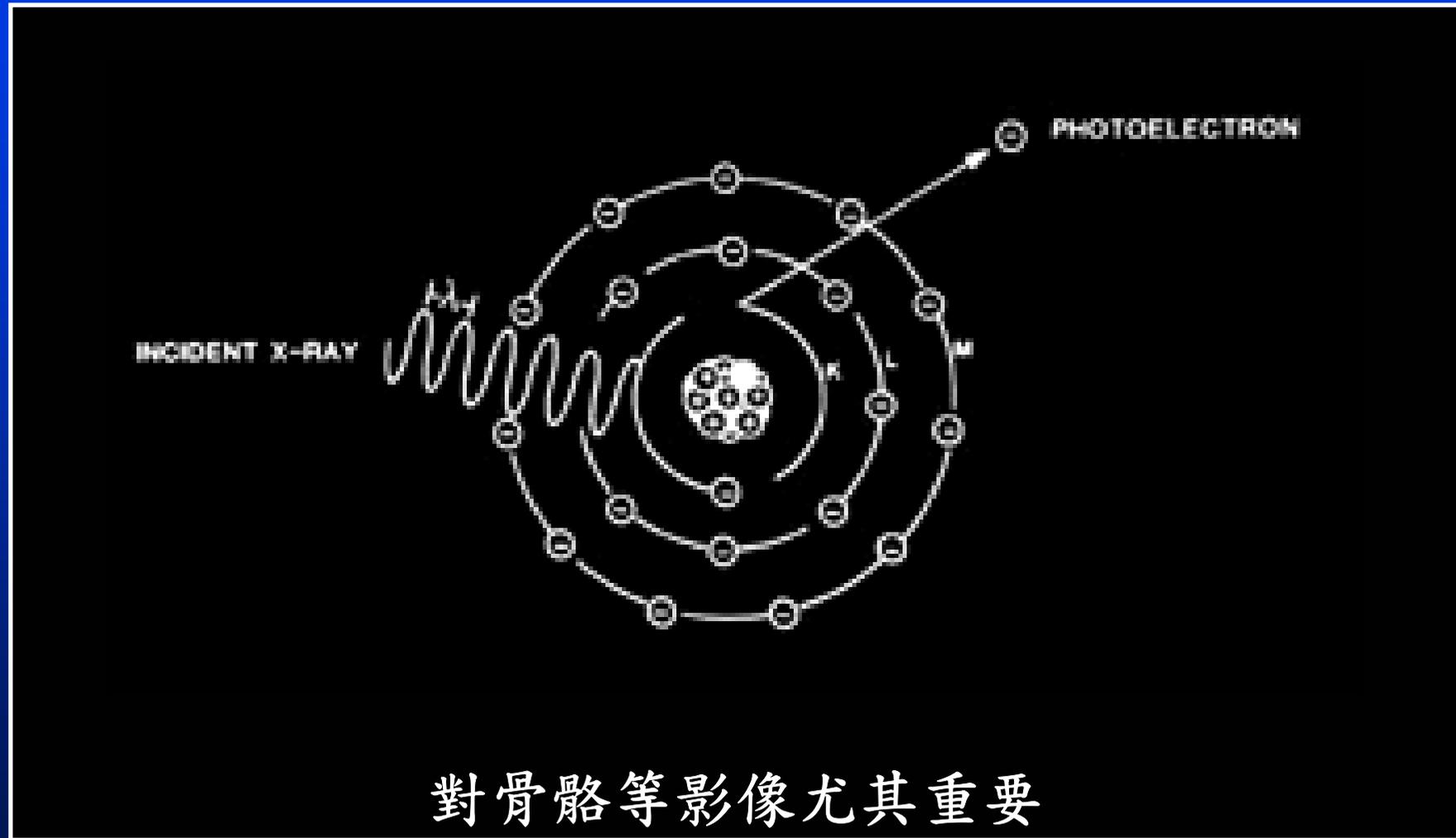
X 光成像的原理

- X 光穿透人體部分組織 (軟組織)，部分不穿透 (骨骼)
- 形成不同組織間的明暗對比
- X 光如何與物質作用？

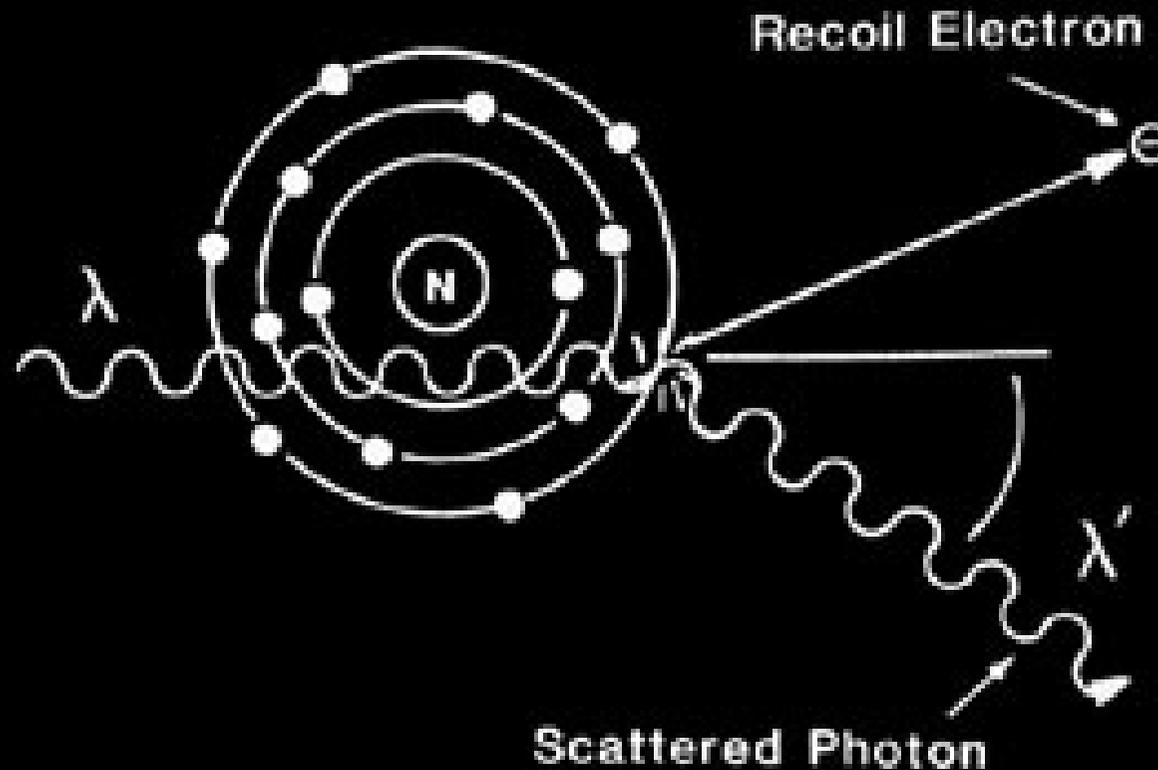
X 光與物質 (電子) 的作用

- Rayleigh 散射
- 光電效應
- Compton 散射
- Pair production

Photoelectric absorption



Compton 散射



對肺部胸腔組織等尤其重要

X 光的偵測

- 照相底片或螢光屏 (歷史)
- 透明膠片 + 感光乳劑 (溴化銀)
- 閃爍晶體 + 光電倍增管
- 氣體或固態 detectors

整理：醫用 X 光原理

- X 光的性質 (短波長電磁波)
- X 光的產生 (熱陰極管)
- 與物質的作用 (光電與康普吞效應)
- X 光的偵測 (閃爍晶體等)
- 放射診斷應用 (馬上講)

X 光診斷技術的發展

- Plain film
- Fluoroscopy
- Angiography
- Mammography
- Bone densitometry

典型的 X 光影像



胸部 X 光

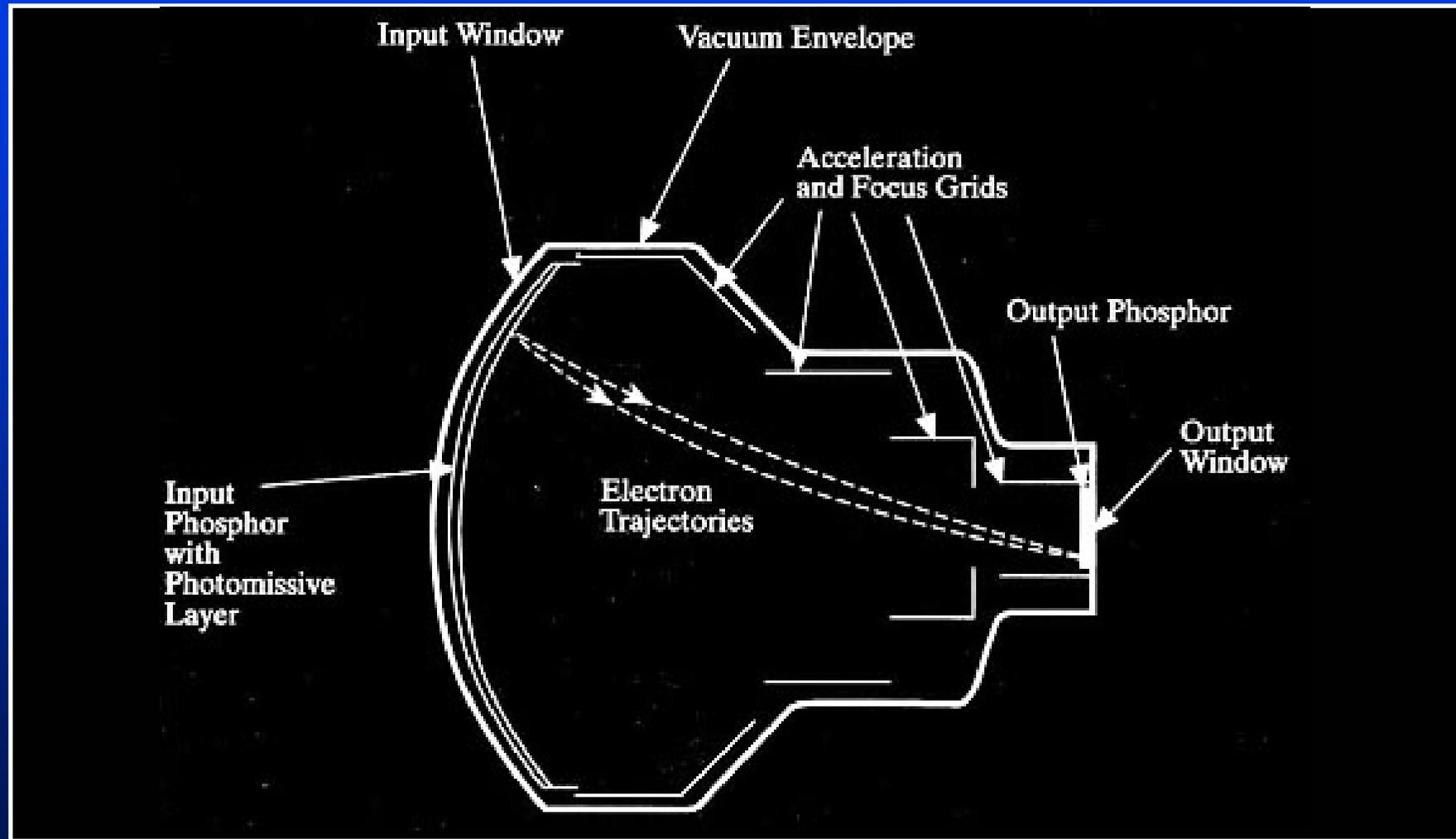


乳房攝影

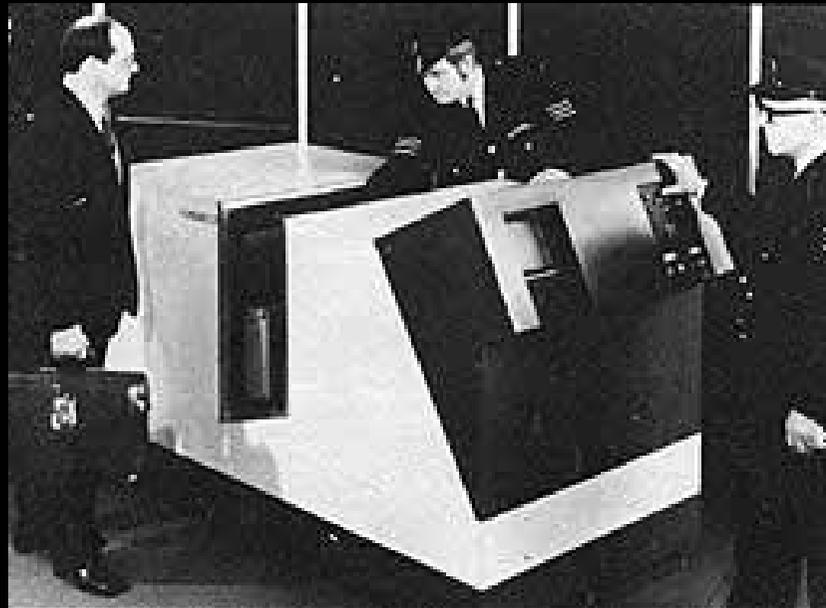
Fluoroscopy

- 即時 (real time) X 光顯像
- 使用螢幕監控而不用膠片
- 長時間照射，X 光強度需低
- 放大/立即顯像：image intensifier

Image Intensifier for Fluoroscopy



旅遊者最常見到的 Fluoroscope

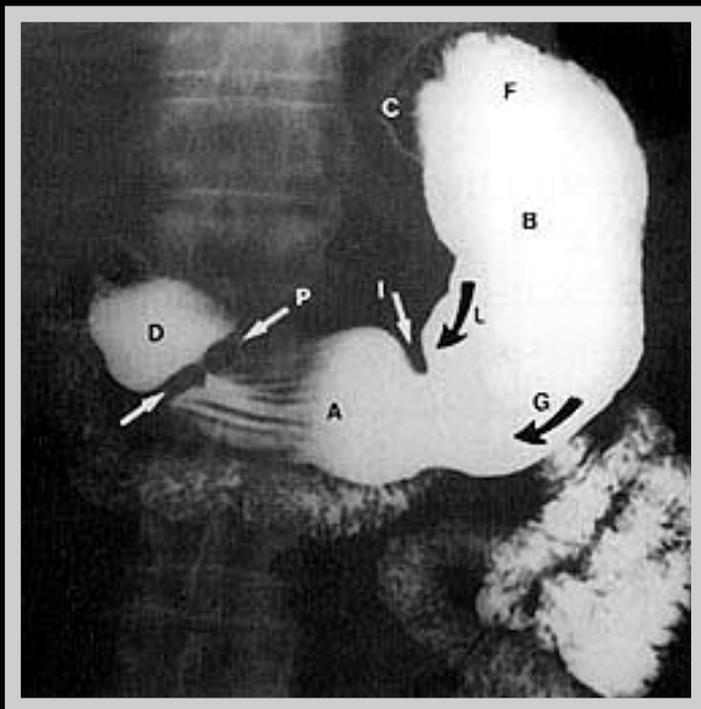


機場行李檢查

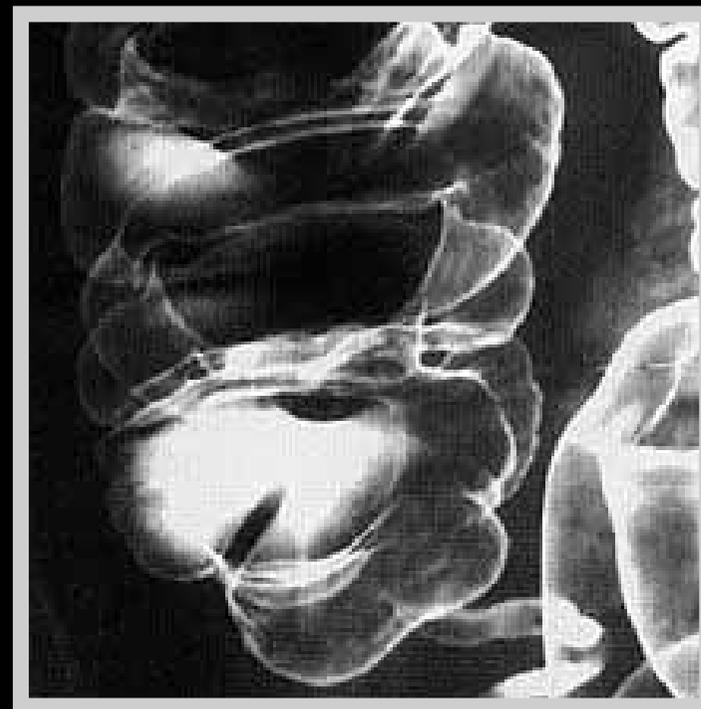
檢查方式可以變化多端

- 喝入鋇劑 (barium sulfate)
- 鋇劑灌腸 (enema)
- 導管注射 (enteroclysis)
- 雙對比顯像

鋇劑的 GI Fluoroscopic Exams



胃部 (喝入鋇劑)



盲腸雙對比 enema

Angiography 原理

- 注射顯影劑前先照一張影像
- 含碘顯影劑動脈注射
 - 導管置入血管內，隨時監控
- 與原始影像相減

現在常見的頭部 Angiogram



頭蓋骨



頭部血管

現在常見的 Angio 儀器



靈活平移轉動的 C-arm 結構

常見的 **Angio** 使用方式

- 也配合治療 (反正已經放導管了)
 - 血管支架 (**stent**)
 - 溶血栓藥物 (**thrombolytic**)
 - 栓塞治療 (**embolization**)
- **Interventional (介入性) radiology**

其他 X-ray 變化

- **Mammography** 乳房攝影
 - 針對微鈣化最佳化的光源
- **Bone densitometry** 骨質密度
 - 雙能量消除軟組織干擾

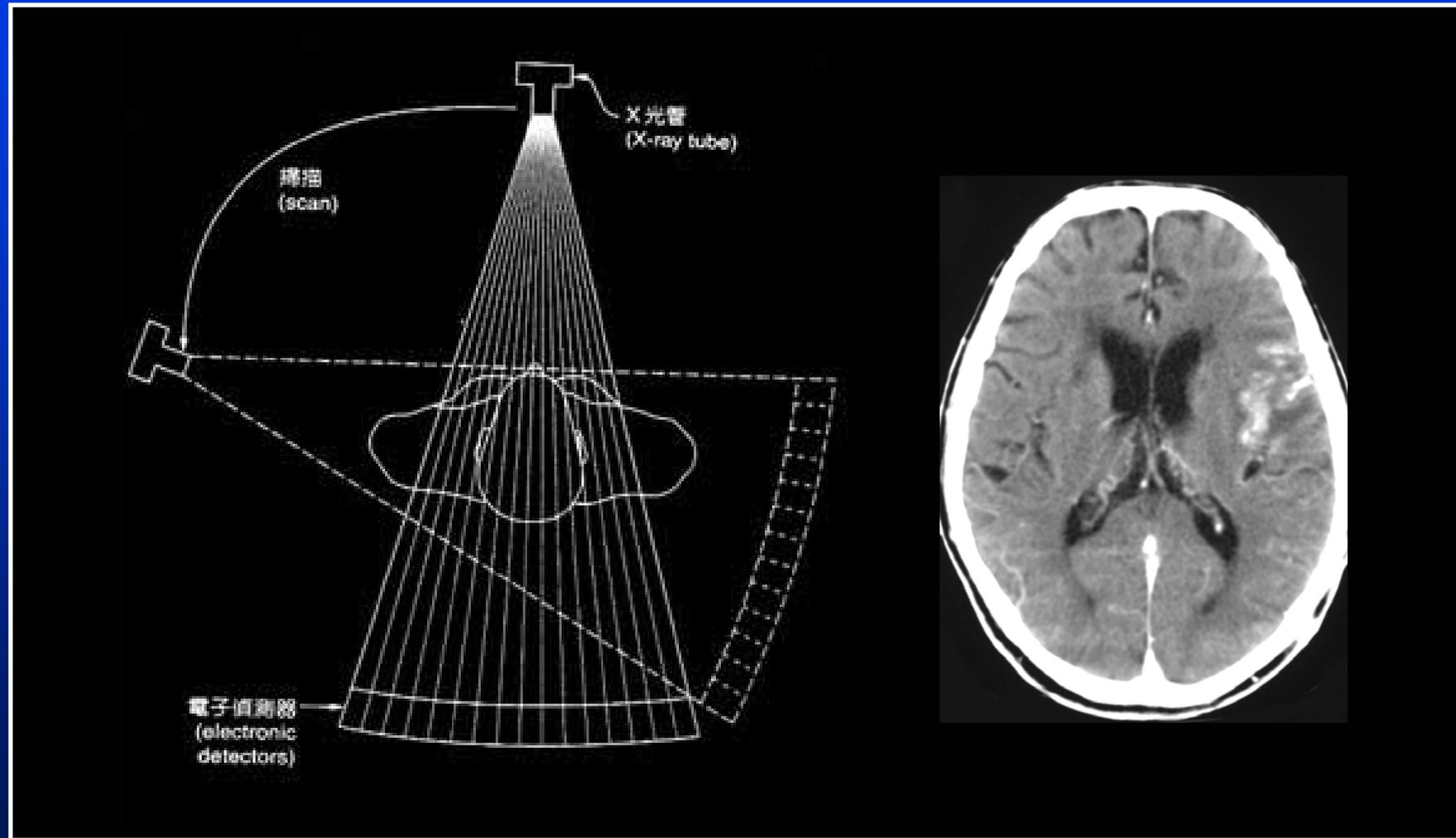
X 光斷層攝影

Tomography (CT)

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

CT 原理



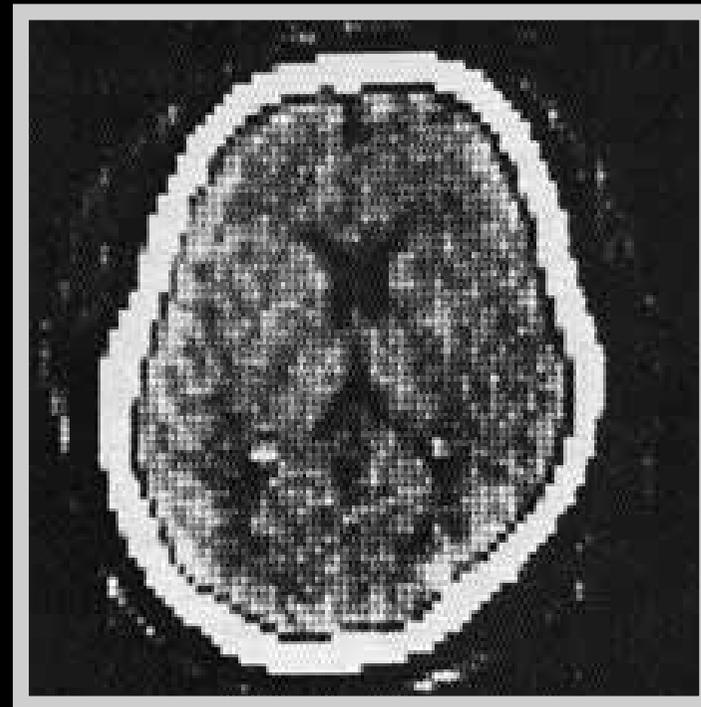
Computer Tomography

- Hounsfield (1972)
- 以細射束 X 光獲得局部投影
- 多角度的投影計算原始影像
- 侖琴之後放射線界最偉大的進展

最早期的醫用 Tomography



EMI CT1010 (1976)



A head scan

如今常見的醫用 Tomography



A CT scanner



A head scan

如何重建影像？

- **Reconstruction from projections**
 - **Filtered back projection**
 - **Iteration methods**
 - 下週將有專門討論

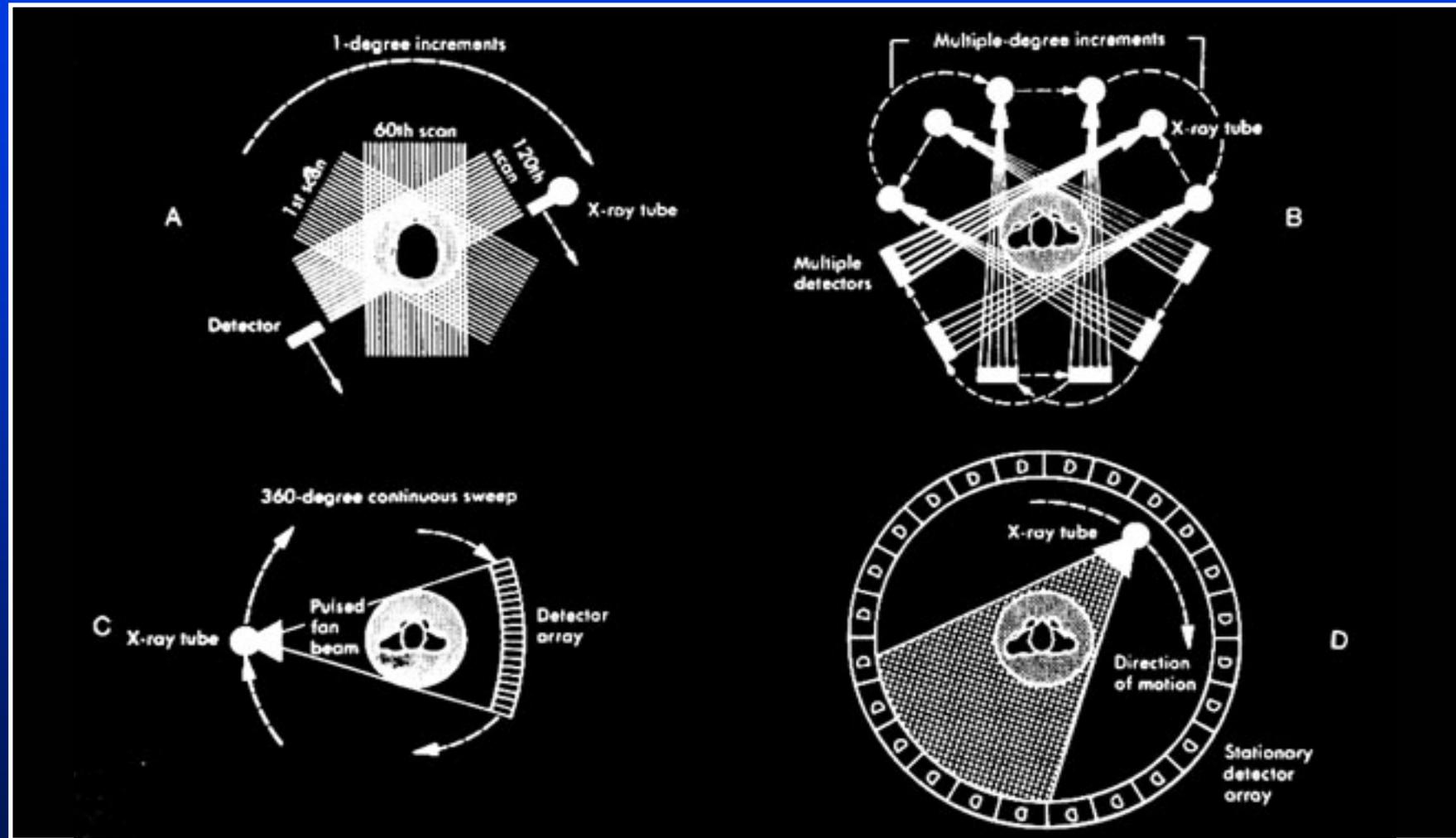
CT 的「發明」

- **Hounsfield & Cormack**
 - 1979 Nobel prize in Medicine
- **Oldendorf 1961**：仿體實驗
- **Radon 1917**：由投影重建影像

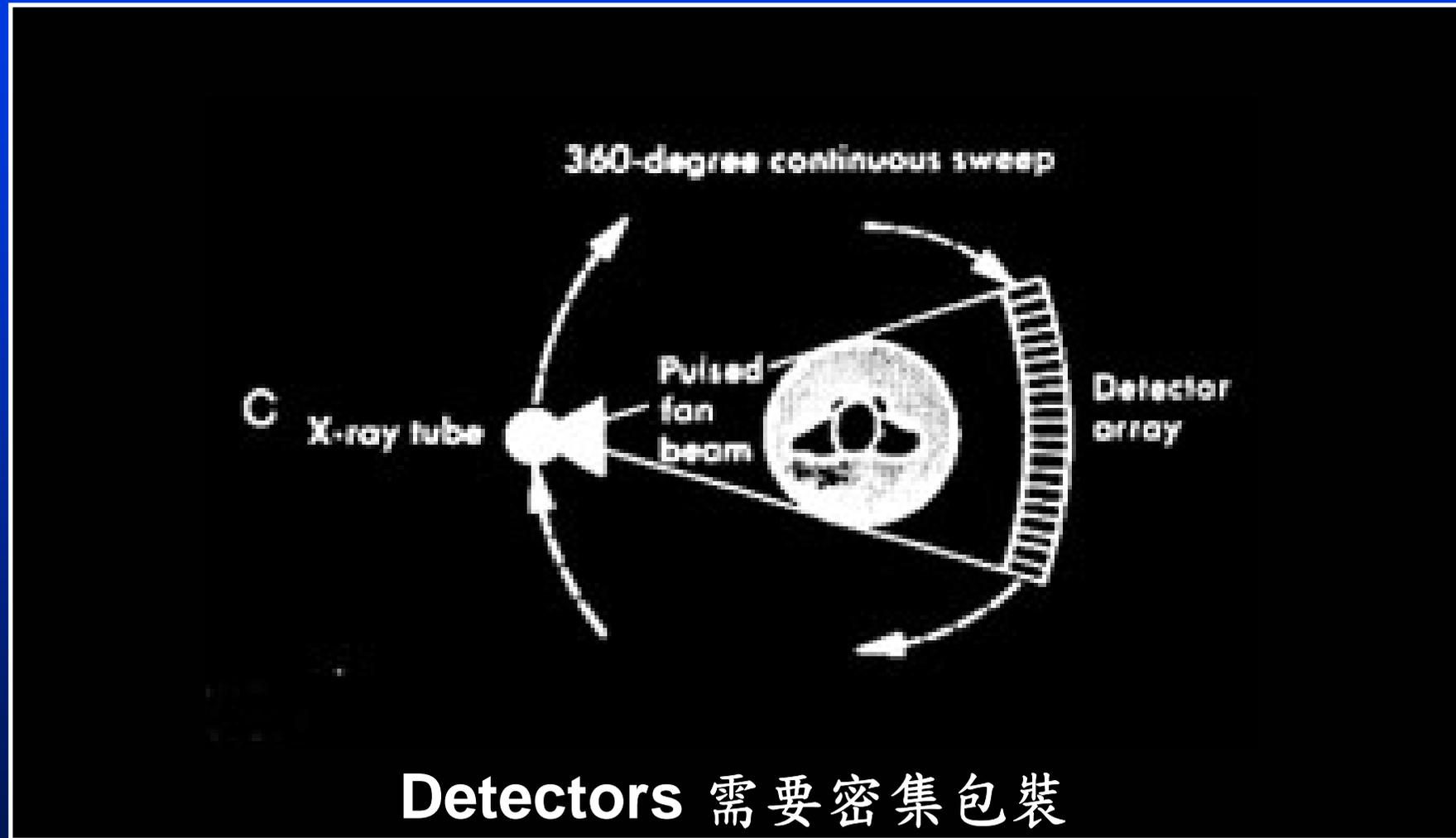
CT 的進展 (取像速度)

- 第一代到第四代 CT
- Electron beam CT
- Spiral (螺旋式) CT
- Multi-slice spiral CT

CT 儀器的進展 (5 min \rightarrow < 1 sec)



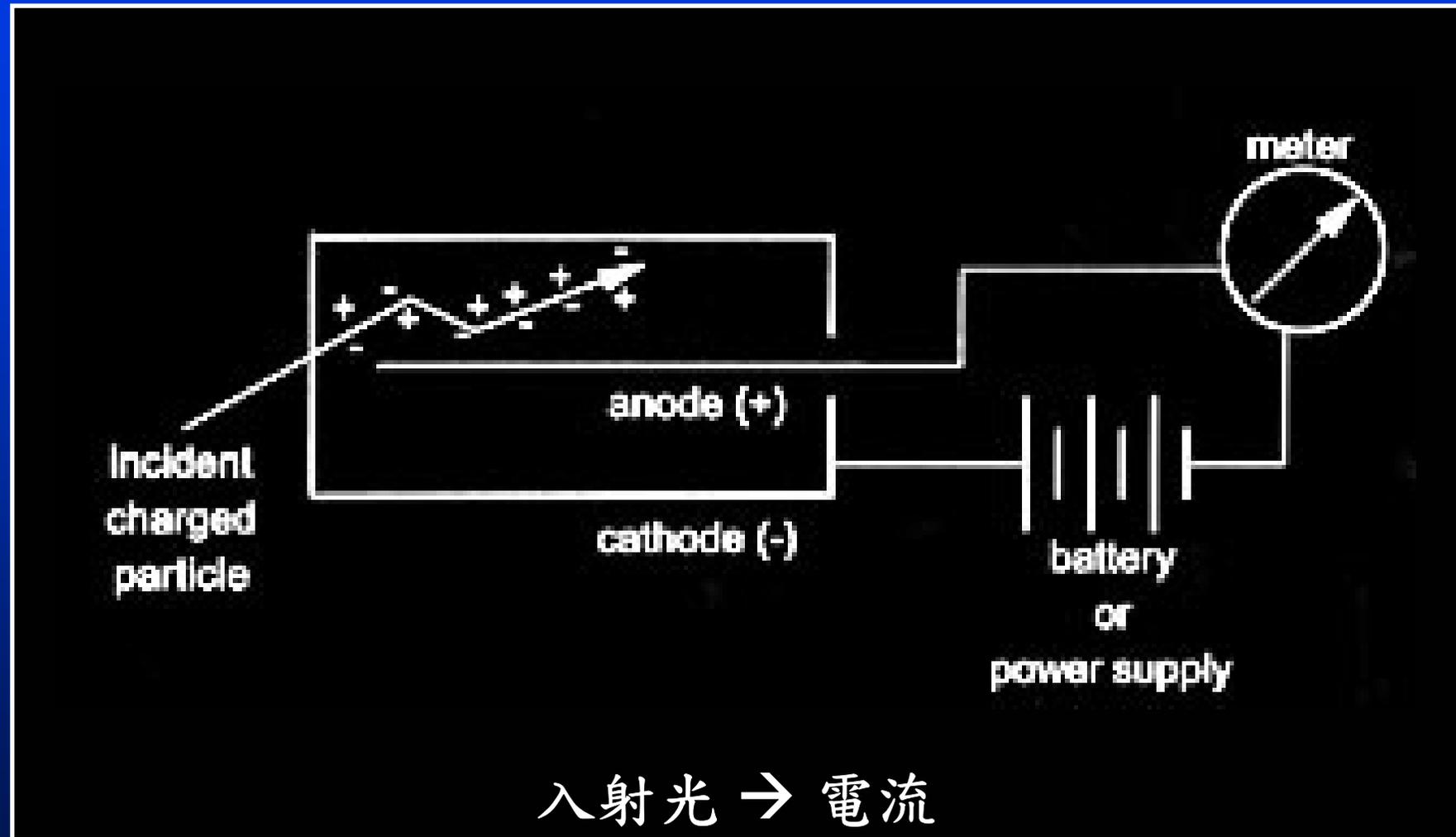
放大一點 ...



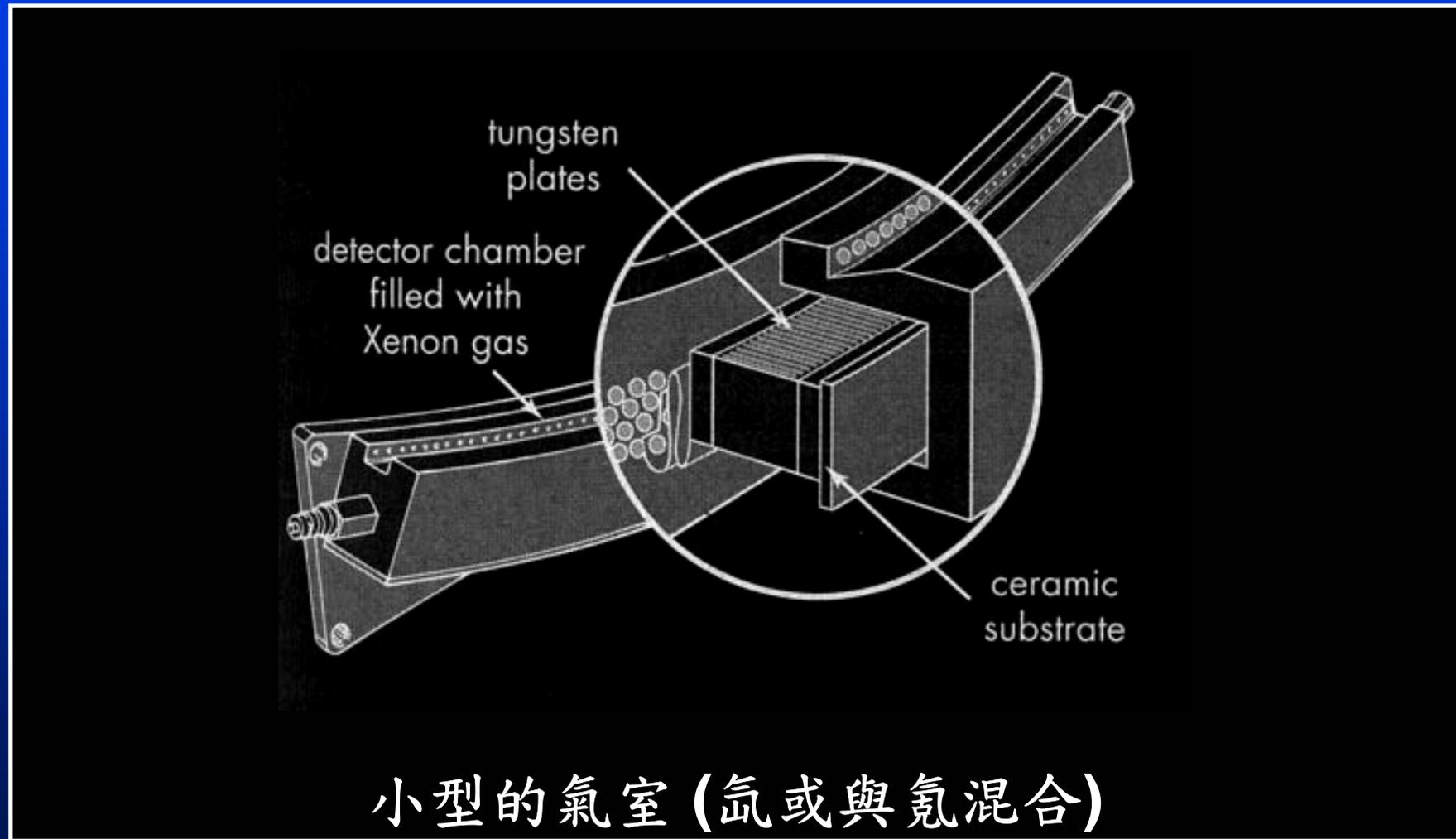
CT Detectors

- 閃爍偵測器 (BGO, CsI, CdWO₄)
 - 約 1~8 /cm 或 1~5 /⁰、效率高
- Gas-filled detector (氙)
 - ~ 1mm 間隔、效率略低

Gas-filled Detector 原理



Gas-filled Detector Array



CT 影像的明暗

- 直接反應該處的 X 光衰減程度
 - Hounsfield Units, CT number
- 也就是原子序與密度
- 基本上還是 X-ray 影像對比

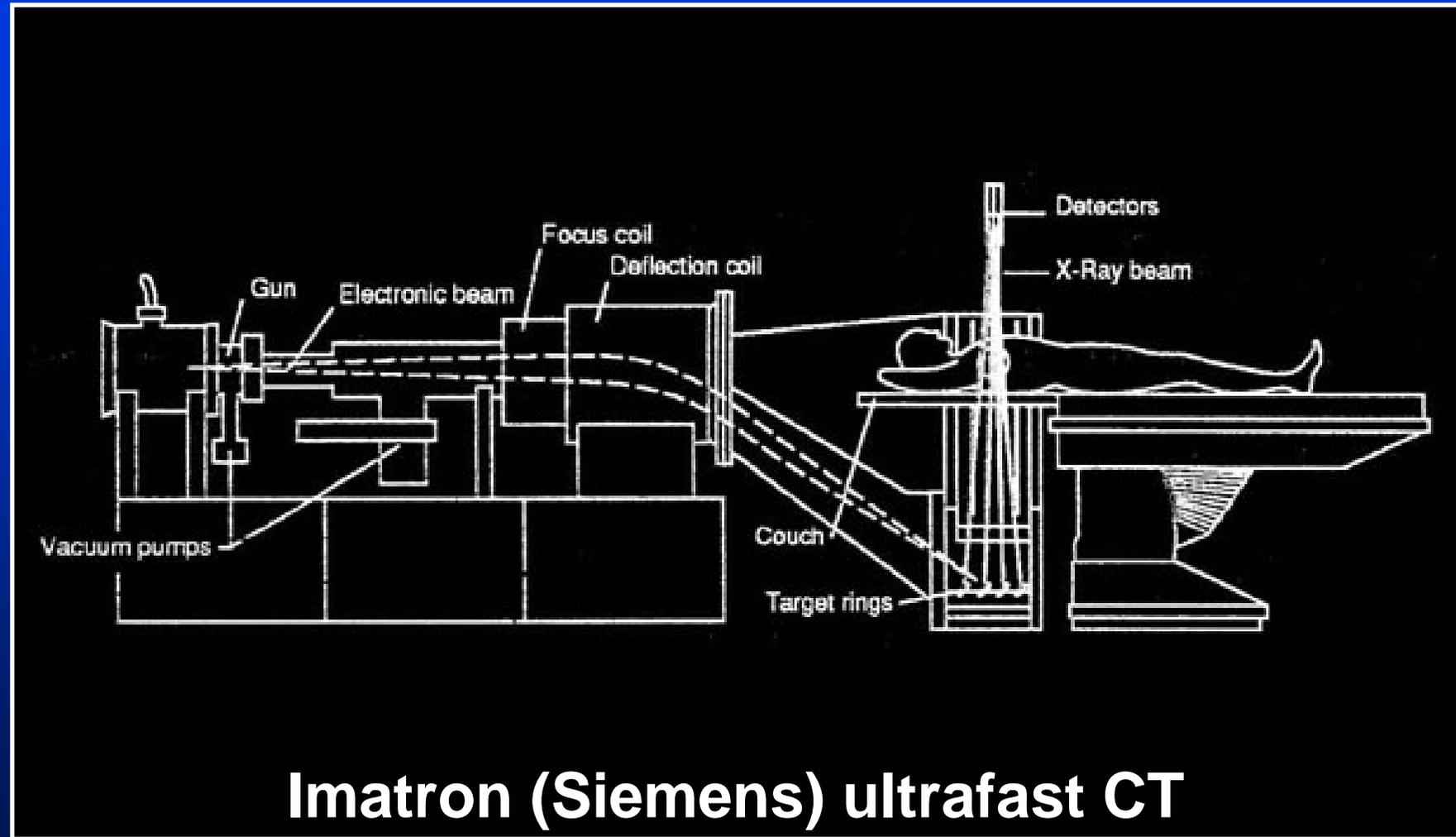
如今常見的 Tomograms



CT 的進展 (取像速度)

- 第一代到第四代 CT
- **Electron beam CT**
- **Spiral (螺旋式) CT**
- **Multi-slice spiral CT**

Electron Beam CT 原理



Imatron (Siemens) ultrafast CT

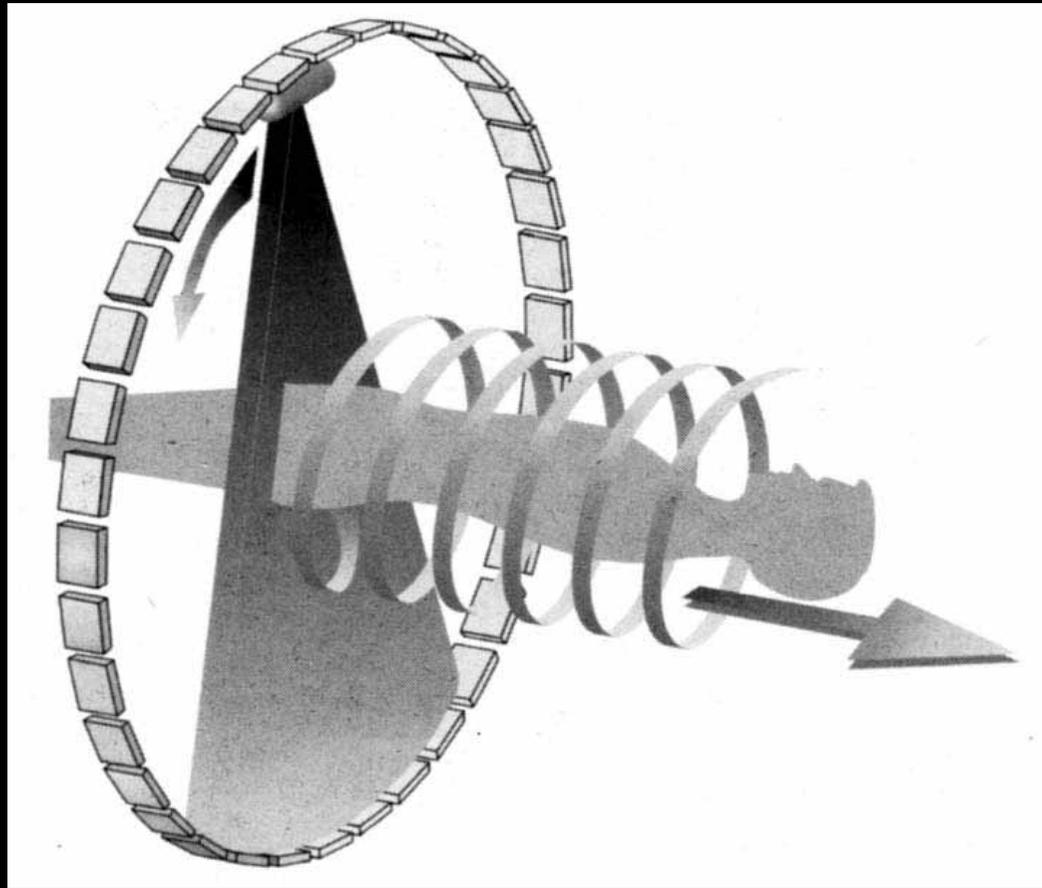
Electron Beam CT 的優勢

- No moving parts at all !
- Fastest-ever scan (< 50 msec)
- Multiple targets = multi-slice
- 不怕持續運動的器官 (如心臟)

Electron Beam CT 的劣勢

- 龐大電子槍的結構難以完美
- X 光輸出穩定性與效率
- 商業競爭下目前處於劣勢
- 僅能主要針對 **cardiology** 市場

Spiral (Helical) CT 原理

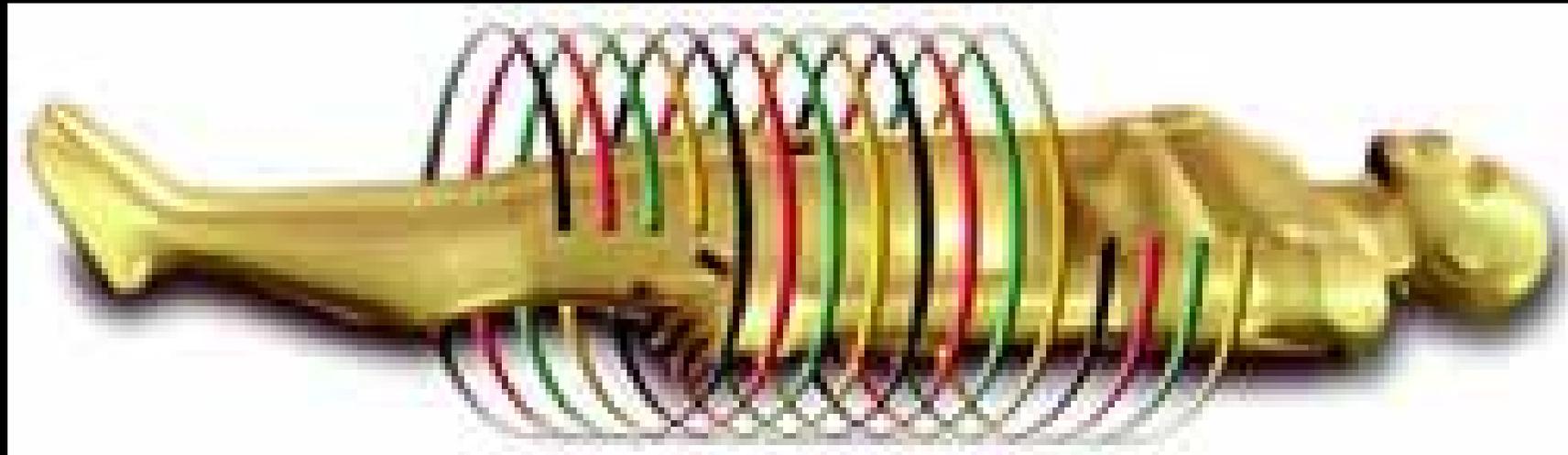


螺旋狀軌跡 (相對於病人)

Spiral CT 的影像重建

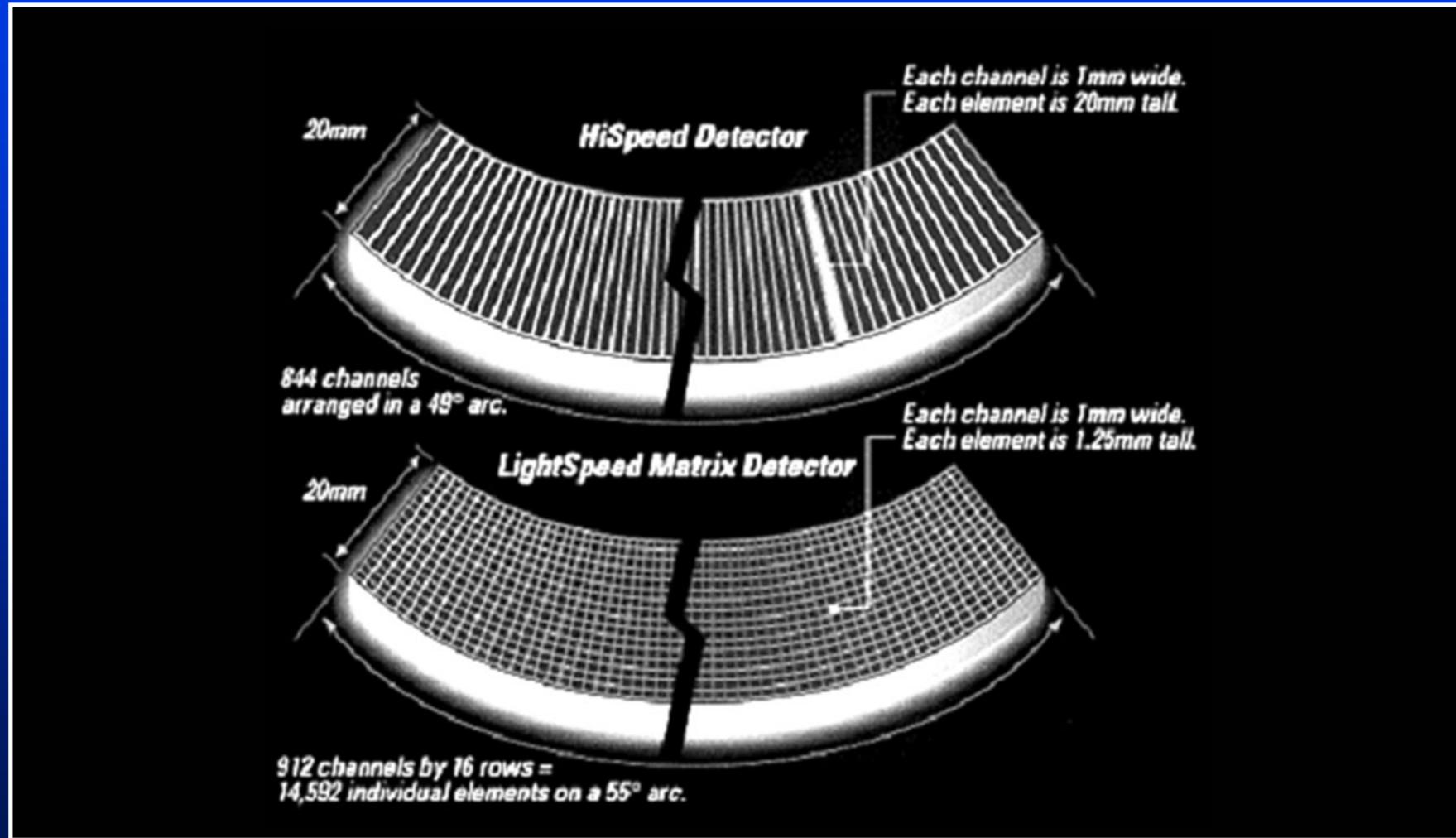
- 不用說，當然需要特殊內插方式
- 但在目前商品化臨床 CT 中不太是個嚴重問題
- **Table** 移動速度的適當選取

Multi-slice Spiral CT 原理

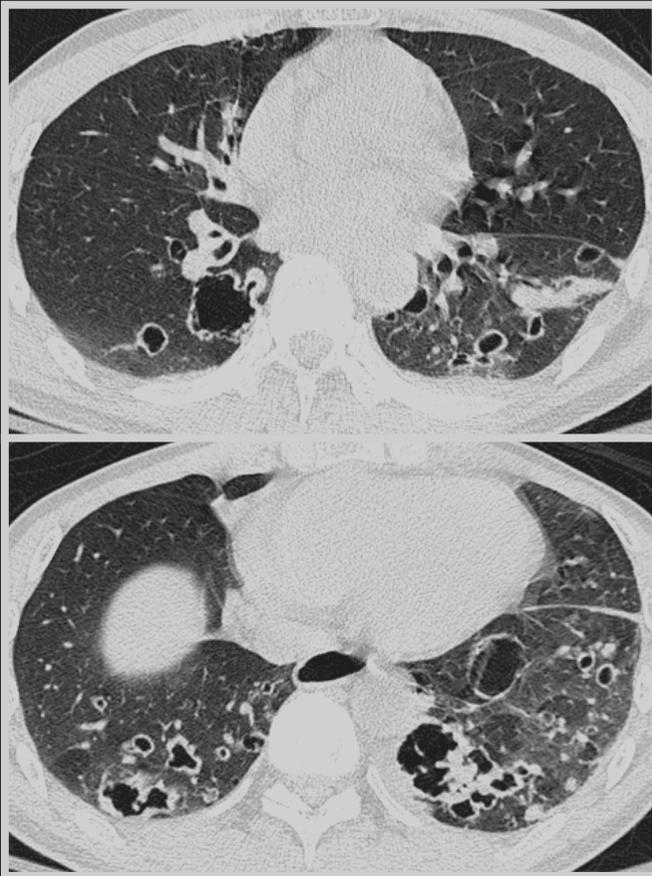


Multi-detector 形成多重螺旋軌跡，換取時間

多切面 → Detector 多加幾排



16-slice CT 的扫描速度 (360 in 10 sec)



Original axial images



Coronal reformatting

CT 的持續發展

- 更快掃描、更高解析度、更多張 **slice (64-128)**、功能訊息 ...
- 沒有太多時間著墨
- 基本上是形態方面最具優勢的技術

核子醫學影像簡介

Nuclear Medicine

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

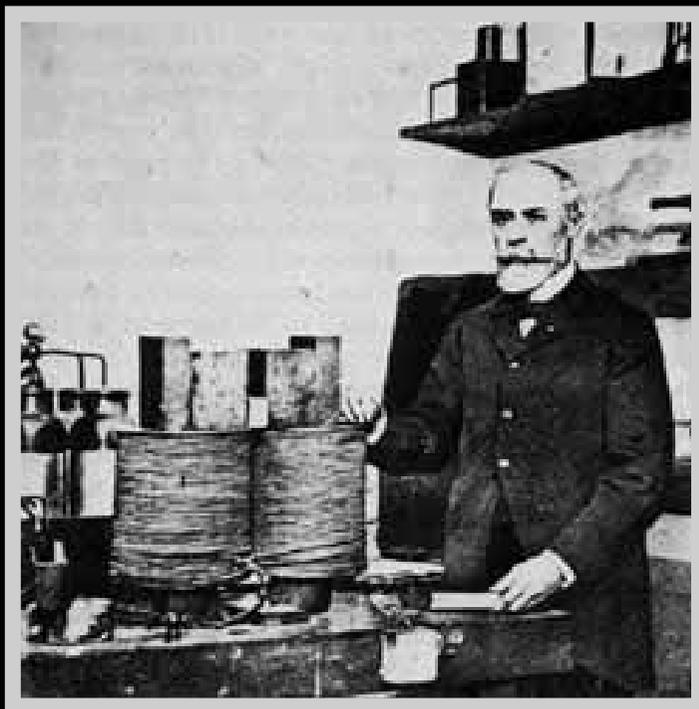
什麼是核子醫學檢測？

- 人體原本不具放射性
- 外加放射性物質送入人體
- 放射線穿透人體至外界偵測器
- 檢測局部放射性得知體內狀況

放射性的發現

- **Henri Becquerel (1852-1908) : 鈾的 radioactivity (1896)**
- 螢光與磷光物質特性的偶然發現
- 硫酸鈾經日曬引發螢光使底片曝光

貝克勒爾與鈾的放射性



Henri Becquerel



硫酸鈾的曝光照片

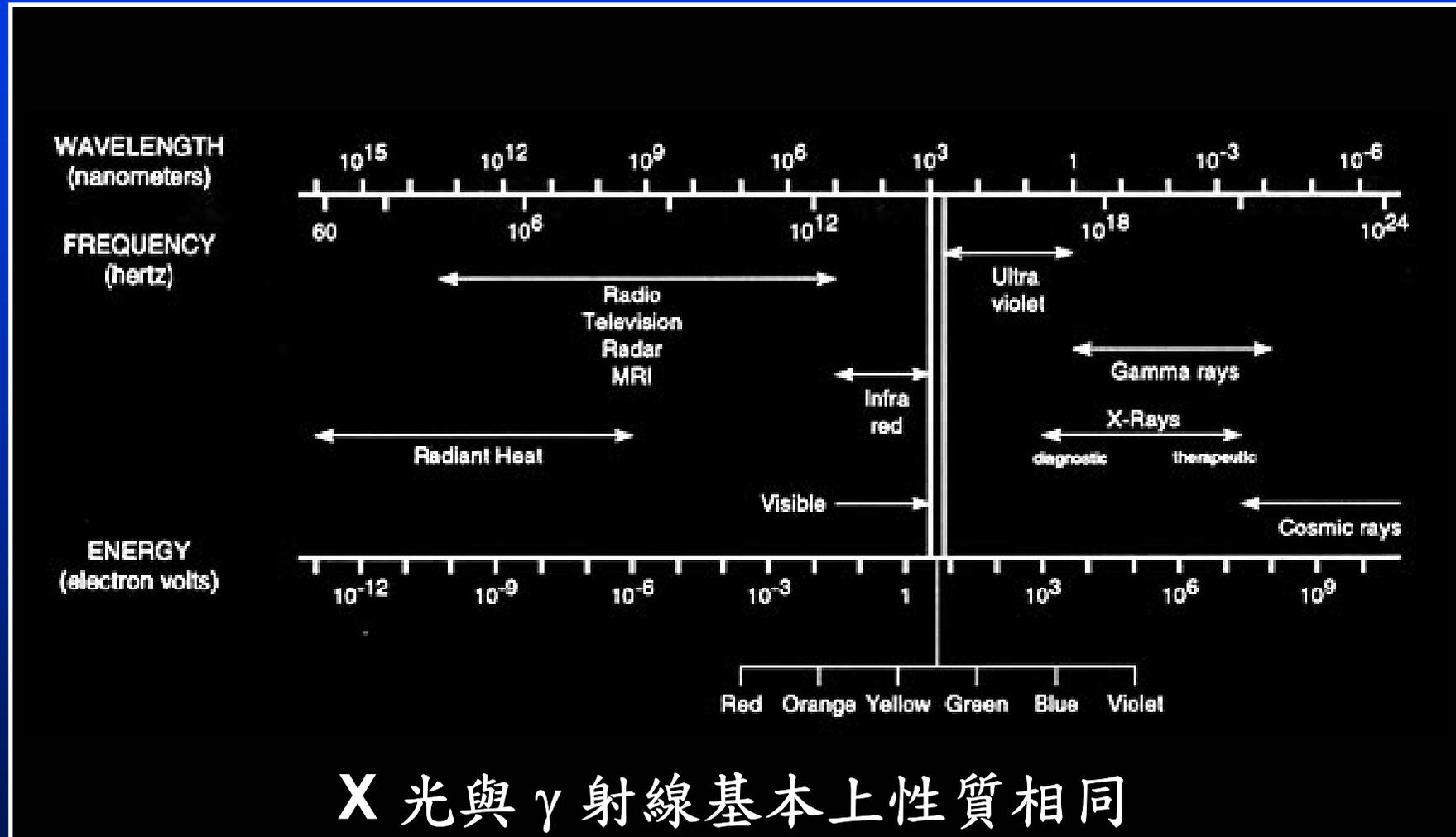
放射性元素的原子核衰變

- α (氦原子核) 衰變
- β^- (電子) 衰變
- β^+ (正子) 衰變, **electron capture**
- γ (射線) 衰變 (核醫中最重要者)

γ 衰變

- **γ ray** : 能量高於紫外線之電磁波
 - **X ray** : 源自於電子產生
 - **γ ray** : 源自於原子核
- 核醫多採用 **metastable** 核種產生

電磁波頻譜



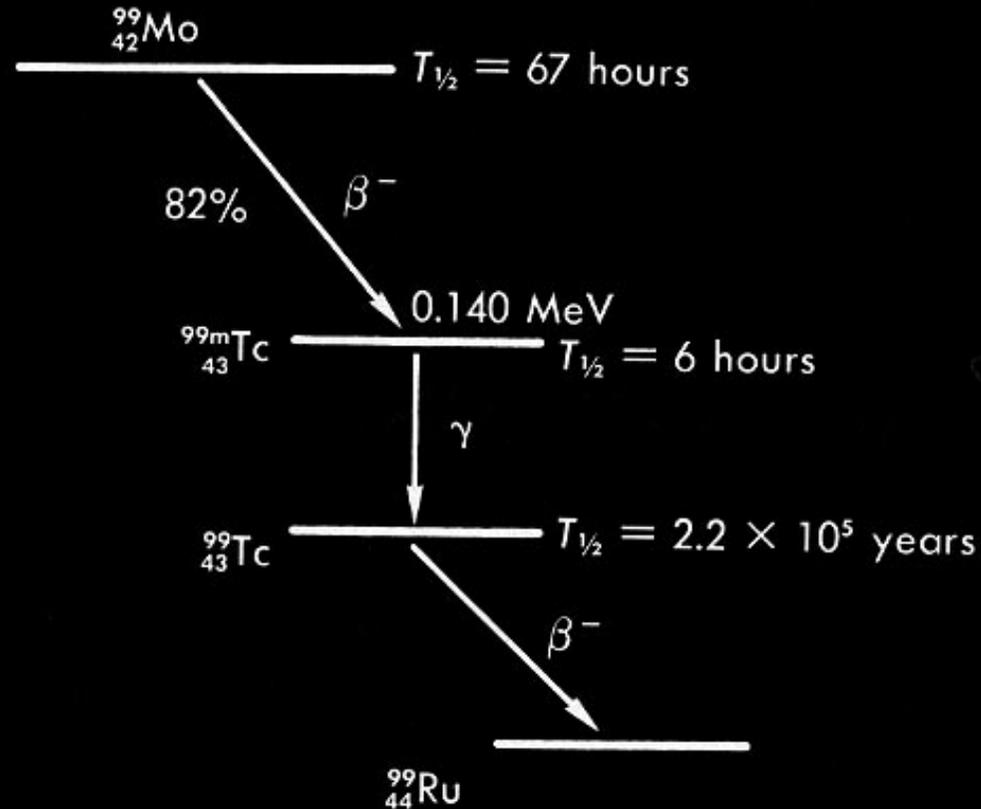
核醫影像診斷的幾項要素

- 放射性同位素的產生
- 放射藥物化學標記
- 器官功能診斷原理
- 影像偵測儀器

目前最廣泛使用的：鎝

- ^{99m}Tc : 6 hr 半衰期
 - 適合十幾分鐘到小時的核醫影像
 - 回家也不會對家人亂放 γ ray
- 140 KeV 單一射源

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的主要衰變途徑

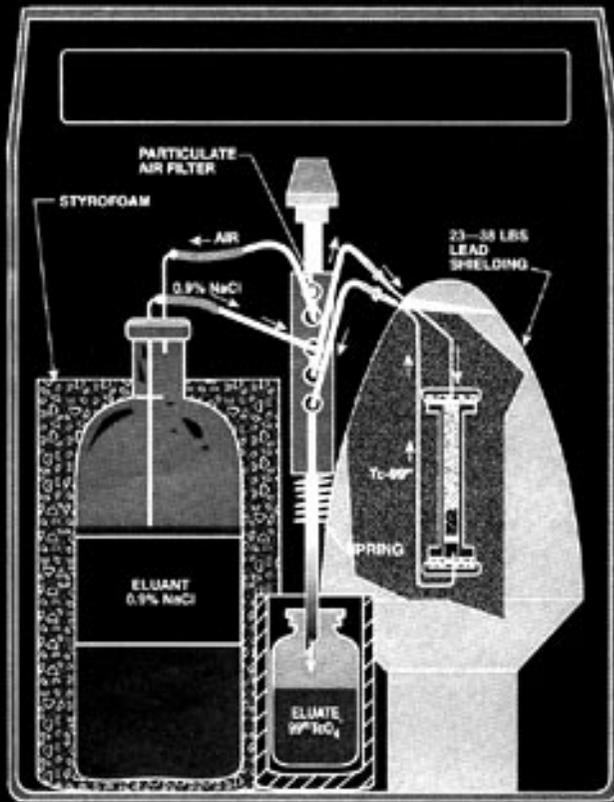


其他部份仍有發生機率 但比例較低

^{99m}Tc 的製造方式

- 6 hr 半衰期，無法製造後運送
- 由鉬元素 ^{99}Mo 經 β - 蛻變後產生
 - 67 hr 之半衰期已可製造後運送
- ^{99}Mo - ^{99m}Tc 產生器

^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator



構造簡圖



實體照片

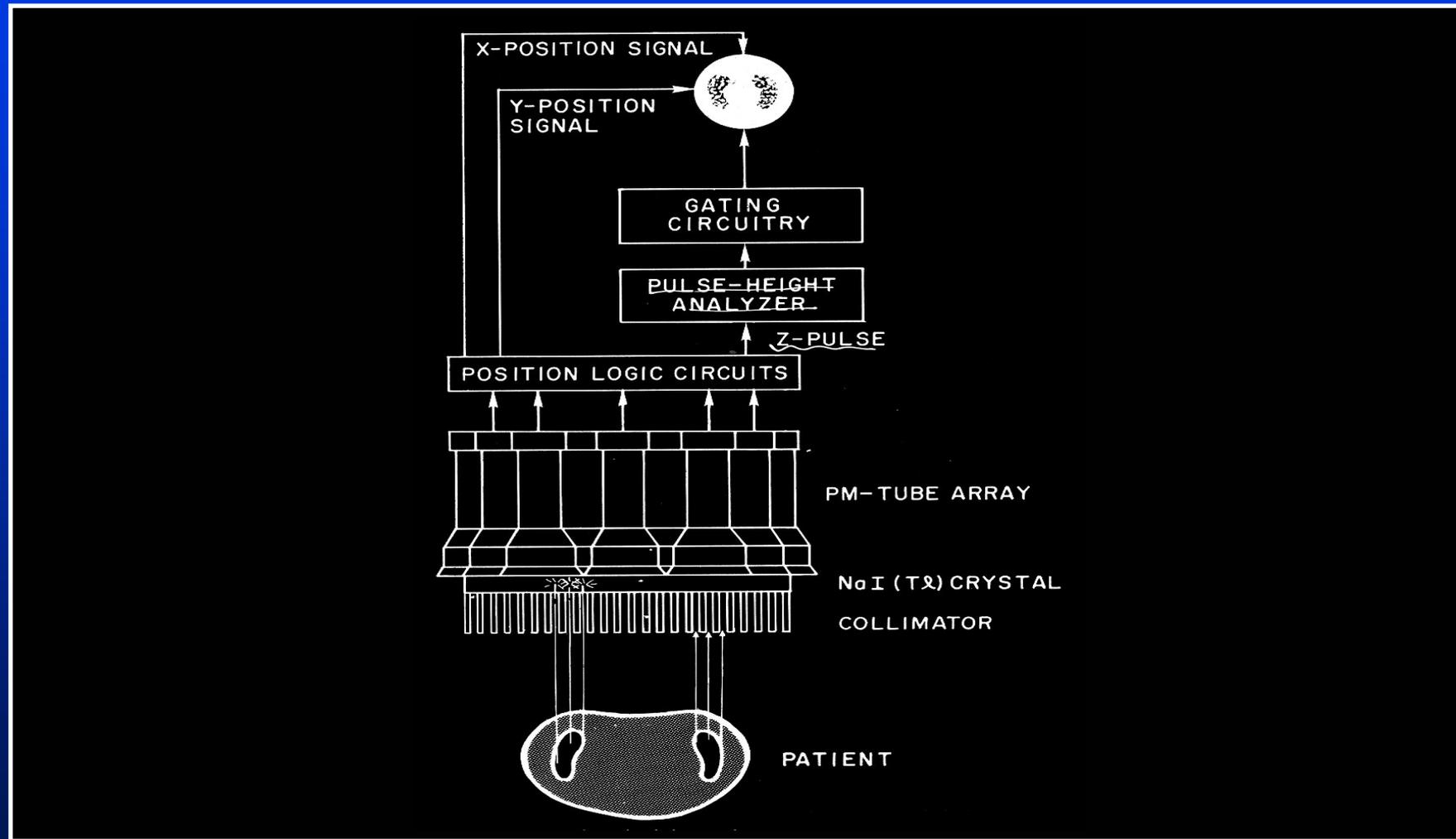
核醫影像診斷的幾項要素

- 放射性同位素的產生
- 放射藥物化學標記
- 器官功能診斷原理
- 影像偵測儀器

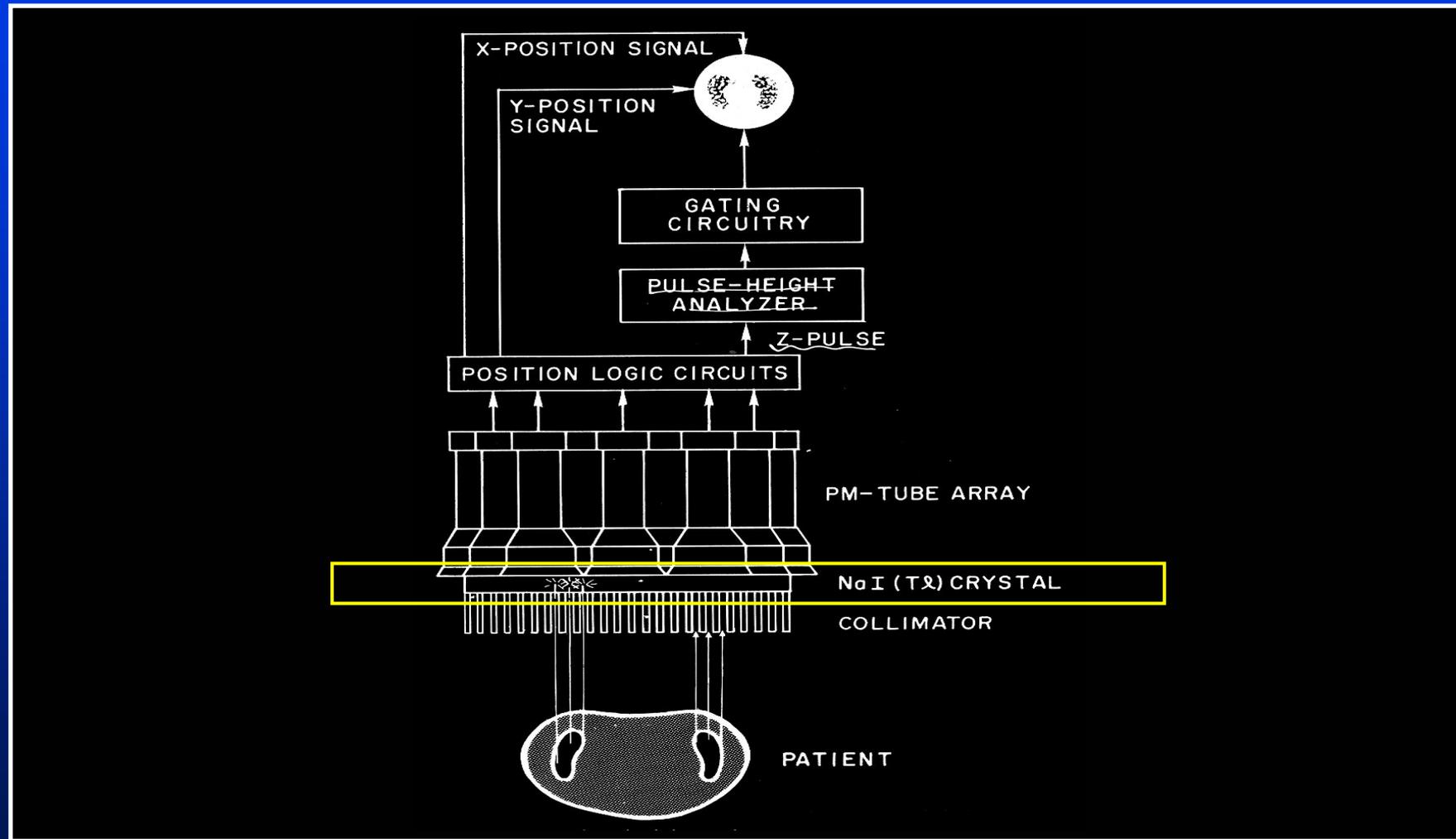
Gamma Camera

- Hal Anger, 1958 (Anger camera)
- 核醫影像目前最重要的儀器
- 閃爍計數器 + 準直儀 + 光電倍增管
+ 波高分析器 + 位置邏輯線路

Gamma Camera 功能構造簡圖



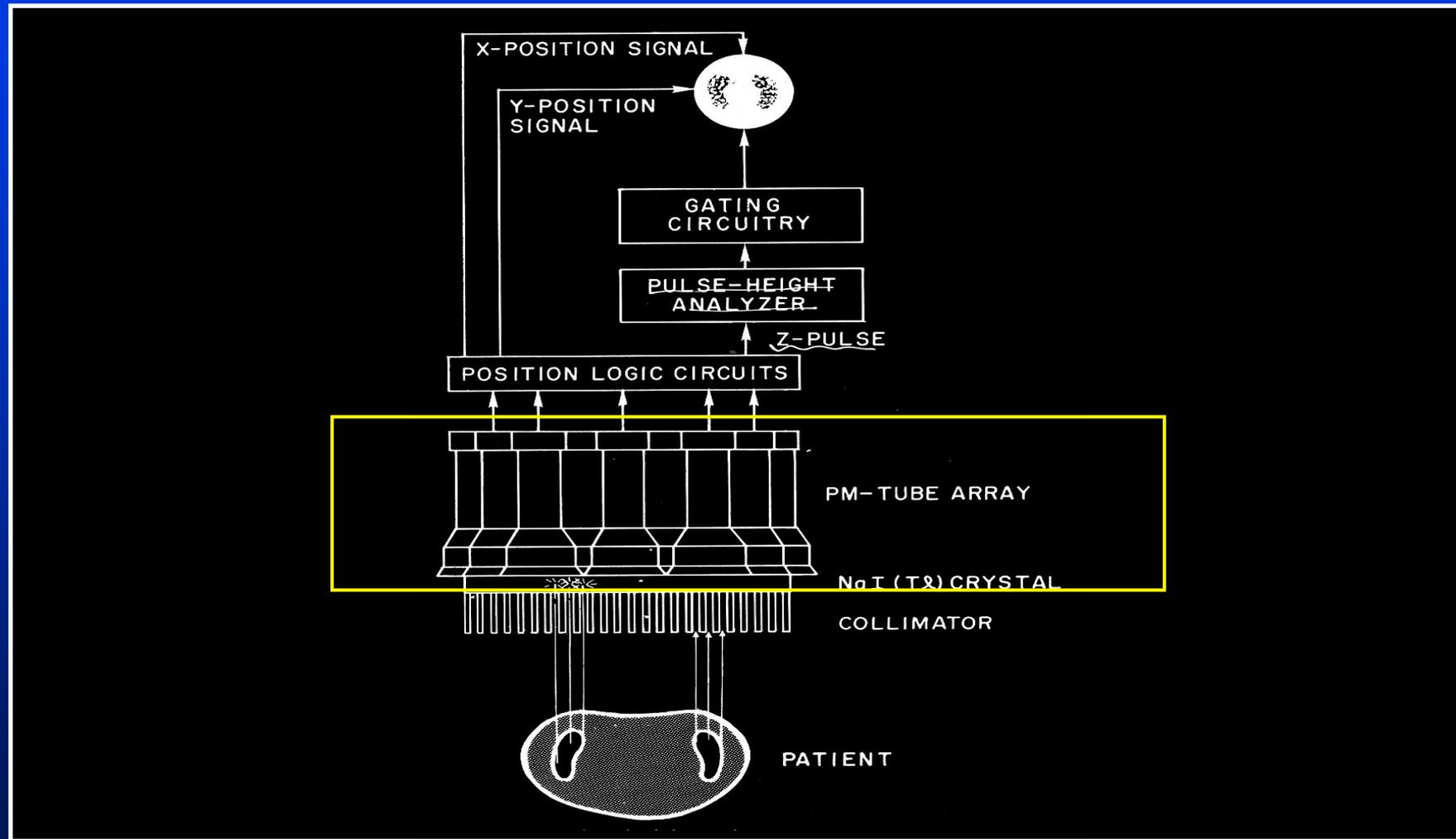
Gamma Camera 功能構造簡圖



閃爍計數器 Scintillator

- 碘化鈉 (NaI) 晶體摻入鉍 (TI)
- X 光的感測器也都可以
- 前面需加上 **collimator**
 - 不然不知道 γ ray 從哪裡來

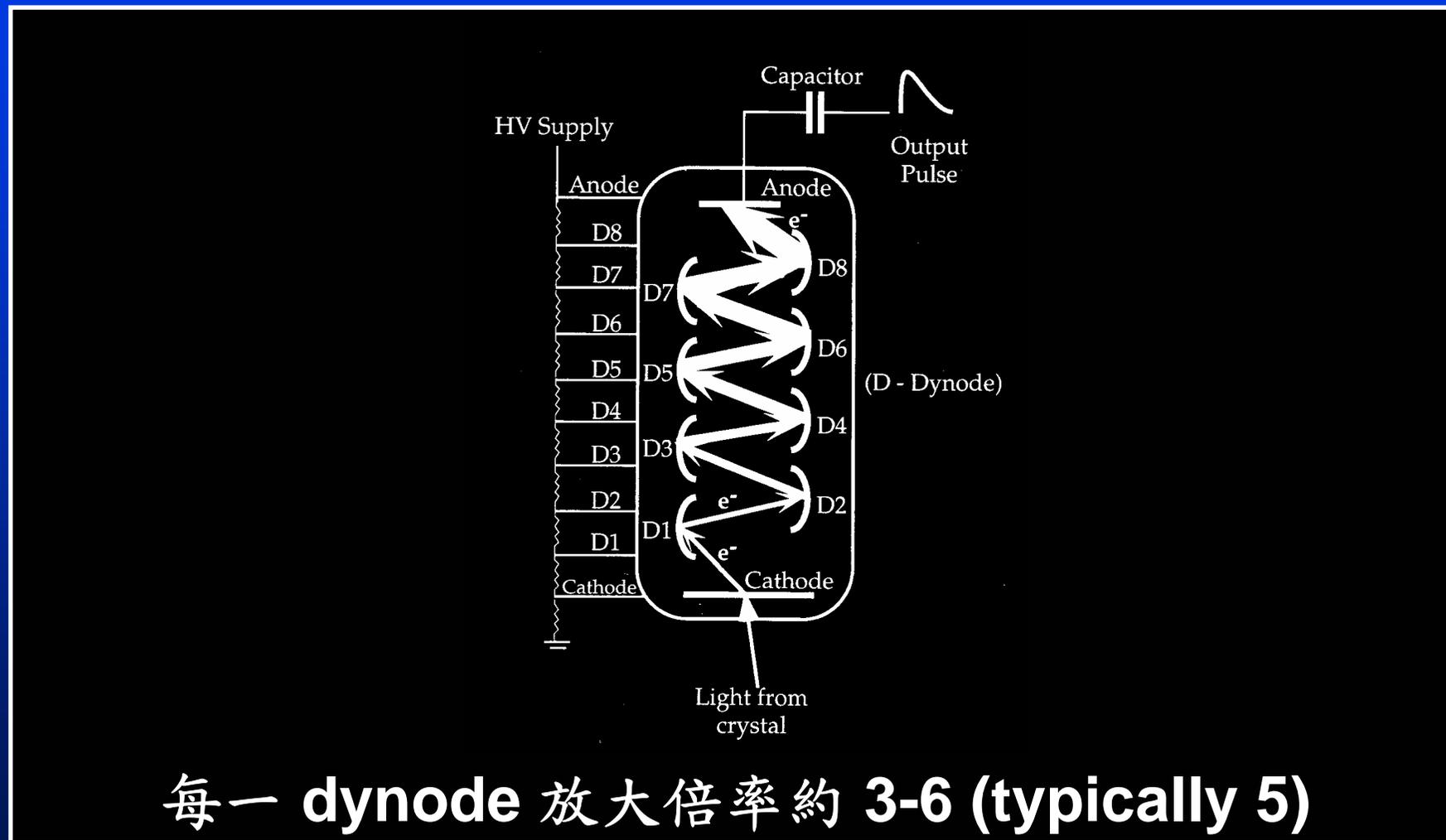
Gamma Camera 功能構造簡圖



光電倍增管

- **Photo multiplier tube; PMT**
- 由 **photo-emissive 物質 (CsSb)** 將可見光轉為電子 (**photocathode**)
- **高電壓 ($\sim 100V \times 10$) 多極放大**

光電倍增管示意圖



光電倍增管



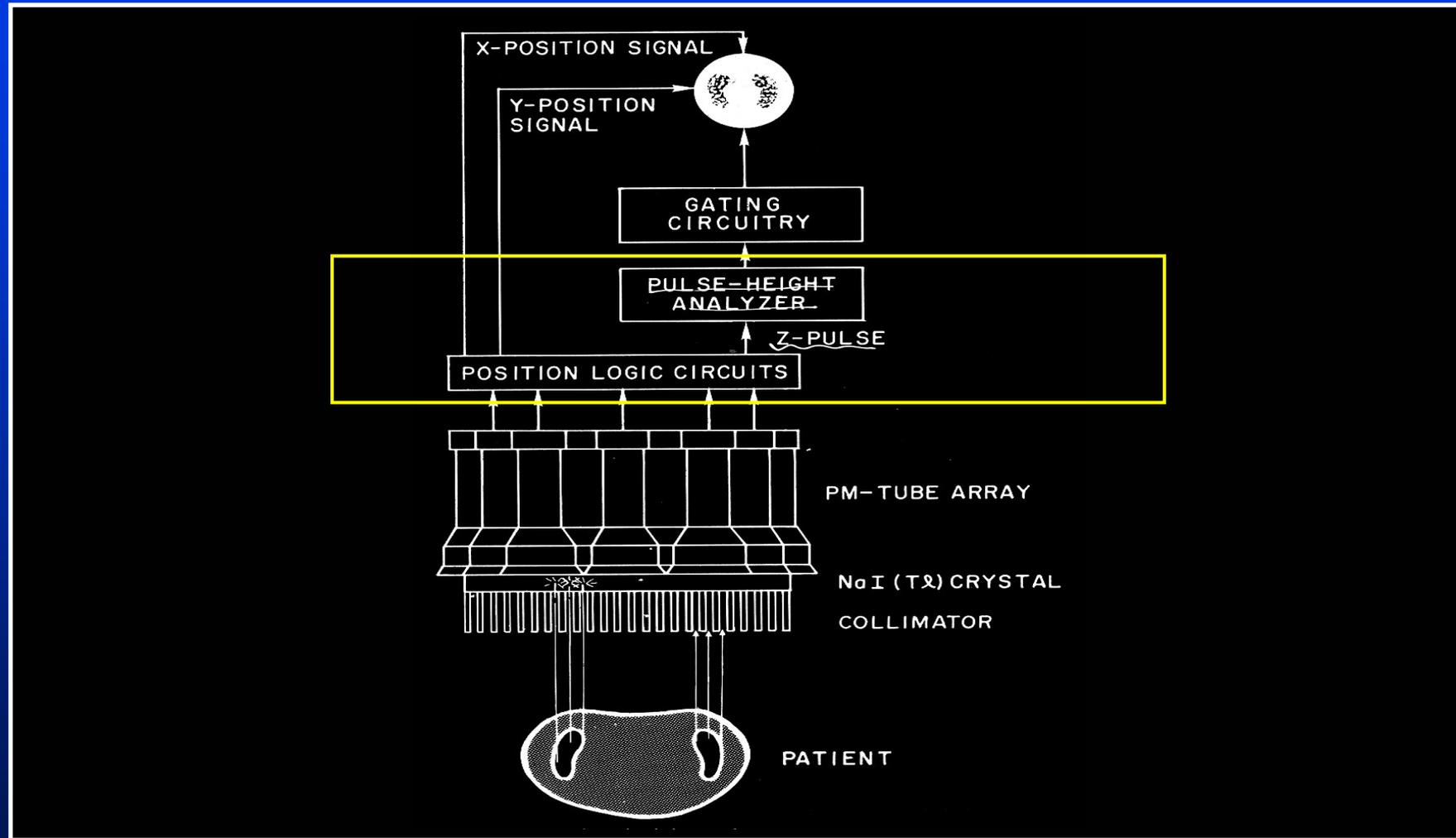
左邊為「卸裝」後的內部結構

要做影像就必須多通道了



37~91 個光電倍增管排成六角形

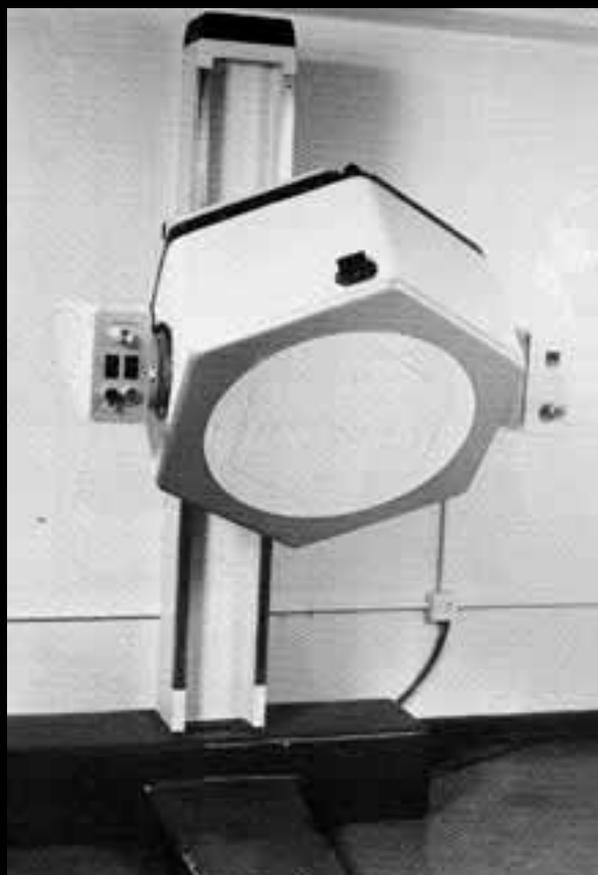
Gamma Camera 功能構造簡圖



其他部分

- 波高分析器
 - 選擇性濾除低能量散射 γ ray
- 位置邏輯線路
 - 從有限的 PMT 通道計算影像

於是就組成了 Gamma Camera



1980



近代

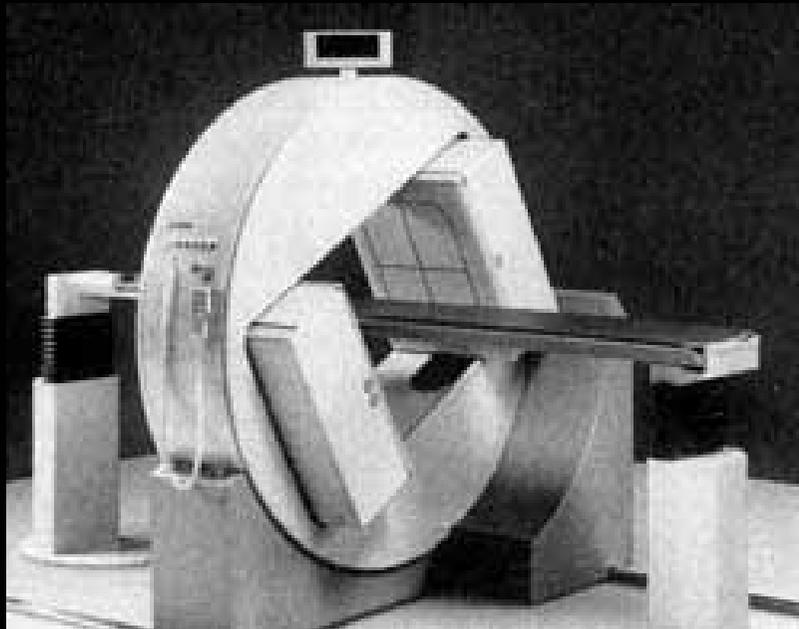
Gamma 斷層掃描

- 沒什麼，把 gamma camera 繞病人一圈，其餘就和 CT 一樣
- 單光子射出式斷層掃描; **SPECT**
- **Single Photon Emission CT**

既然原理其實一樣

- 儀器部分也幾乎完全相同
 - **Gamma camera 都可做 SPECT**
- 影像重建：同 X-ray CT
 - **Filtered back projection**

SPECT Systems

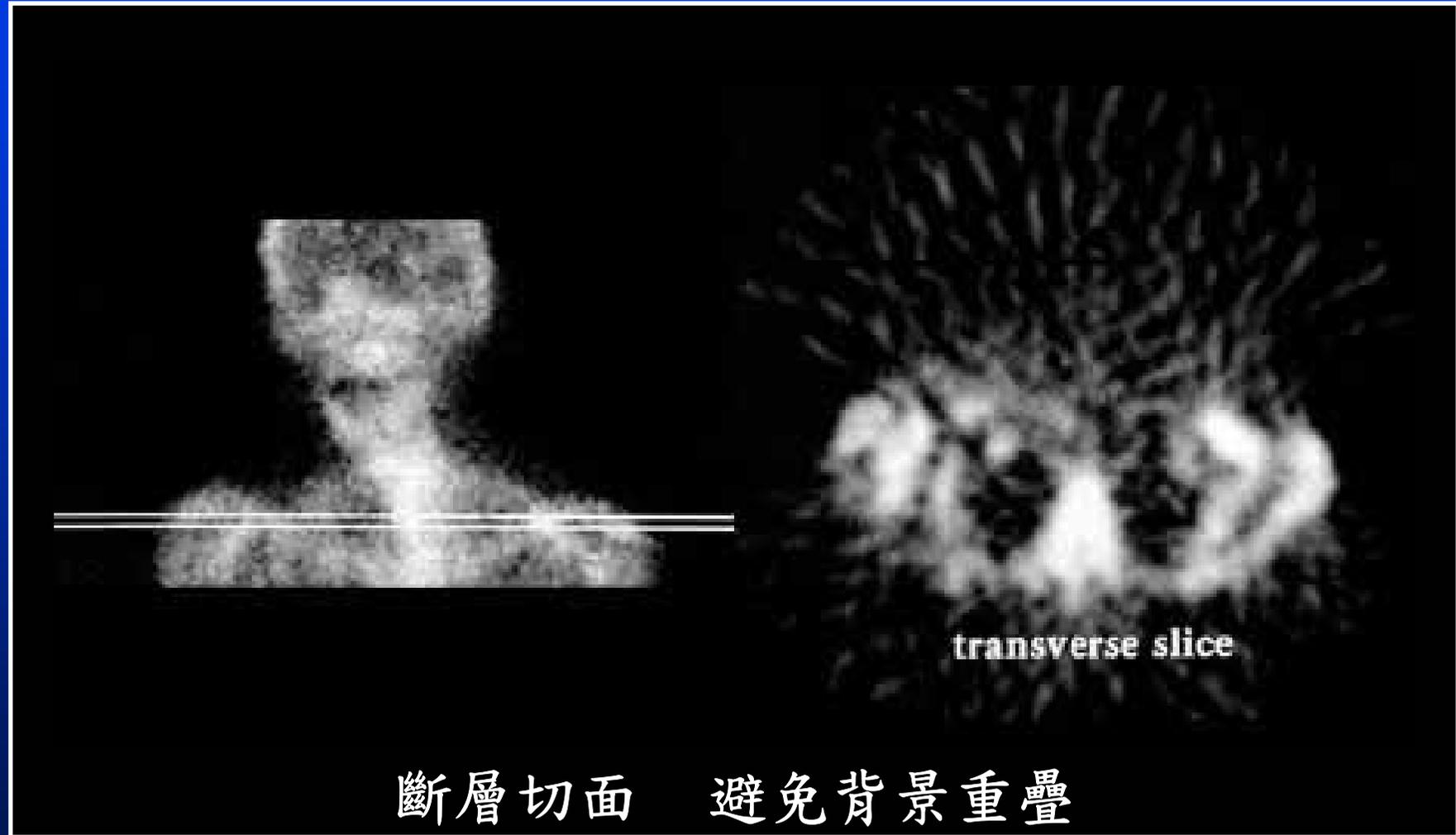


Dual head



Triple head

SPECT Images



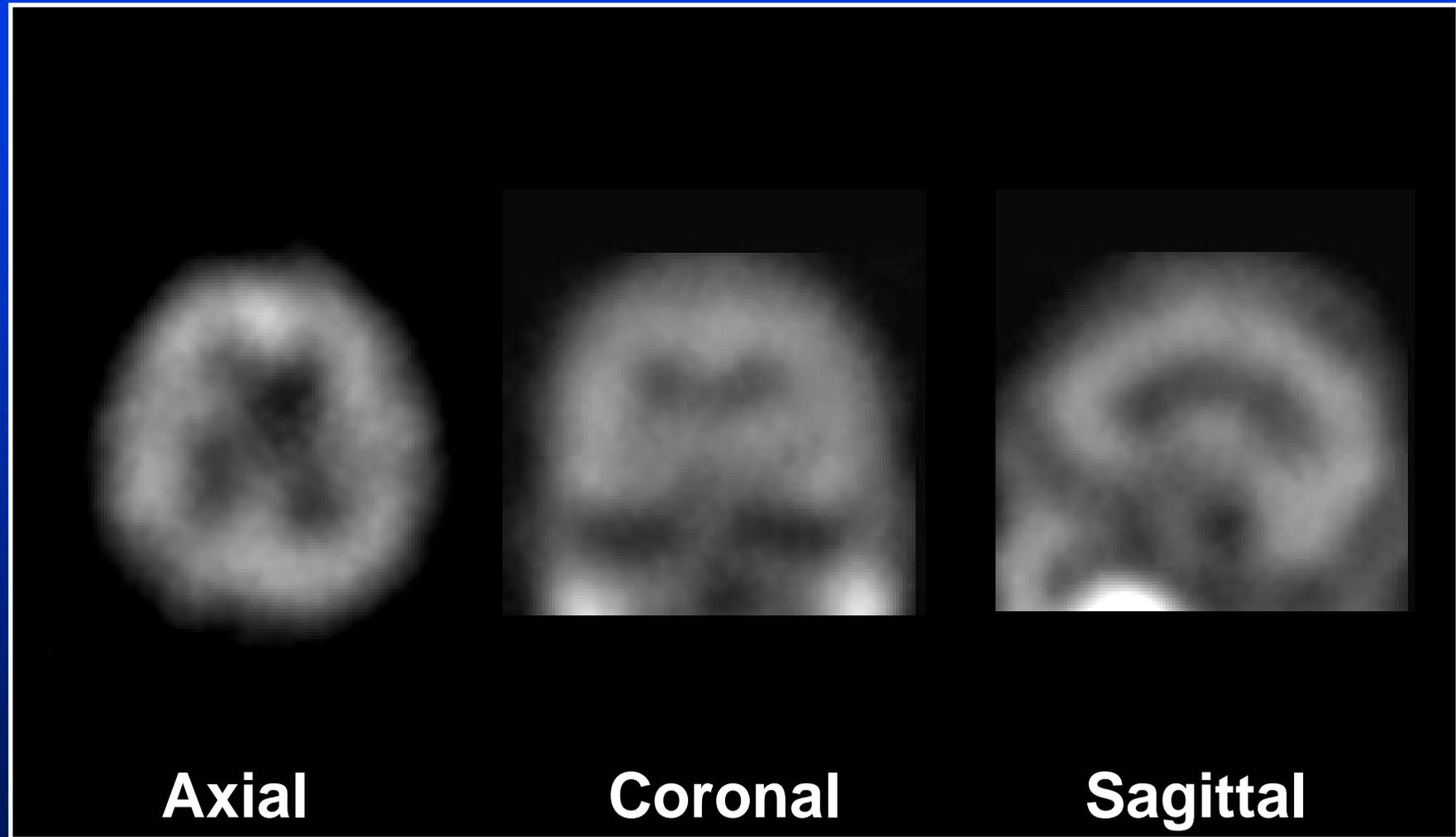
核醫影像診斷的幾項要素

- 放射性同位素的產生
- 放射藥物化學標記
- 器官功能診斷原理
- 影像偵測儀器

例：HMPAO for CBF

- Hexamethyl propylamineoxime
- 親脂性 (lypophilic)，迅速由血流帶入腦組織中，並立刻轉為極性分子不再擴散出腦組織外
- ^{99m}Tc -HMPAO：大腦血流

Tc-99m HMPAO 大腦血流 SPECT



許許多多的例子

- ^{99m}Tc -HMPAO : 腦血流
- ^{99m}Tc -MAA : 肺微灌流
- ^{99m}Tc -RBC : splenosis
- ^{99m}Tc -DTPA : 腎功能

更多的例子

- ^{123}I -NaI : 甲狀腺功能
- ^{133}Xe : pulmonary ventilation
- $^{81\text{m}}\text{Kr}$: pulmonary ventilation
- ^{111}In -WBC : 潛在發炎反應 ...

核醫最重要的目的

- 功能性檢測，不是只看器官形態
- 能看到何種「功能」，決定於化合物標記過程
- 儀器發展反而有減緩趨勢

正子放射斷層掃描

PET Introduction

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

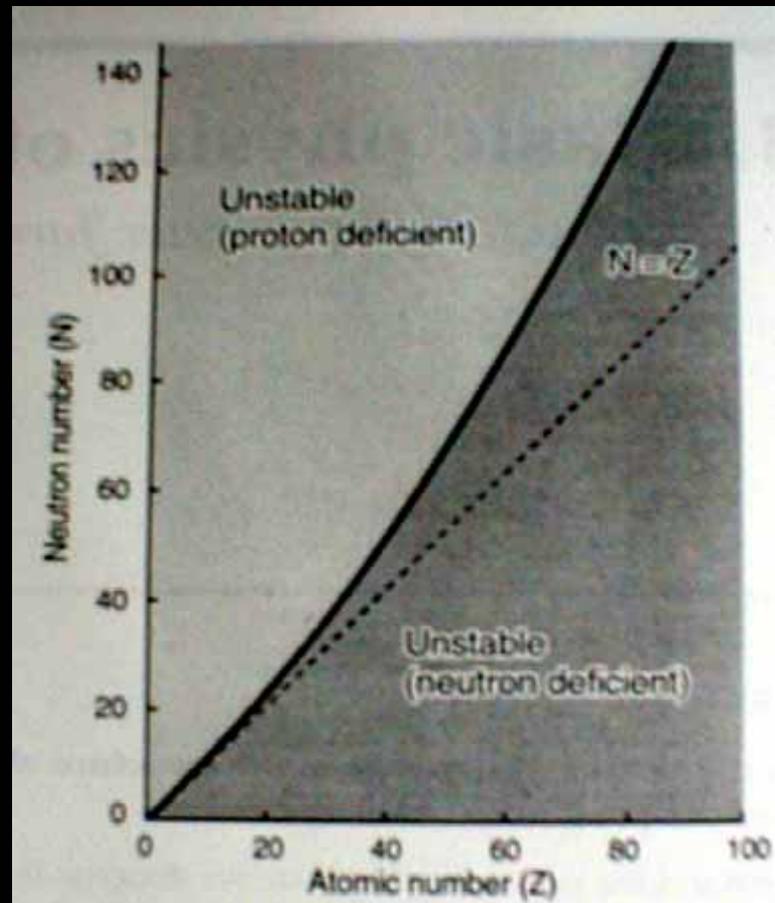
什麼是 PET ?

- Positron emission tomography
- 什麼是 positron ?
 - 帶正電的電子
 - 電子的「反物質」

會產生 β^+ 衰變的核種

- “Neutron poor” nuclei
- 自然界中幾乎找不到
- PET 中常用者：
 - ^{18}F , ^{15}O , ^{11}C , ^{13}N , ...

原子核的中子質子比



遠離穩定區的核種皆傾向產生衰變

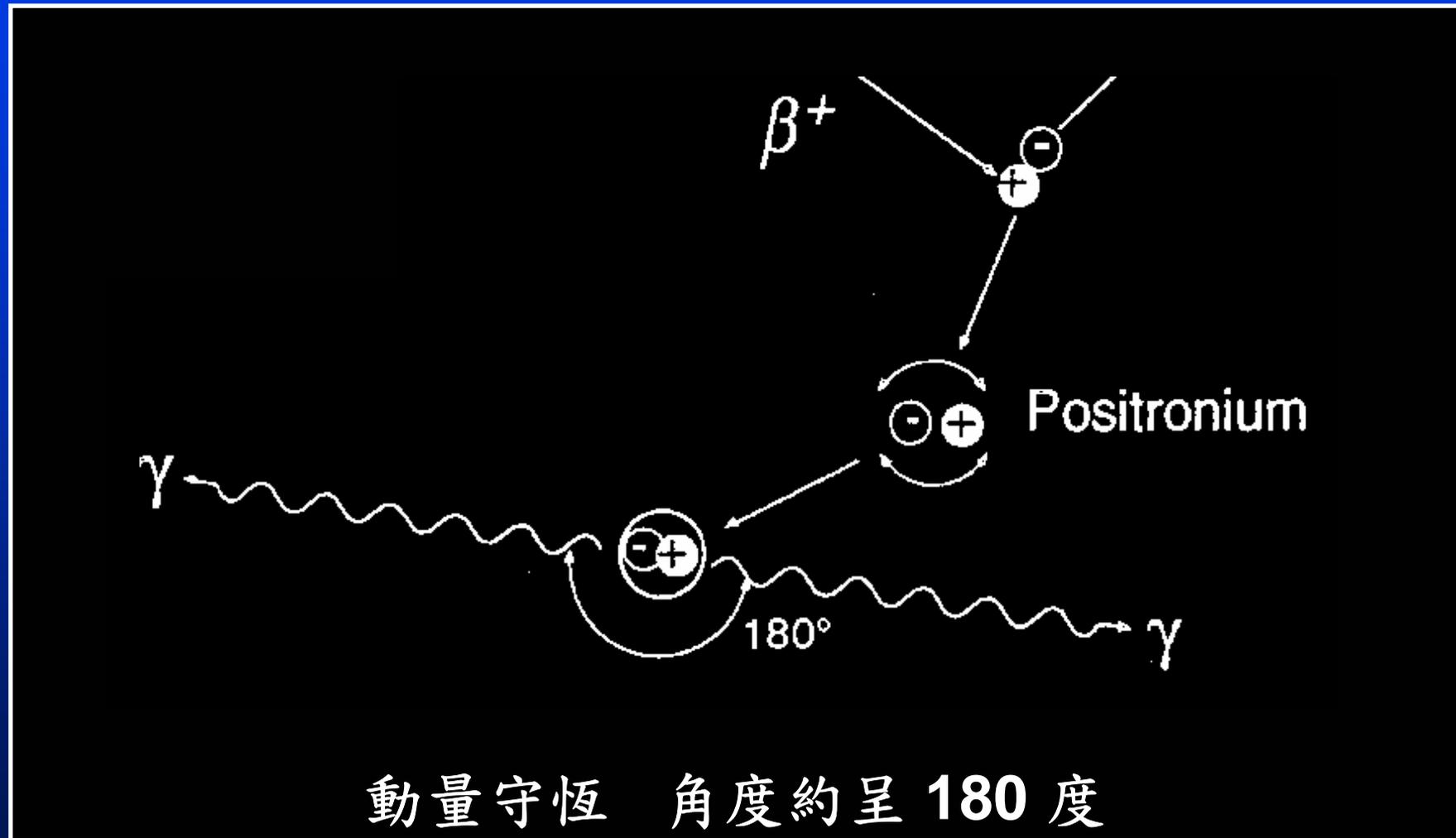
生產 β^+ 衰變核種的方式

- **Generator** 可以 (如 ^{82}Rb)，但不多
- 粒子撞擊標靶物
 - 例： $^{18}\text{O} (p,n) ^{18}\text{F}$ (半衰期 110 分)
 - 粒子加速器：**cyclotron**

但是 PET 並不偵測正子

- PET 偵測正子下一步的反應
- 正子在 1 mm 以內與電子產生互毀
– Annihilation
- 質量完全消失，轉化為能量 (γ ray)

Annihilation of Positron and Electron



Gamma Ray 能量

- Einstein relationship : $E = mc^2$
- 正子與電子質量固定，故產生之 gamma ray 能量亦固定 (511 KeV)
- Detector 製造與核種無關

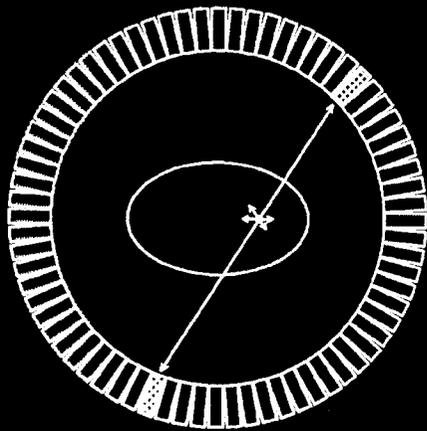
PET Signal Detection

- $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) : 高密度高原子序 (Bi : 83) , 適合 511 KeV 偵測
- BGO + 核醫儀器 + 同步偵測線路
– 但貴的是 cyclotron

Coincidence Detection

- 偵測同時發生的兩個 **events**
 - 表示正子發生源位於直線上
 - 已達到定位功能，取代準直儀
- 影像重建同 **CT**

Annihilation Coincidence Detection



原理



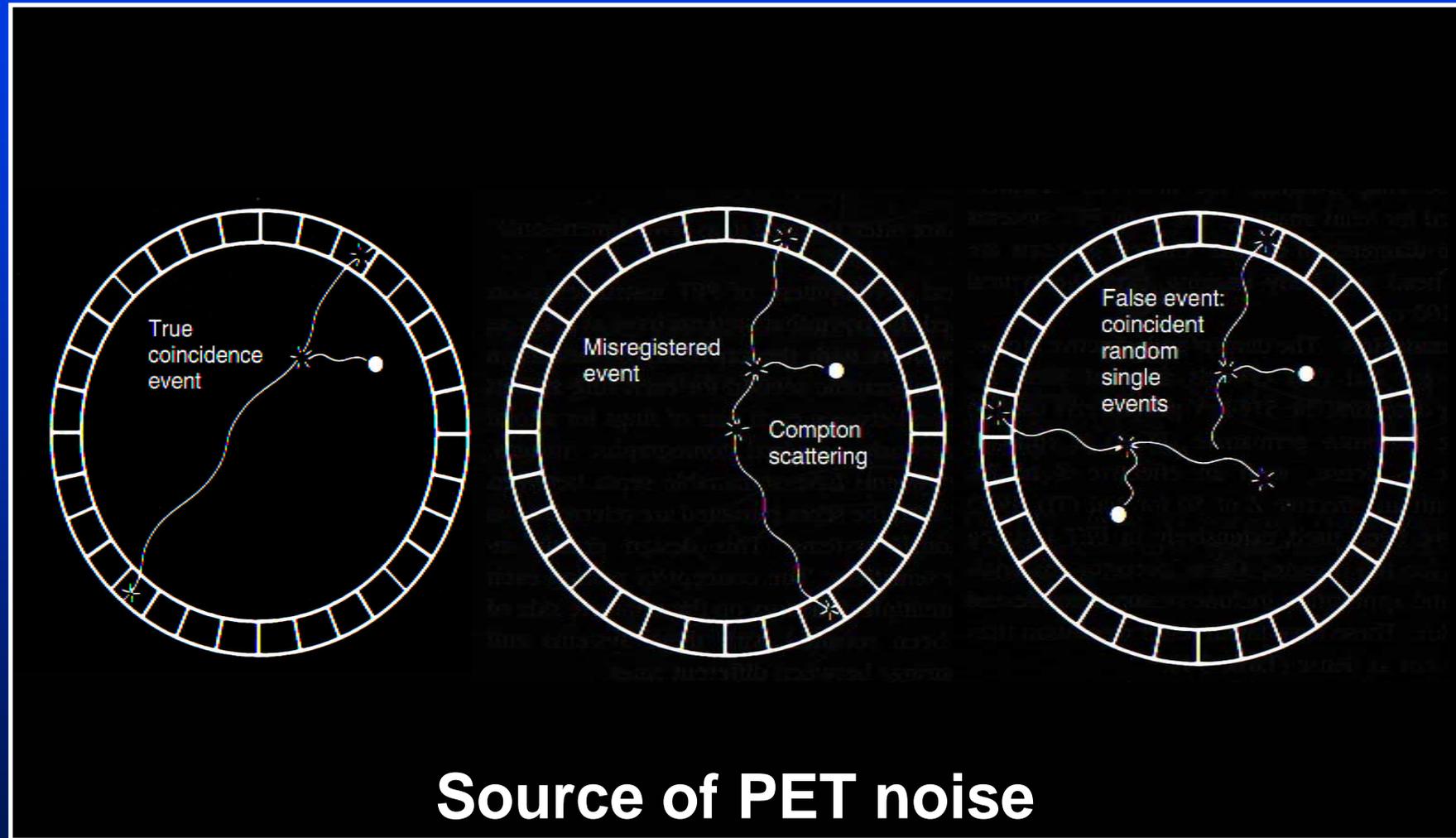
PET 内部構造

PET System



Siemens

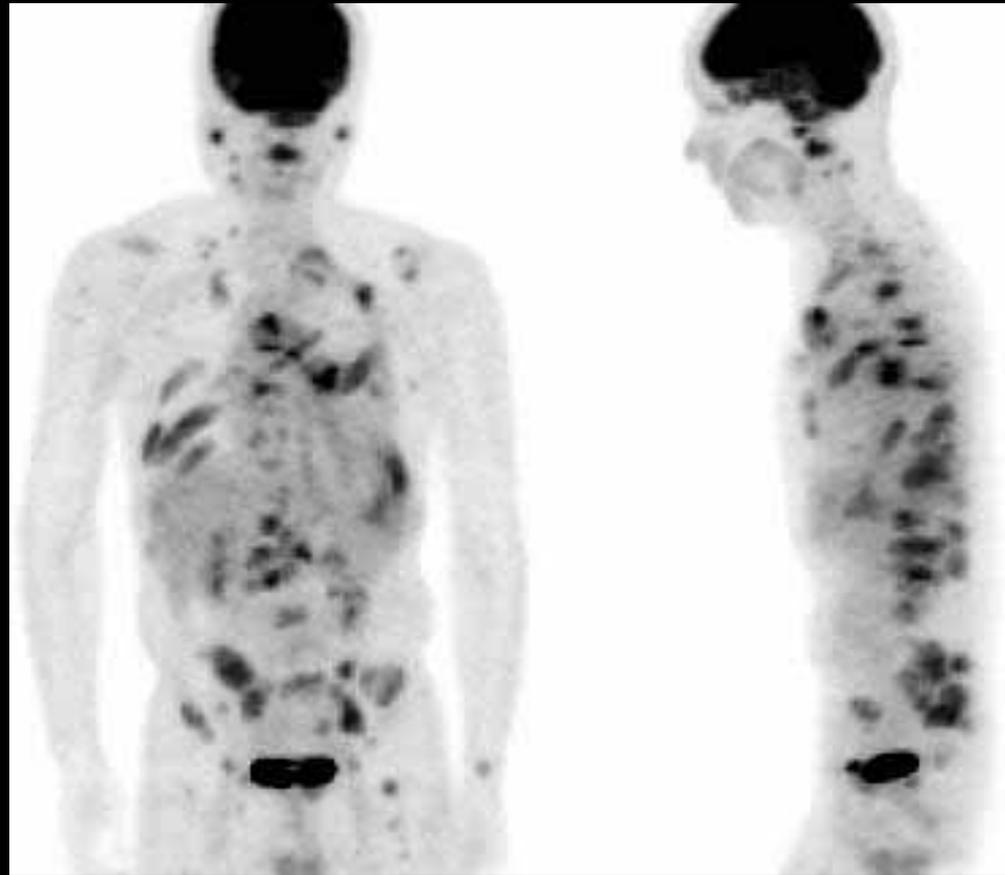
也不是沒有 False Coincidence



PET 的放射藥物化學標記

- ^{18}F -Fluorodeoxyglucose 最為常用
- 代謝過程類似一般葡萄糖，但在 **phosphorylation** 之後形成 **FDG 6-phosphate** 便停止，吸附於組織中
- 靜脈注射 **FDG**：葡萄糖代謝率

超高葡萄糖代謝率 from PET



Metastasis from whole-body PET

其他 PET 使用藥物

- ^{11}C -acetate : 鼻咽癌
- $6\text{-}^{18}\text{F}\text{-L-FDOPA}$: 多巴胺代謝
- H_2^{15}O : 大腦血流
- $^{15}\text{O}\text{-O}$: 組織含氧量 ...

PET 引人矚目的幾項原因

- 一般民眾：FDG 癌症早期篩檢
- 自然科學學生：聽起來像高科技
- 正電子同位素多半是低原子序核種
 - 生物體所富含的有機質

其他醫學影像 ...

- 下週待續