

# 核子醫學影像簡介

# Nuclear Medicine

鍾孝文 副教授

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

---

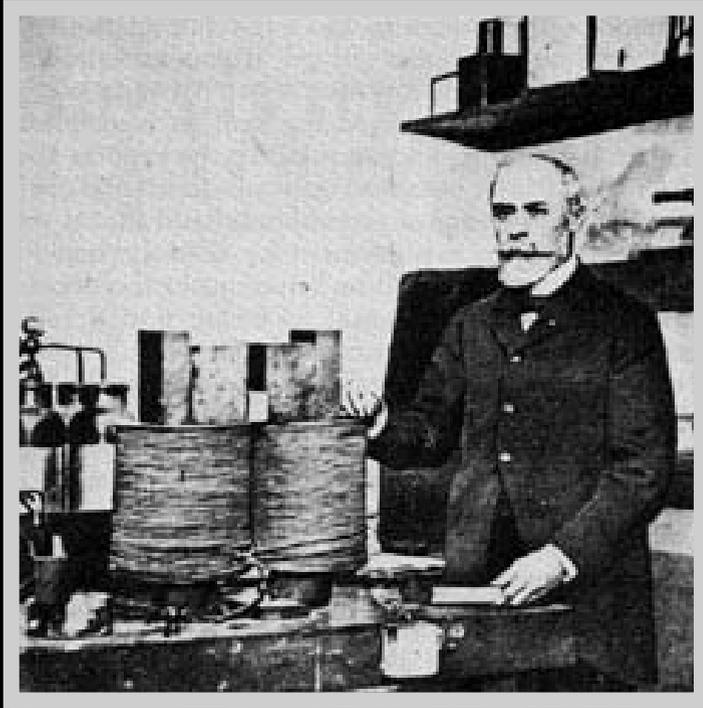
- **Henri Becquerel (1852-1908) : 鈾的 radioactivity (1896)**
- **Pierre/Marie Curie (1858-1906, 1867-1934) : Radium 鐳 (1898)**

# Becquerel 的實驗

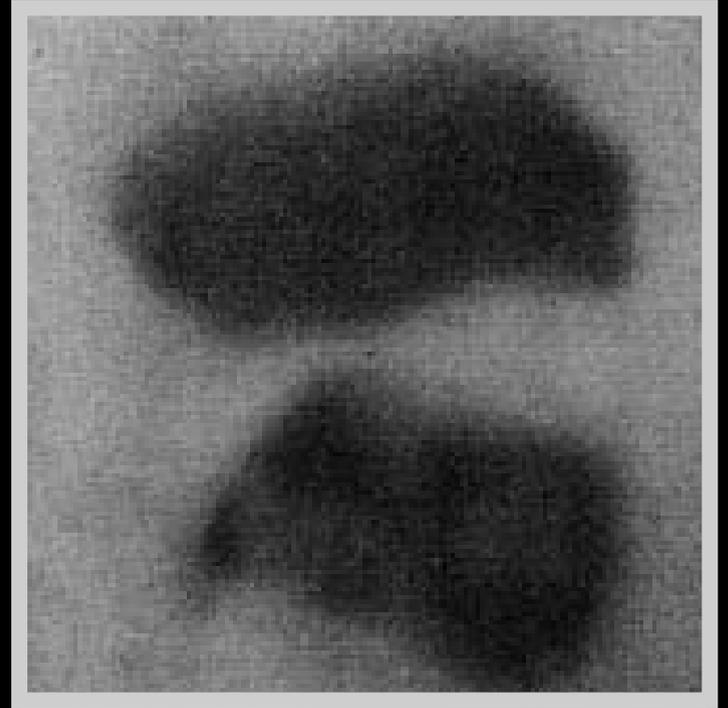
---

- 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
  - 天氣好也只是一點點曝光
  - 天氣不好也可以曝光

# 貝克勒爾與鈾的放射性



Henri Becquerel



硫酸鈾的曝光照片

# 居禮夫人的研究

---

- 居禮夫人對鐳的放射性的描述：
  - 類似倫琴射線，但更具穿透性 ...
- 兩噸瀝青鈾礦提煉出 6.5 mg 鐳
  - 還不包括更多倍的水與化學藥物

# 居禮夫婦的貢獻



**Pierre/Marie Curie**



**當時的瀝青鈾礦槽**

# 社會對鐳所寄予的厚望

---

- 輻射線蘊藏的無限能量
- 透視人體 (診斷)
- 盲人重見光明
- 腫瘤放射治療 ...

# 鐳射線的腫瘤治療 (1906)



突出性 angioma



鐳射線治療後

# 放射線蘊藏的無限能量

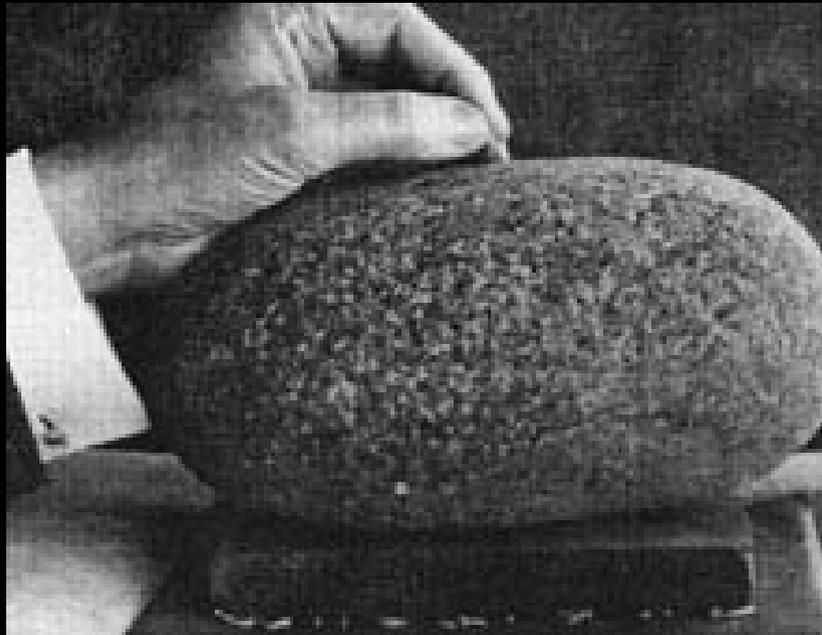


鈷與鐳的化妝品



放射性原子能汽水

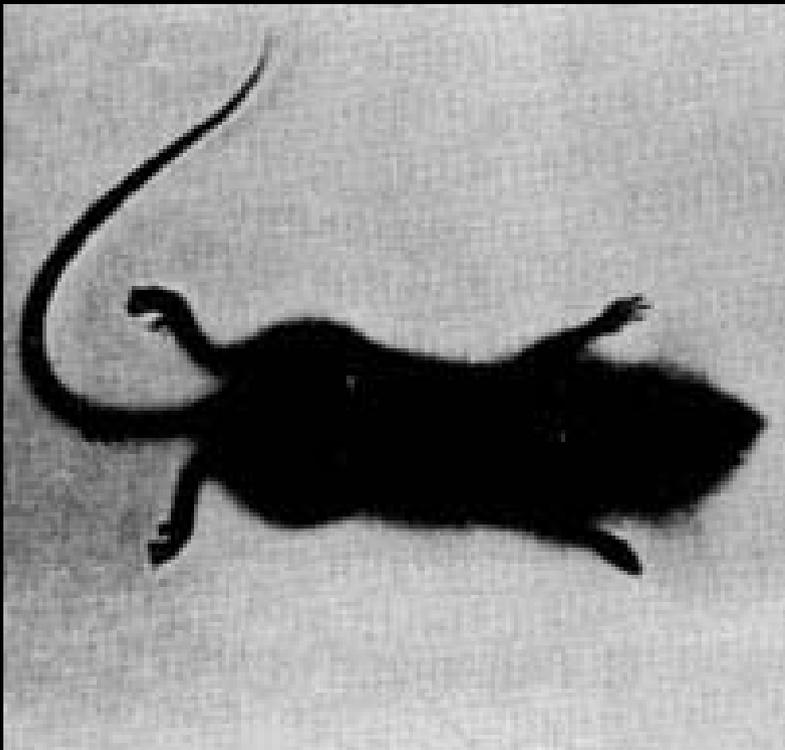
# 鐳射線的穿透性 (1907)



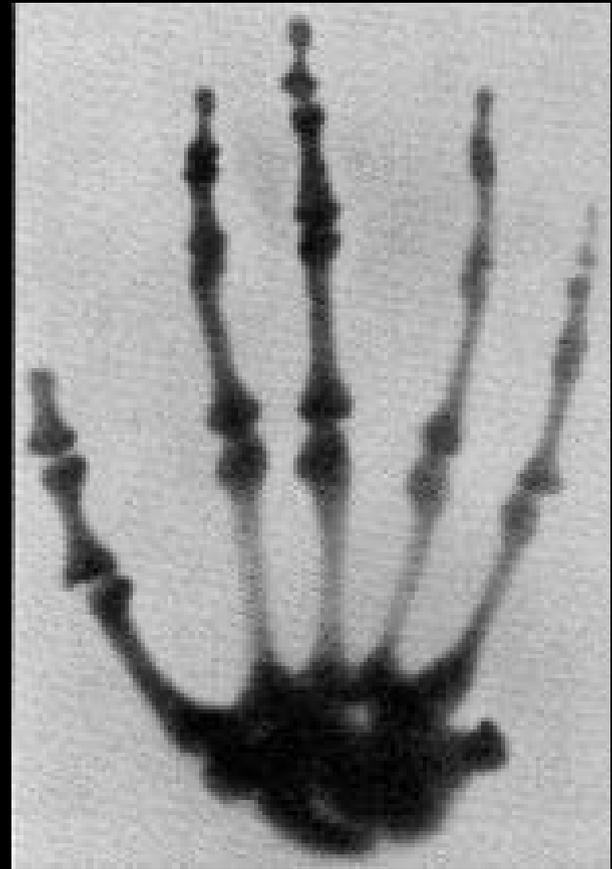
60 mg 溴化鐳

鉛字曝光三天後

# Radiumgraphs (1904)



老鼠的鐳射線影像



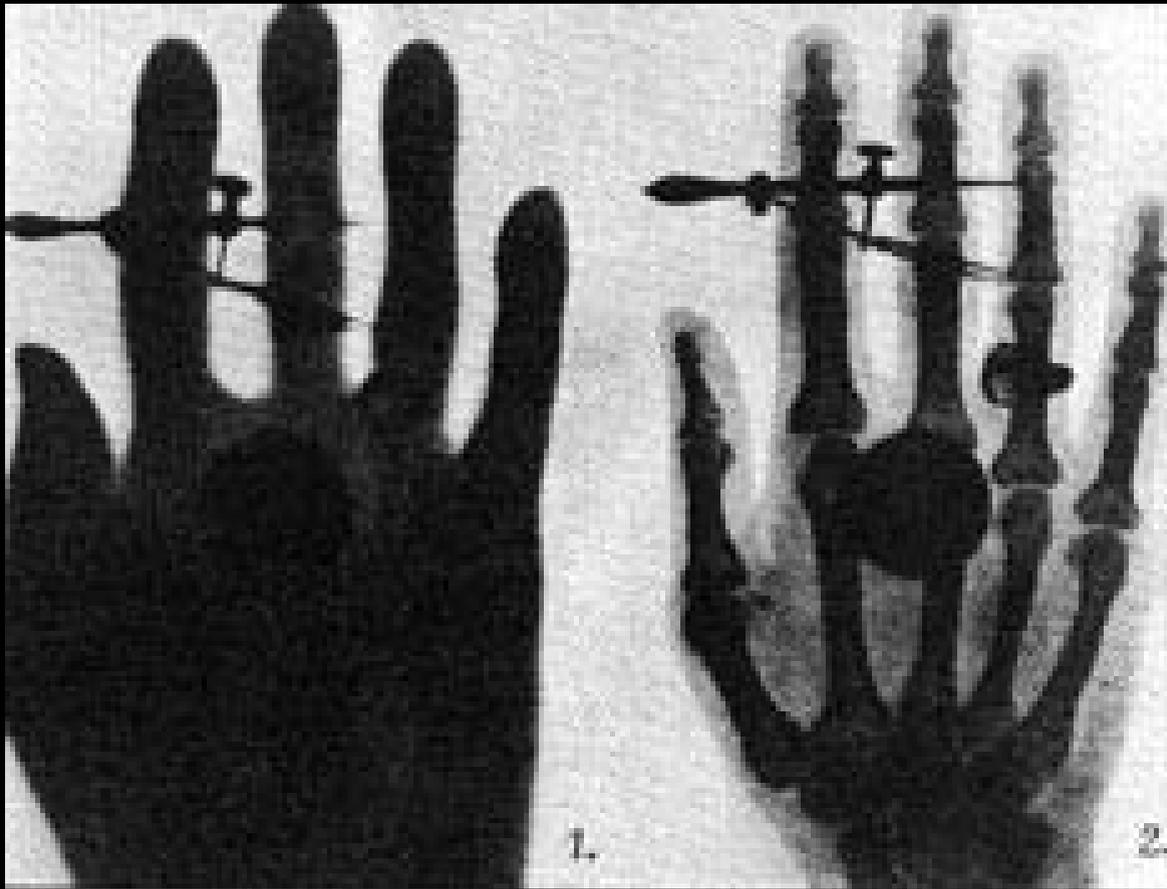
手 (10 mg Ra , 6 hr)

# 醫用鐳射線的衰退

---

- 提煉不易，製造昂貴
- 難以隨意控制 (X 光可開可關)
- 曝光時間過久，對比較差
- 僅放射治療方面仍有持續研究

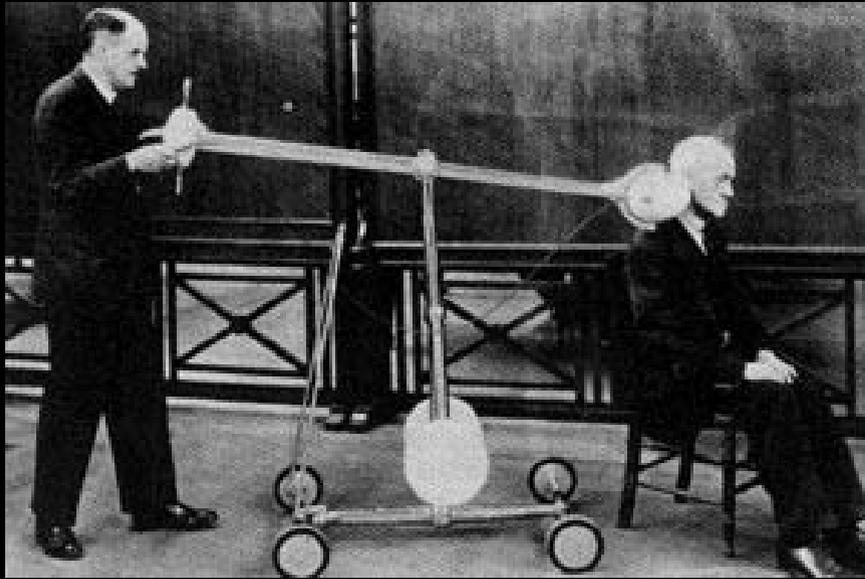
# 鐳影像與 X 光的比較 (1911)



鐳影像 (劑量高)

X 光 (劑量低)

# Radium Bomb

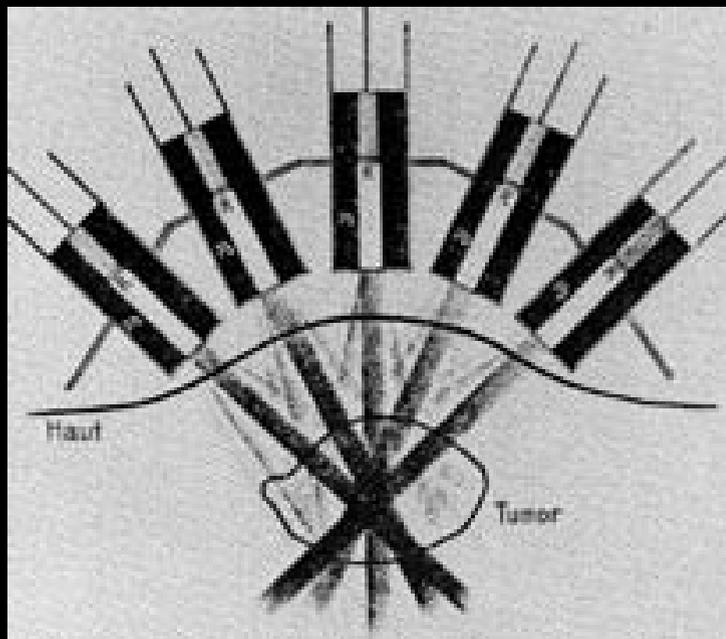


**Flint (1934, 1g Ra)**

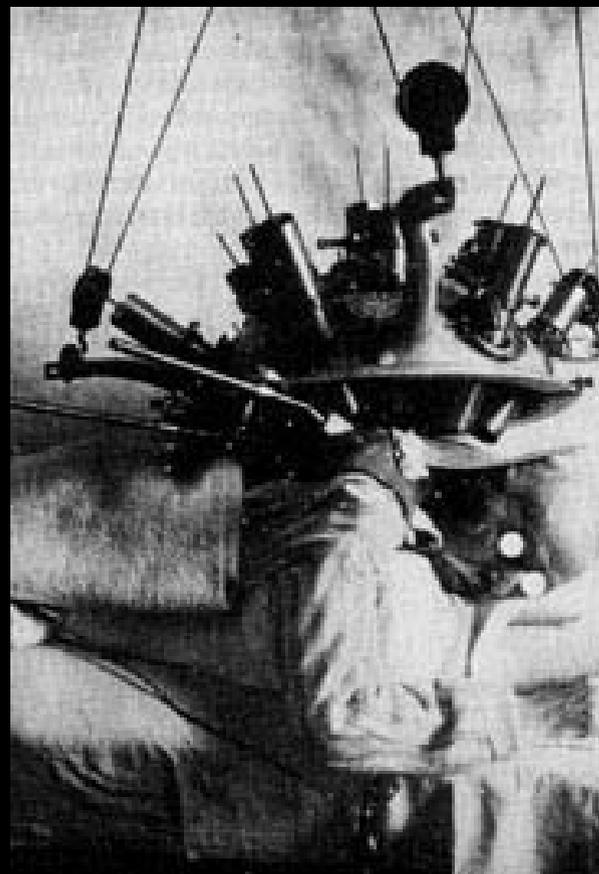


**Bryant Symons (1940s)**

# Sluys-Kessler Radium Bomb (1925)



聚焦式腫瘤治療



實體圖 (1.3g Ra)

# 穿透性射線的來源

---

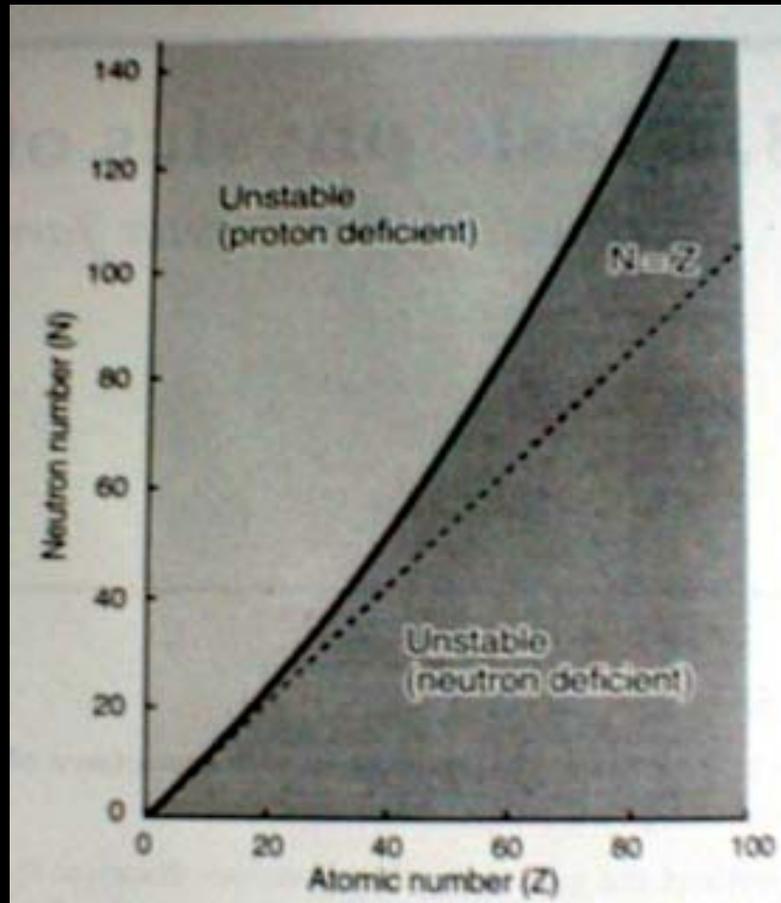
- **Gamma ray ( $\gamma$  射線)**
- 來自不穩定原子核衰變
- 原子核高能態轉至低能態，能量差異以電磁波形式釋出

# 放射性元素的原子核衰變

---

- $\alpha$  (氦原子核) 衰變
- $\beta^-$  (電子) 衰變
- $\beta^+$  (正子) 衰變, **electron capture**
- $\gamma$  (射線) 衰變 (核醫中最重要者)

# 原子核的中子質子比



遠離穩定區的核種皆傾向產生衰變

# 粒子衰變 ( $\alpha$ , $\beta^-$ )

---

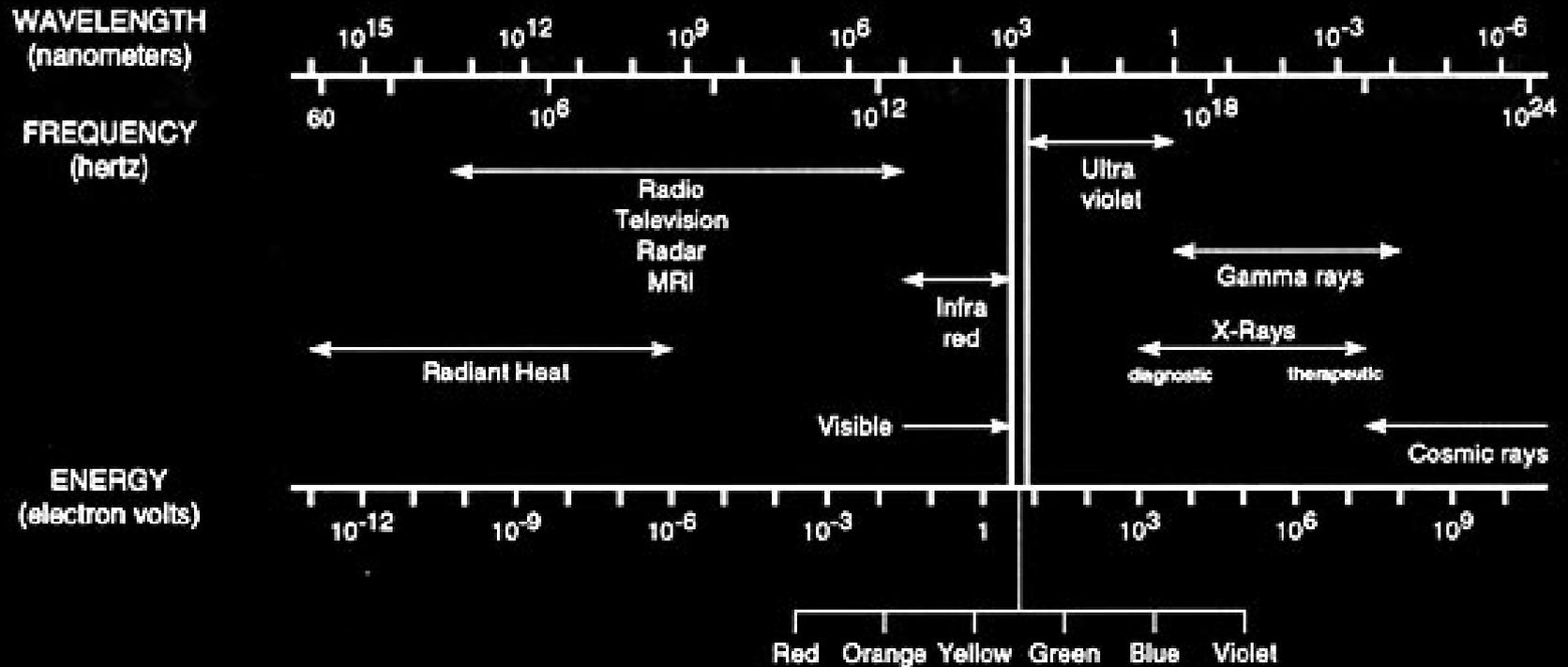
- 蛻變成不同元素
- 也經常伴有能量釋放
- 帶電粒子穿透性低，易為人體吸收，因此核醫中儘量不使用

# $\gamma$ 衰變

---

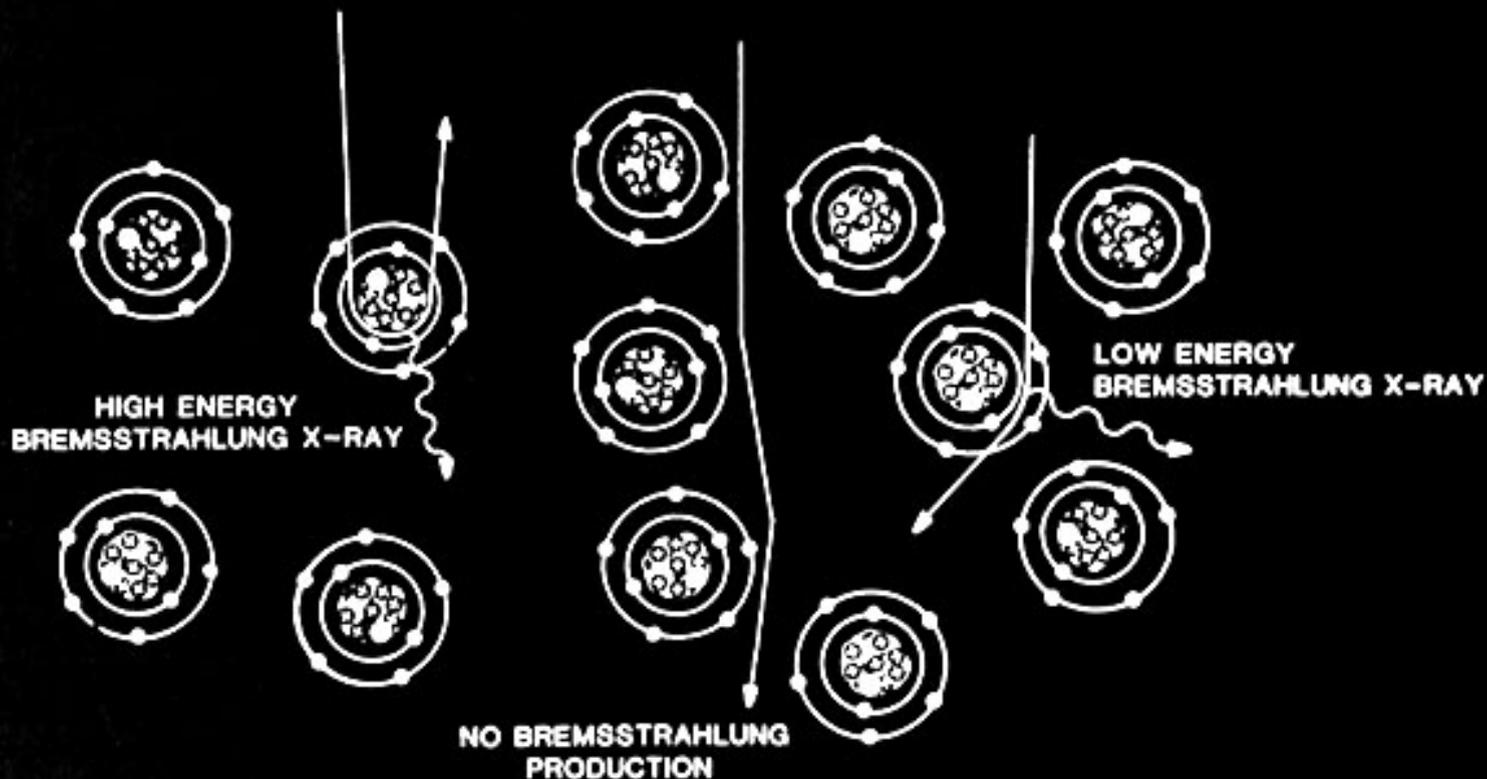
- $\gamma$  ray : 能量高於紫外線之電磁波
  - X ray : 源自於電子產生
  - $\gamma$  ray : 源自於原子核
- 核醫多採用 **metastable** 核種產生

# 電磁波頻譜



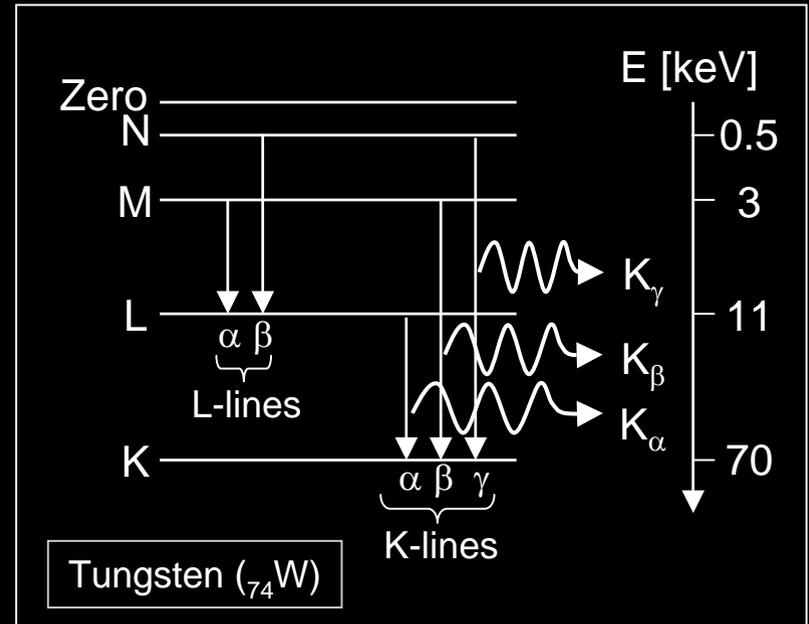
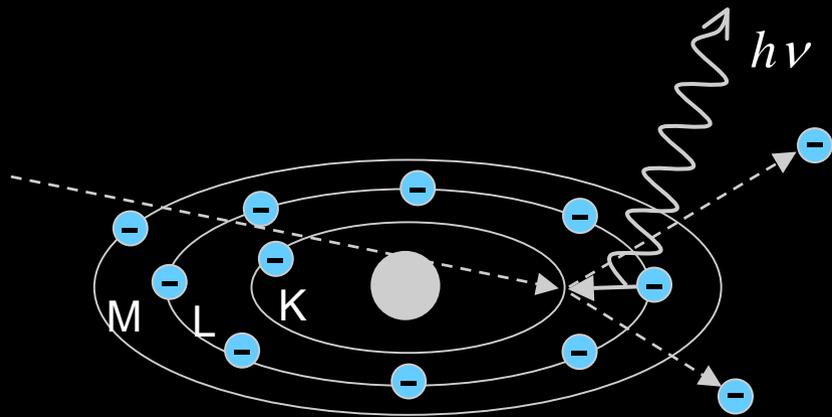
X 光與  $\gamma$  射線基本上性質相同

# 電子的煞車效應 (Bremsstrahlung)



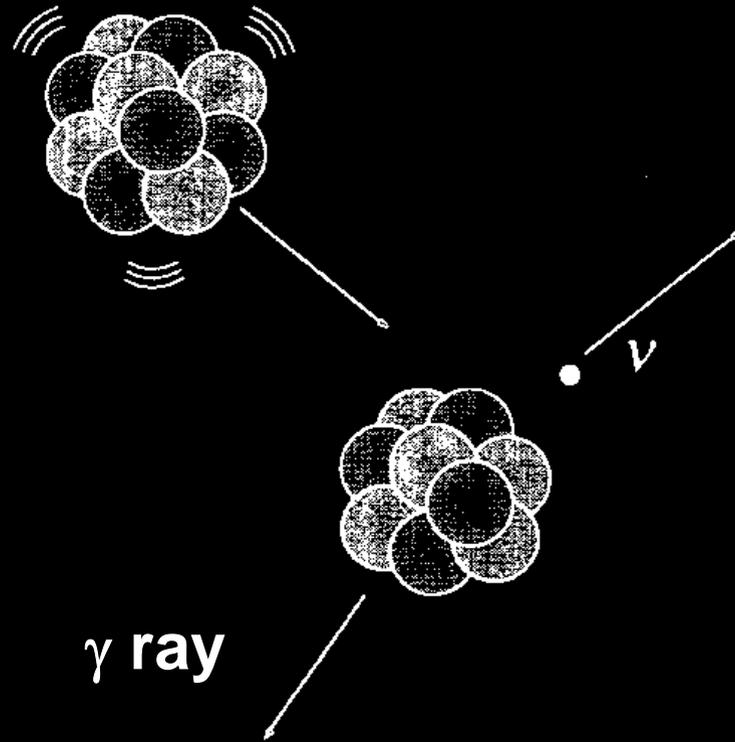
能量損失以輻射形式釋出

# X-ray Characteristic Radiation



產生固定能量的 X 光

# Gamma Ray 的產生



高能量不穩定原子核釋放能量所產生

# Metastable State

---

- 經常是在核衰變過程中的中間產物
- 原子核仍處於高能量不穩定狀態
- 如  $^{99}\text{Mo}_{42} \rightarrow ^{99\text{m}}\text{Tc}_{43} \rightarrow ^{99}\text{Tc}_{43}$
- 不具粒子輻射，減少輻射傷害

# 回頭：核子醫學檢測

---

- 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
- 好像跟前面所提的都不一樣 :P

# 現在的核醫相關應用

---

- 核醫影像檢查 (Nuclear Med)
  - 今天課程範圍
- 體外生化檢測
- 放射腫瘤治療 (Oncology)

# 今日核醫檢測的初期發展

---

- **Blumgart & Weiss (1927)**
- 氡 (Radon) 水溶液注入手臂
  - 監測手臂血流速度
- 當時只有鐳與氡可供影像使用

# 核醫初期發展 (de Hevesy)

---

- **1932 鈷：植物硝酸鹽吸收**
- **1935 D<sub>2</sub>O 體液轉換過程**
- **1936 Neutron activation analysis**
- **1942 紅血球放射性同位素標記**

# 可見得核醫影像的要素

---

- 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

# 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

# 適合的放射性同位素

---

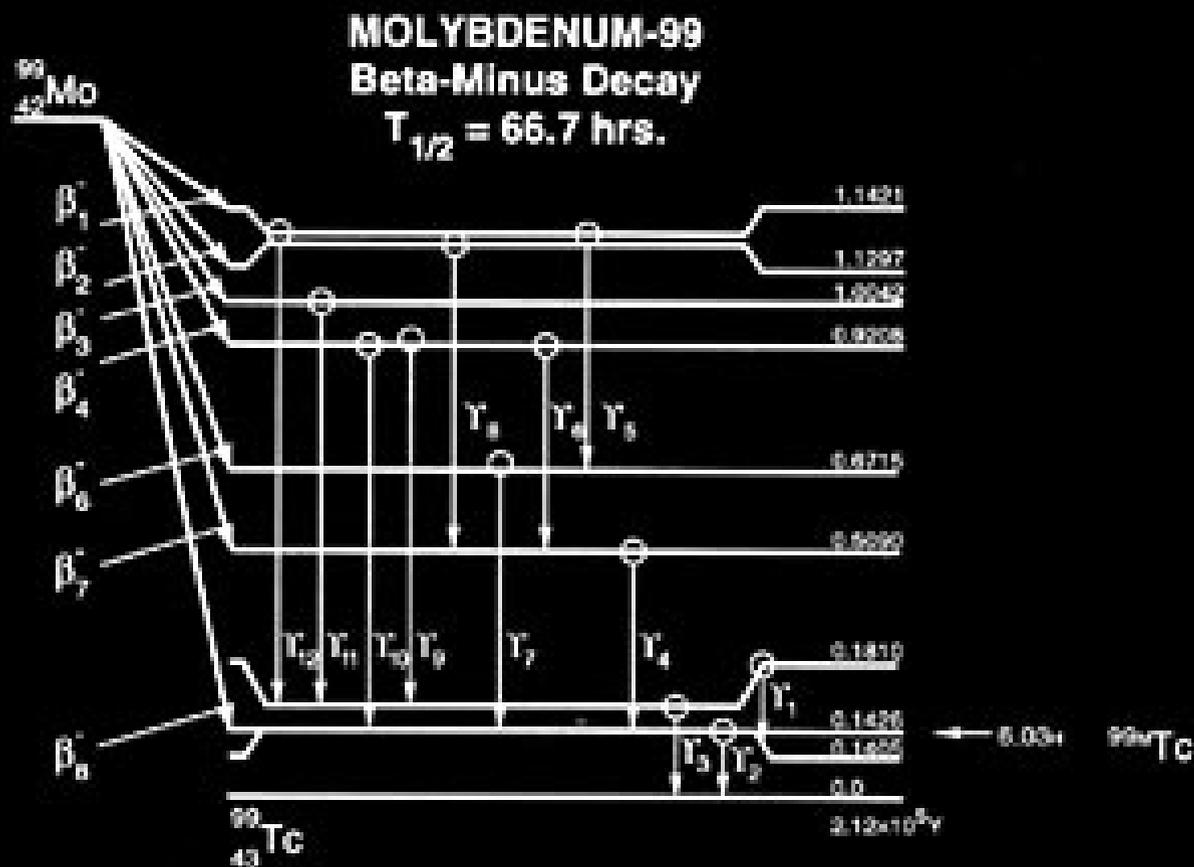
- 適當的半衰期長度
- 射線能量與充足性
- 無其他射線產生 (如  $\beta^-$ )
- 易於生產與標記

# $^{99m}\text{Tc}$ (Technetium 鎝)

---

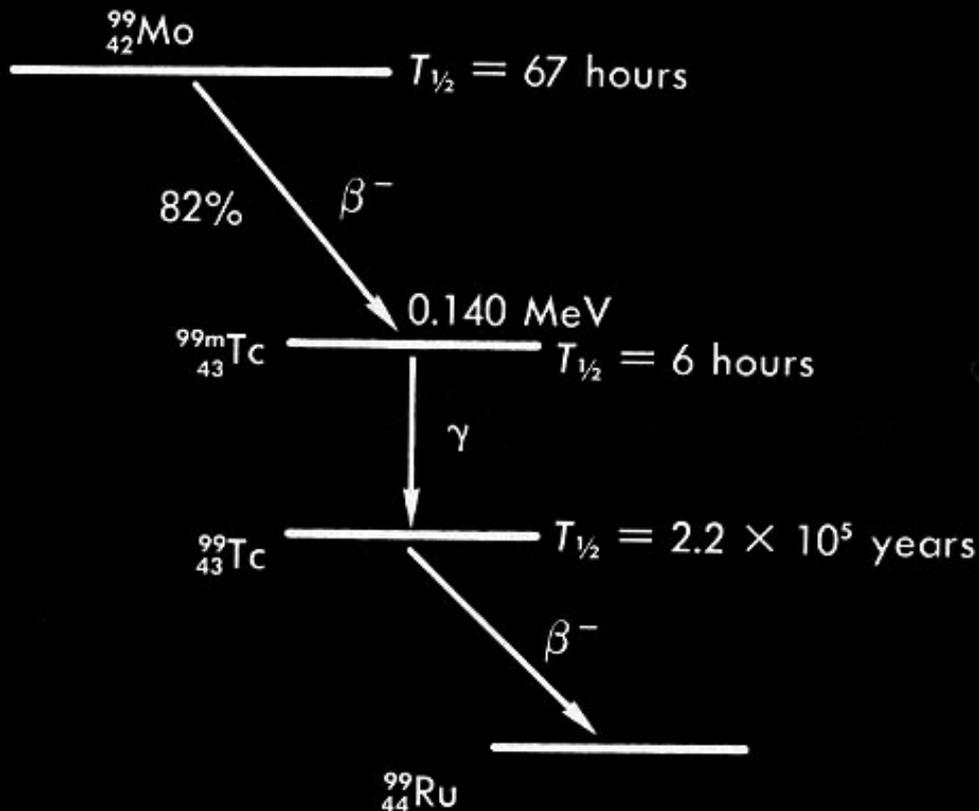
- 目前最廣泛使用於核醫的核種
- 6 hr 半衰期 ( $^{99m}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$ )
- 140 KeV 單一射源
- 88% abundance

# $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的衰變途徑



不太有時間詳細解釋

# $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的「主要」衰變途徑



比較可以了解了

# 註：半衰期長短

---

- 太長：射線產生慢
  - 影像差、劑量高、對環境影響
  - 例： $^{125}\text{I}$ ：電子攫取 + 35 KeV
  - 半衰期 65 天

# 註：半衰期長短

---

- 太短：衰減太快
  - 無法儲存運輸、甚至無法掃瞄
  - 例： $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ：190 KeV
  - 半衰期 13 秒

# 註： $\gamma$ 射線能量

---

- 能量太高
  - 穿透能力過強、偵測器難與反應
- 能量太低
  - 人體吸收過多、徒增輻射劑量

# 註：化學標記 (Labeling)

---

- 容易標記總是件好事
- 但是隨應用方向而不同
- 待會會再加描述

# 回到最常用的鎝

---

- $^{99m}\text{Tc}$  : 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  $\gamma$  ray
- 140 KeV 單一射源

# $^{99m}\text{Tc}$ 的製造方式

---

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

# $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 產生器

---

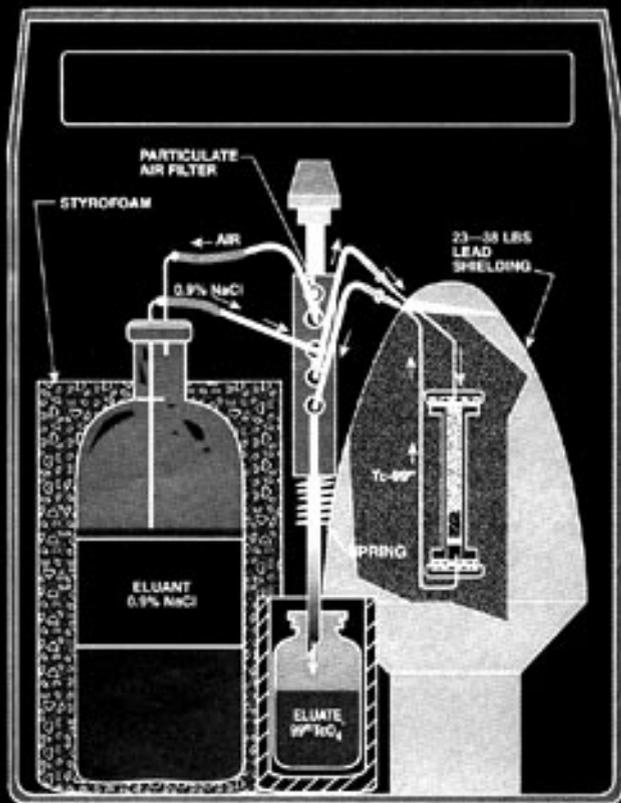
- $^{99}\text{Mo}$  以  $(\text{NH}_4)^+(\text{MoO}_4)^-$  形式吸附在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  之上
  - $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 多孔材質
- $^{99}\text{Mo}$  蛻變之後生成鉬鎔混合物

# $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 產生器

---

- $^{99}\text{Mo}$  蛻變之後生成鉬鎝混合物
- $\text{Tc}$  : 束縛力遠小於  $\text{Mo}$
- 以生理食鹽水將鎝沖洗分離 (elute)
- “Milking” the “cow”

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



構造簡圖



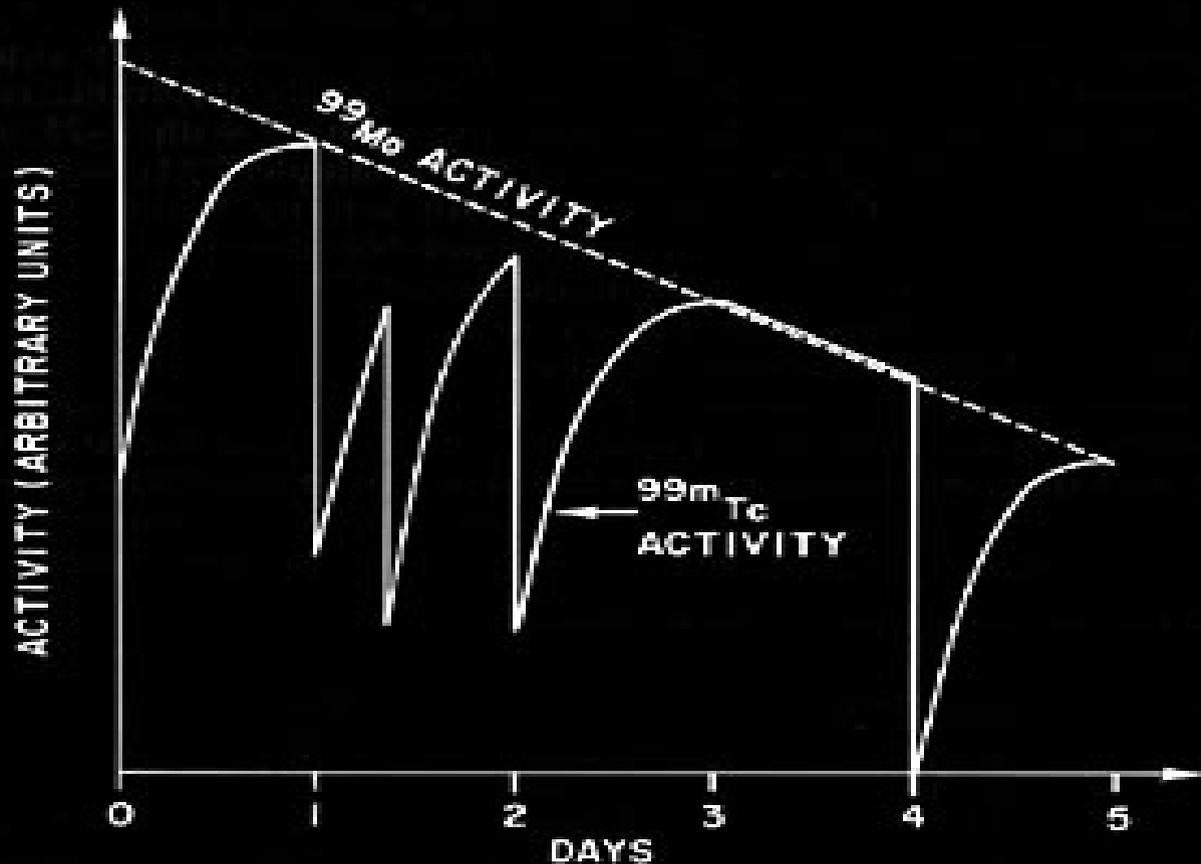
實體照片

# Some Details ...

---

- $^{99}\text{Mo}$  : 半衰期 67 hr
  - 每週需重新供應 generator
  - 每日 elution 之後的短暫低活性
- 由中子撞擊  $^{235}\text{U}$  核分裂產生

# $^{99m}\text{Tc}$ 一週內經過 Elution 的活性曲線



醫院內大約是每天 elution 一次

# 何以鉬鎝最受歡迎？

---

- $^{99}\text{Mo}$  (67 hr)- $^{99\text{m}}\text{Tc}$  (6 hr)產生器
- 比較： $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$  產生器
- 半衰期  $^{81}\text{Rb}$  : 4.7 hr,  $^{81\text{m}}\text{Kr}$  : 13 秒
- 出廠後十二小時內就沒了 (送貨?)

# 其他的放射性核種產生器

---

- 乾式  $^{99}\text{Mo}$ - $^{99\text{m}}\text{Tc}$  產生器
- $^{81}\text{Rb}$ - $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 $^{68}\text{Ge}$ - $^{68}\text{Ga}$  ...
- 核反應爐 (熱中子反應、核分裂)
- 粒子加速器 (待會會提)

# 核醫影像診斷的幾項要素

---

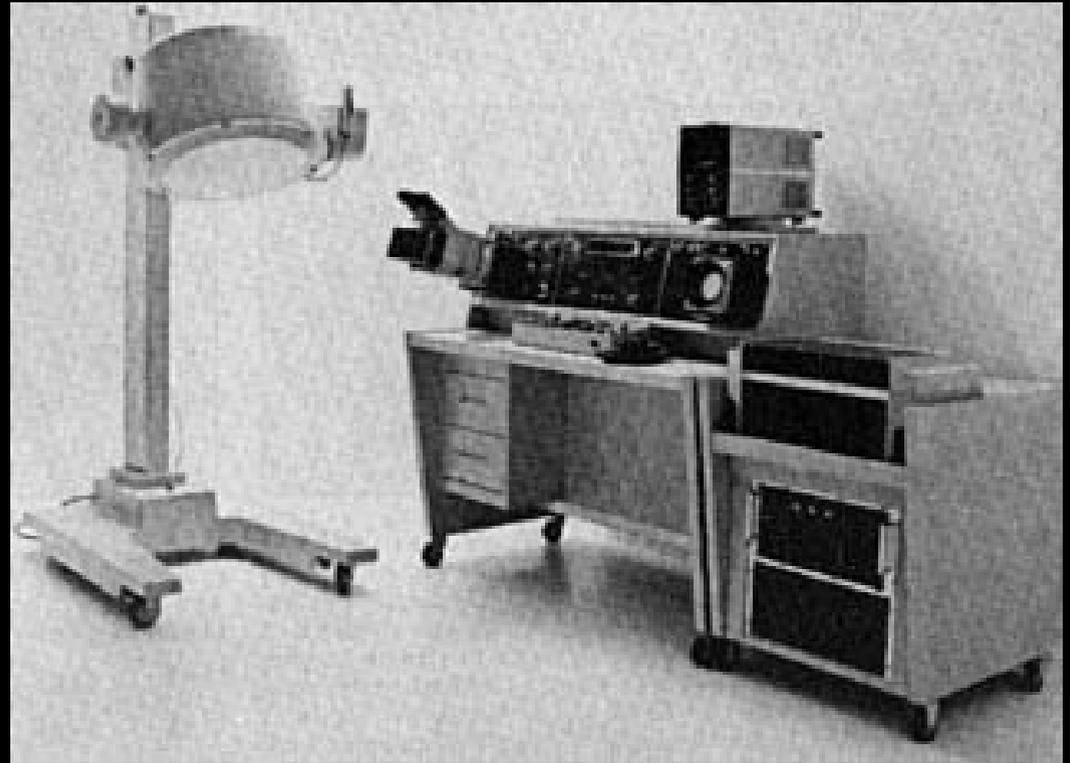
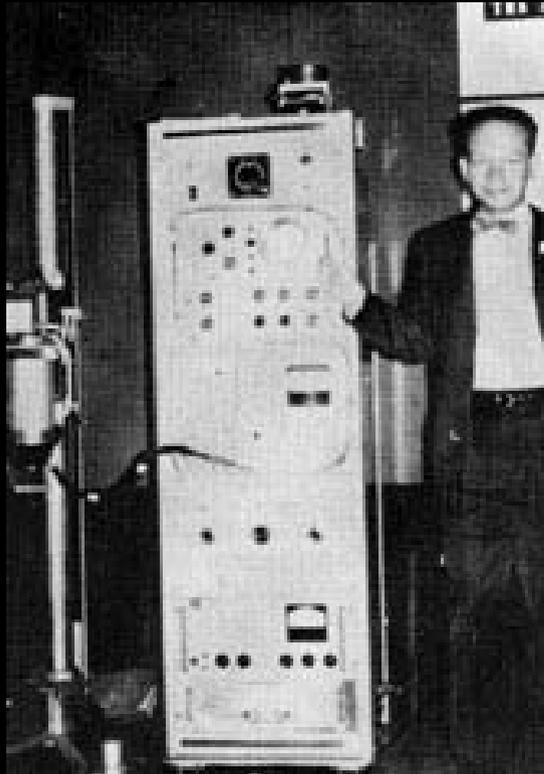
- 放射性同位素的產生
- 放射藥物化學標記
- 器官功能診斷原理
- 影像偵測儀器

# Gamma Camera

---

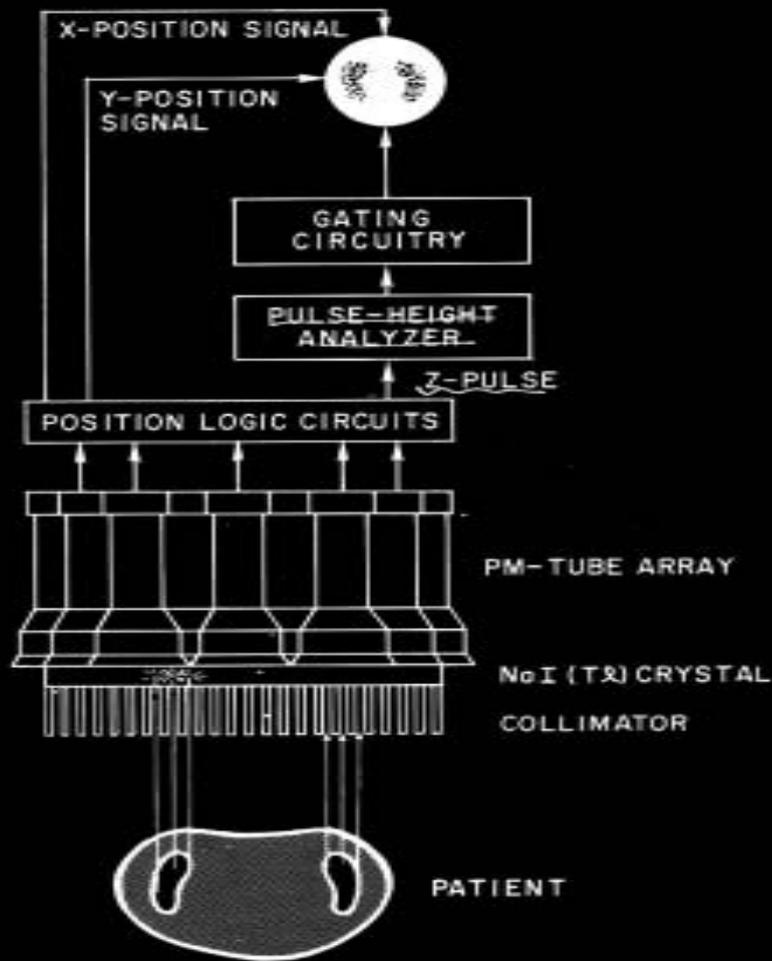
- Hal Anger, 1958 (Anger camera)
- 核醫影像目前最重要的儀器
- 閃爍計數器 + 準直儀 + 光電倍增管  
+ 波高分析器 + 位置邏輯線路

# Hal Anger 與 Gamma Camera

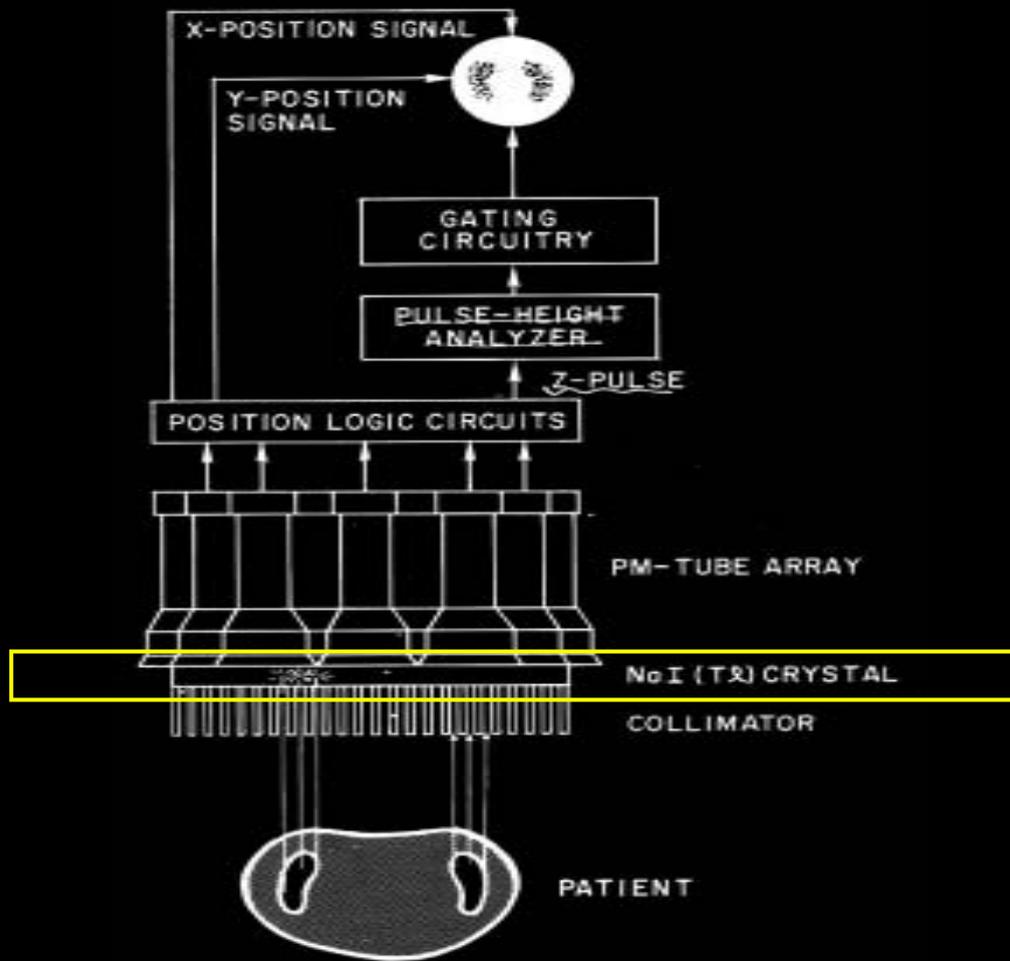


1958

# Gamma Camera 功能構造簡圖



# Gamma Camera 功能構造簡圖



# 閃爍計數器 Scintillator

---

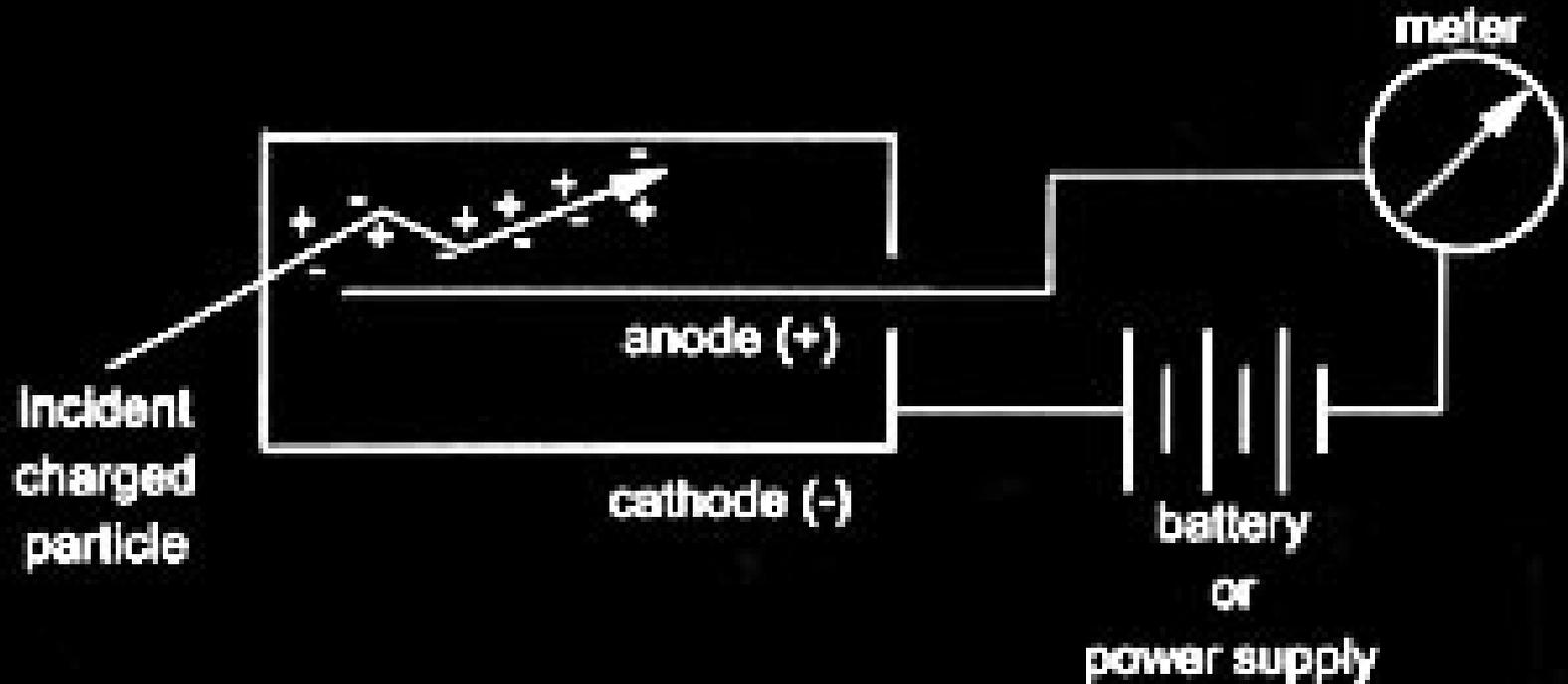
- 碘化鈉 (NaI) 晶體摻入鉍 (TI)
- **Gamma ray** 的游離性輻射激發電子
- 電子回到低能量時釋放可見光 (UV)
  - **Forbidden gap** → **valence band**

# 不是一定要 Scintillator

---

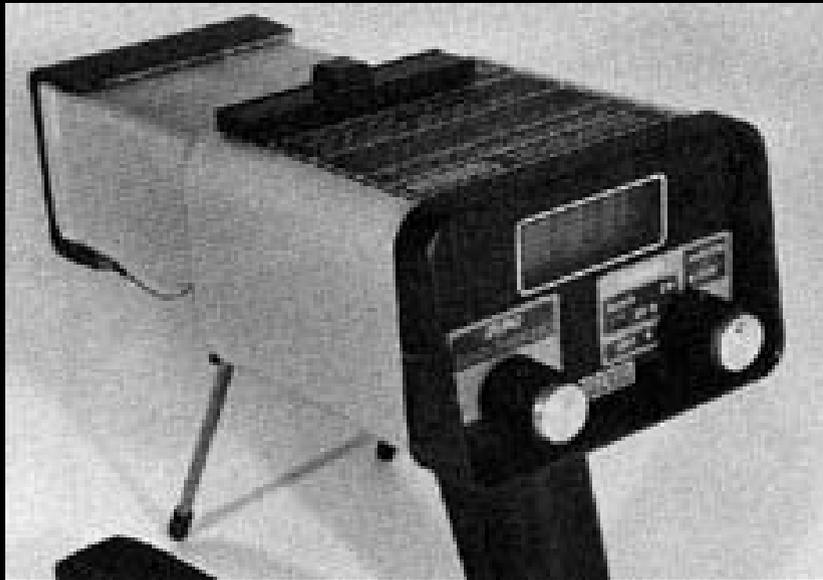
- 只要能轉換 gamma ray 就能偵測
- **Gas-filled detectors**
  - Geiger-Mueller counter
- **Solid-state detectors**

# Gas-filled Detector 原理

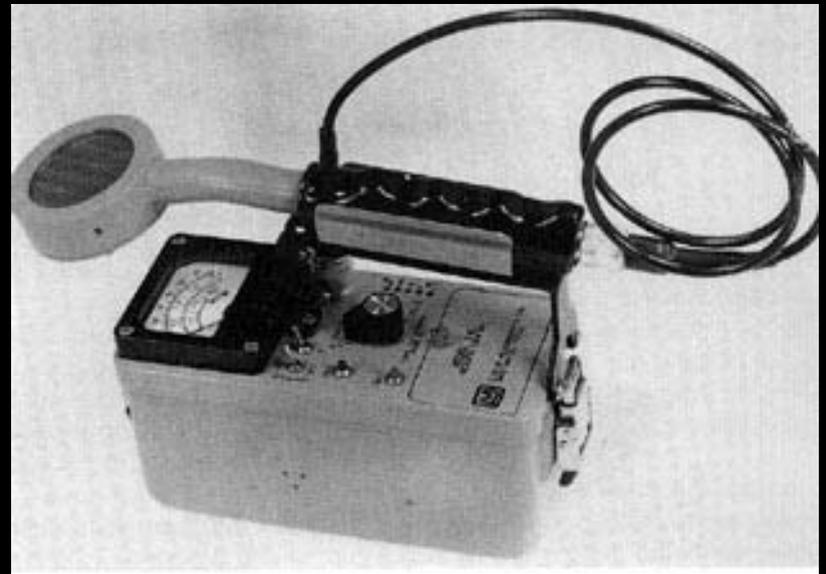


入射光 → 電流

# Gas-Filled Detectors (少做影像使用)



可攜式 ion chamber



GM survey meter

# Solid-State Detectors

---

- 原理同 gas-filled detectors
  - $\gamma$  ray  $\rightarrow$  氣體游離  $\rightarrow$  電流
  - $\gamma$  ray  $\rightarrow$  游離半導體  $\rightarrow$  電流
- 效率較高但價格較貴

# 方式比較

---

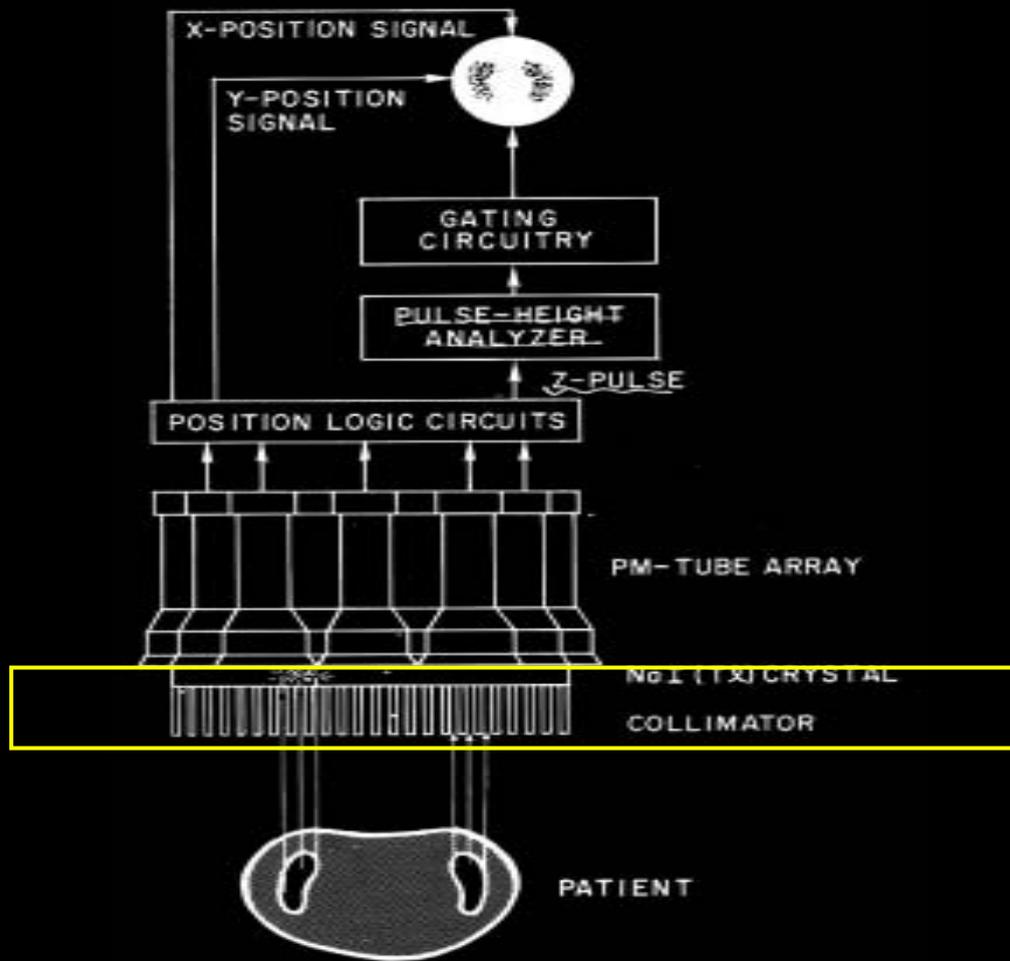
- **Gas-filled detectors**

- $\gamma$  ray  $\rightarrow$  氣體游離  $\rightarrow$  電流

- **Scintillators**

- 電子激發  $\rightarrow$  返回基態  $\rightarrow$  可見光

# Gamma Camera 功能構造簡圖

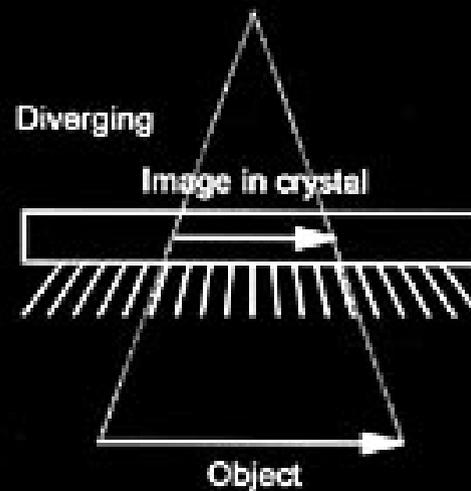
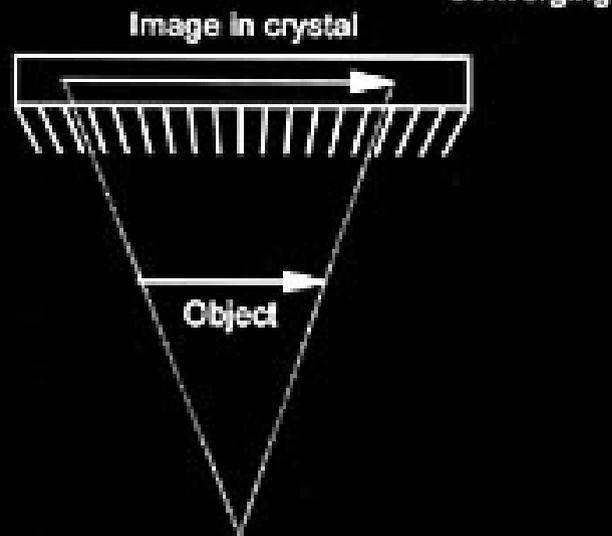
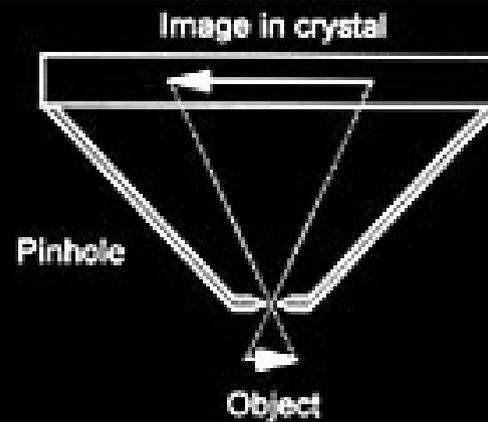
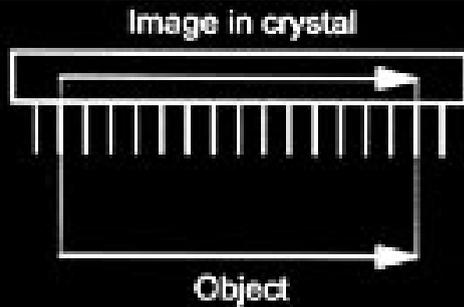


# 偵測之前：準直儀

---

- $\gamma$  ray：各方向隨機射出
  - 不同於 X 光穿透式影像
- 接收器無從測知 **source** 位置
- 不經過 **collimator** 得不到影像！

# 幾種不同方式的 Collimators

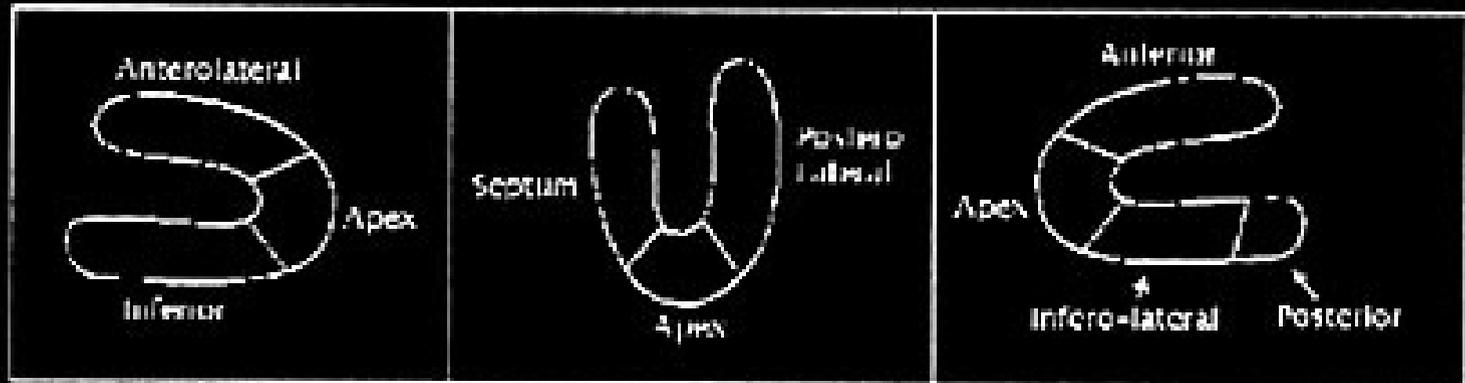
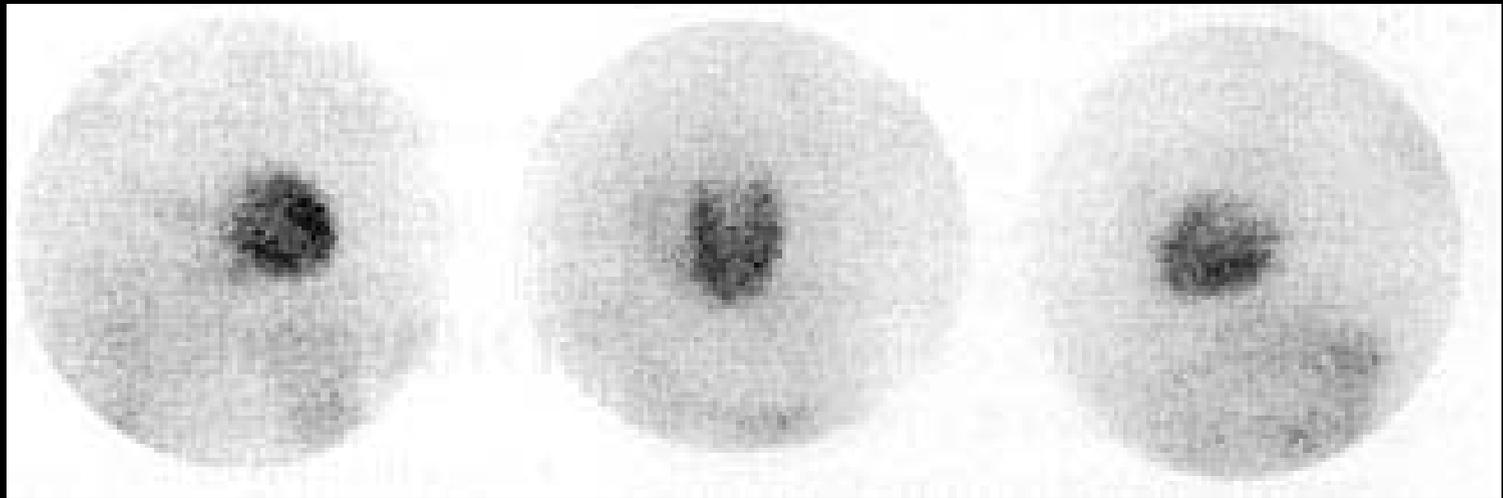


# Collimator

---

- 平行鉛壁 (稱為 septa)
  - ~ 1 in 5000 photons passes
  - > 99.9% 的  $\gamma$  ray 被浪費了！
- 核醫影像不清晰的最主要原因

# 典型的核醫影像 (什麼器官?)



# 核子醫學影像

---

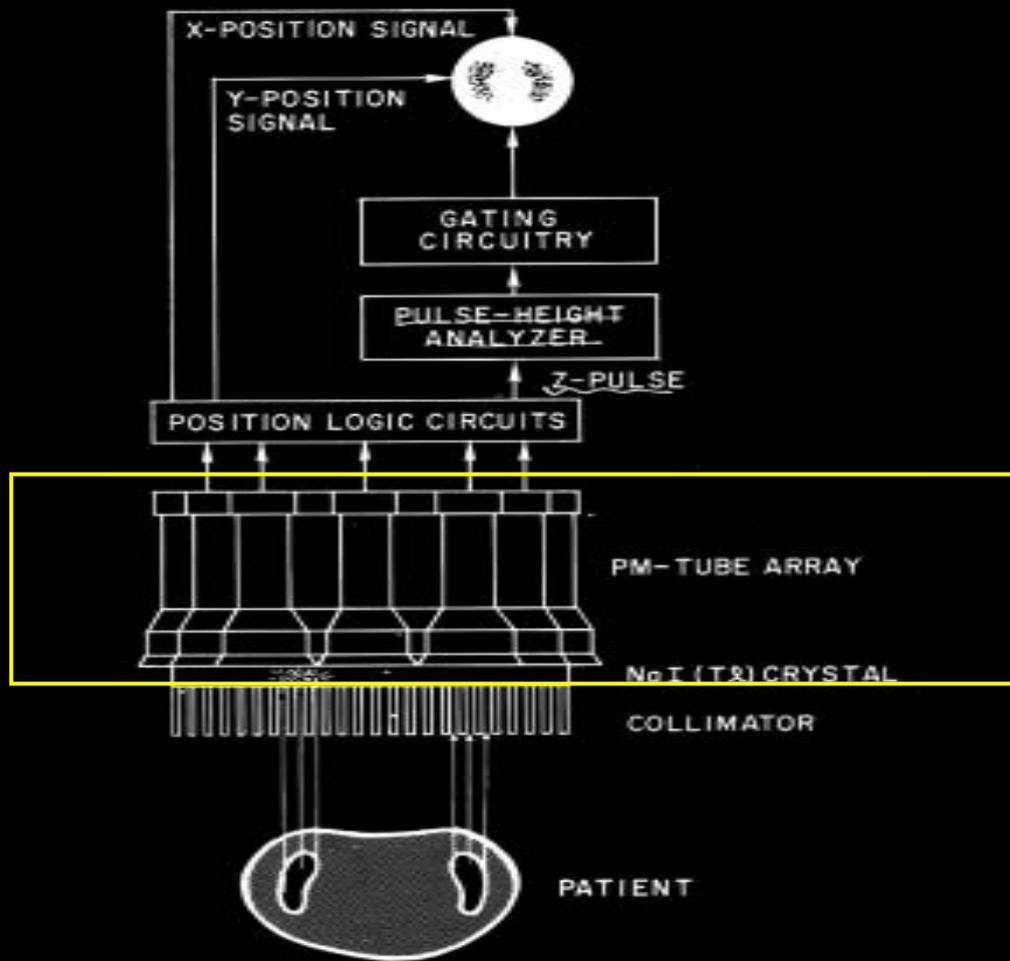
- Nuclear medicine ?
- Unclear medicine ?
- 沒那麼嚴重啦！「清不清晰」不是醫學影像最重要的考量

# 核醫的重要目的

---

- 功能性檢測，不是只看器官形態
- 能看到何種「功能」，並非完全取決於影像清晰程度
- 等一下會再提到

# Gamma Camera 功能構造簡圖

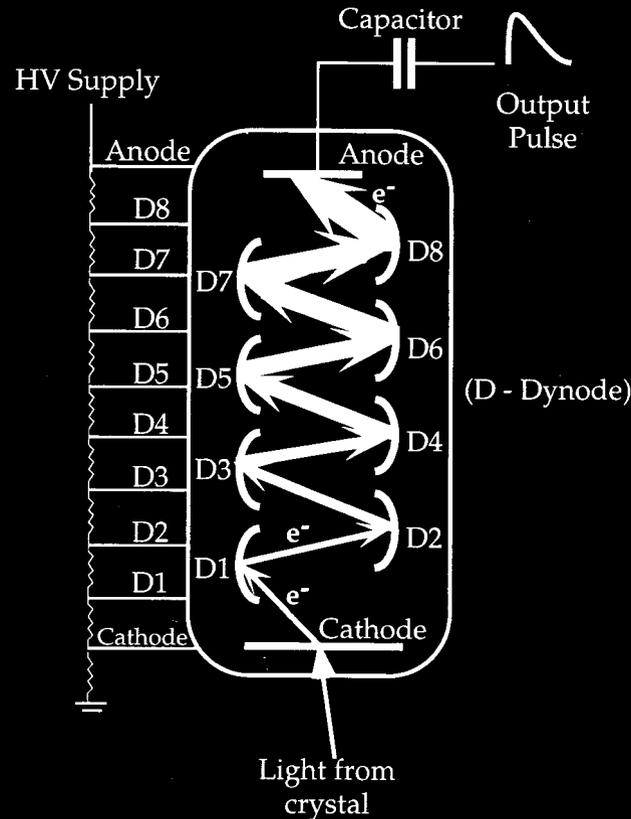


# 光電倍增管

---

- **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



每一 dynode 放大倍率約 3-6 (typically 5)

# 光電倍增管

---

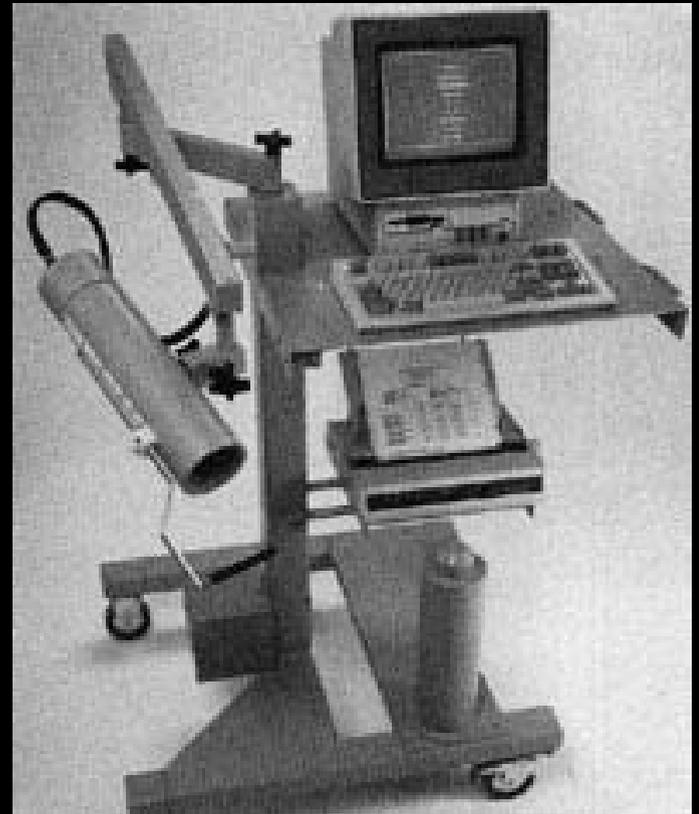
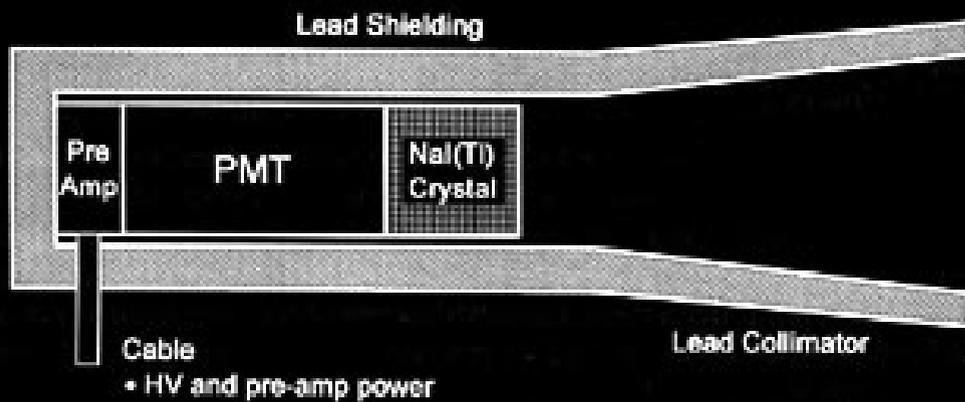
- **Dynode** 材質亦可使用 **CsSb**
- 高電壓源必須非常穩定
- 高鐵磁性合金 (**mu metal**) 做磁屏蔽
- **2.5~7.5 cm in diameter**

# 光電倍增管



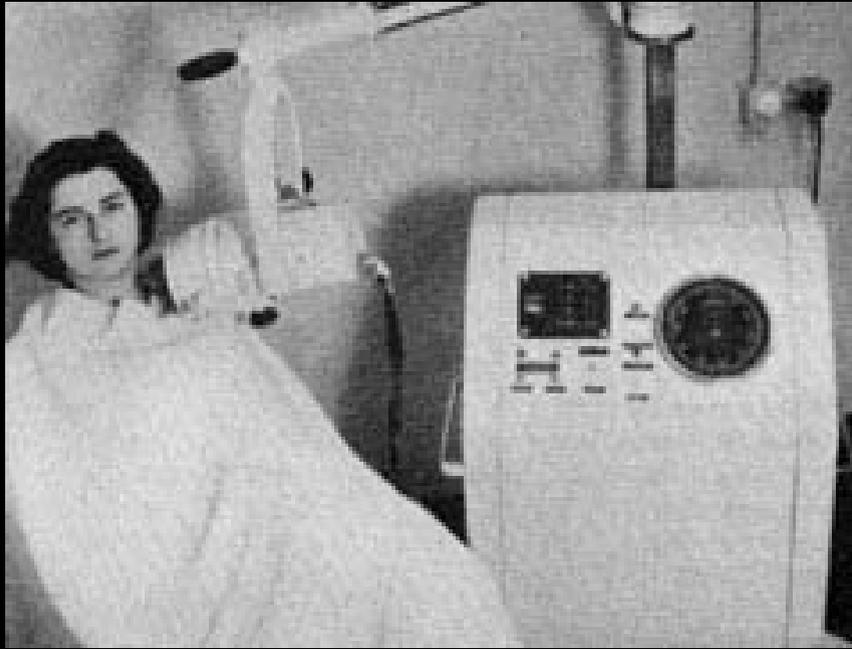
左邊為「卸裝」後的內部結構

# 其實這樣就完成了非影像核醫儀器



甲狀腺探測系統

# 甲狀腺功能檢查

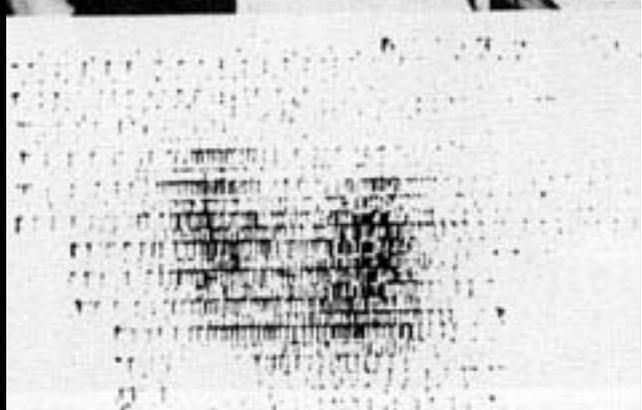


1950



近代

加上機械式移動就可以做影像啦



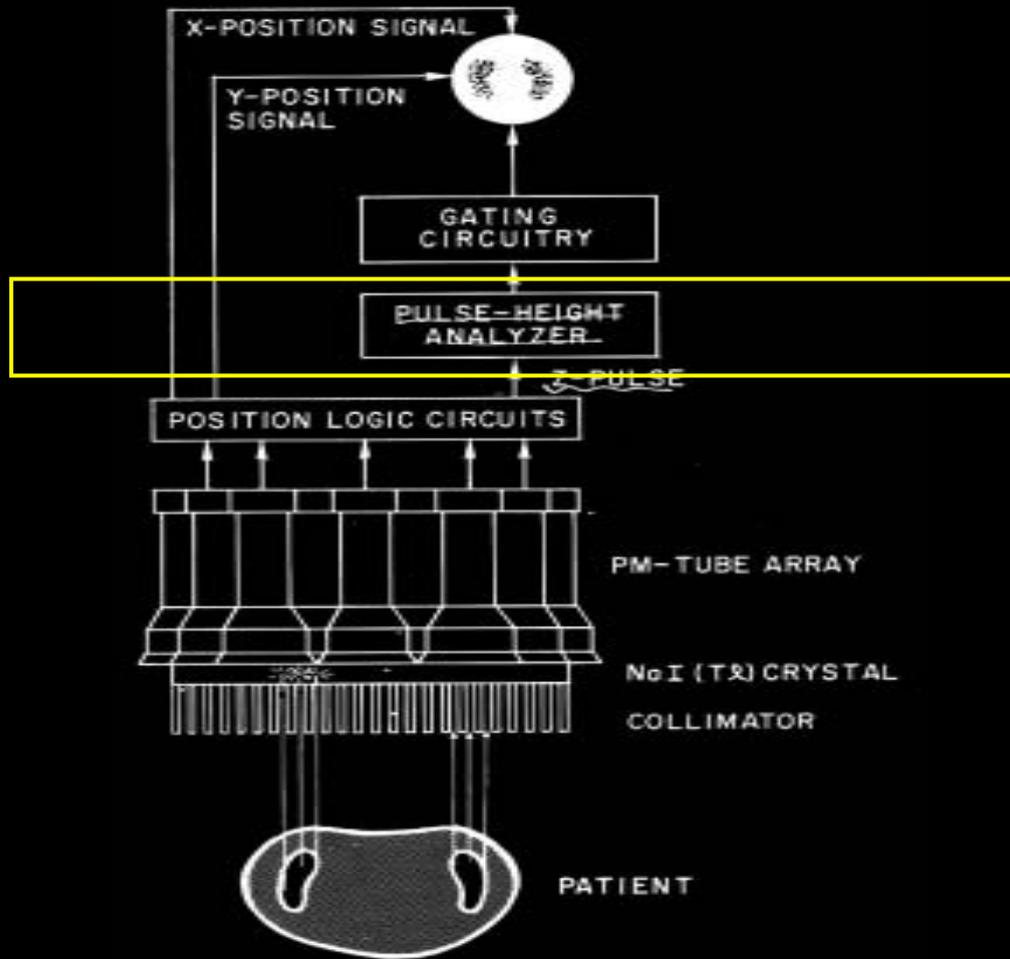
**Rectilinear Scanner**

要省時間就必須多通道了



37~91 個光電倍增管排成六角形

# Gamma Camera 功能構造簡圖

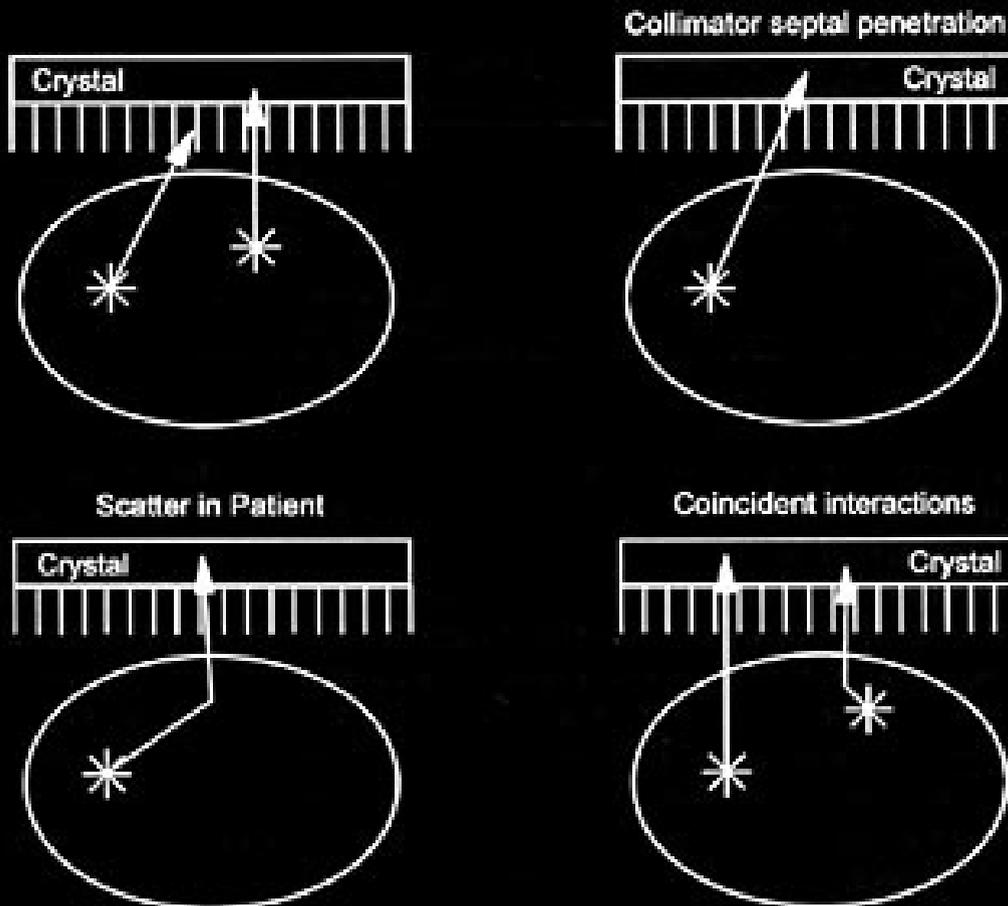


# 波高分析器

---

- **Pulse height analyzer; PHA**
- 選擇性濾除低能量散射  $\gamma$  ray
  - $^{99m}\text{Tc}$  : 140 KeV 單一射源
- 降低散射以提高空間解析度

# Gamma Rays 的散射



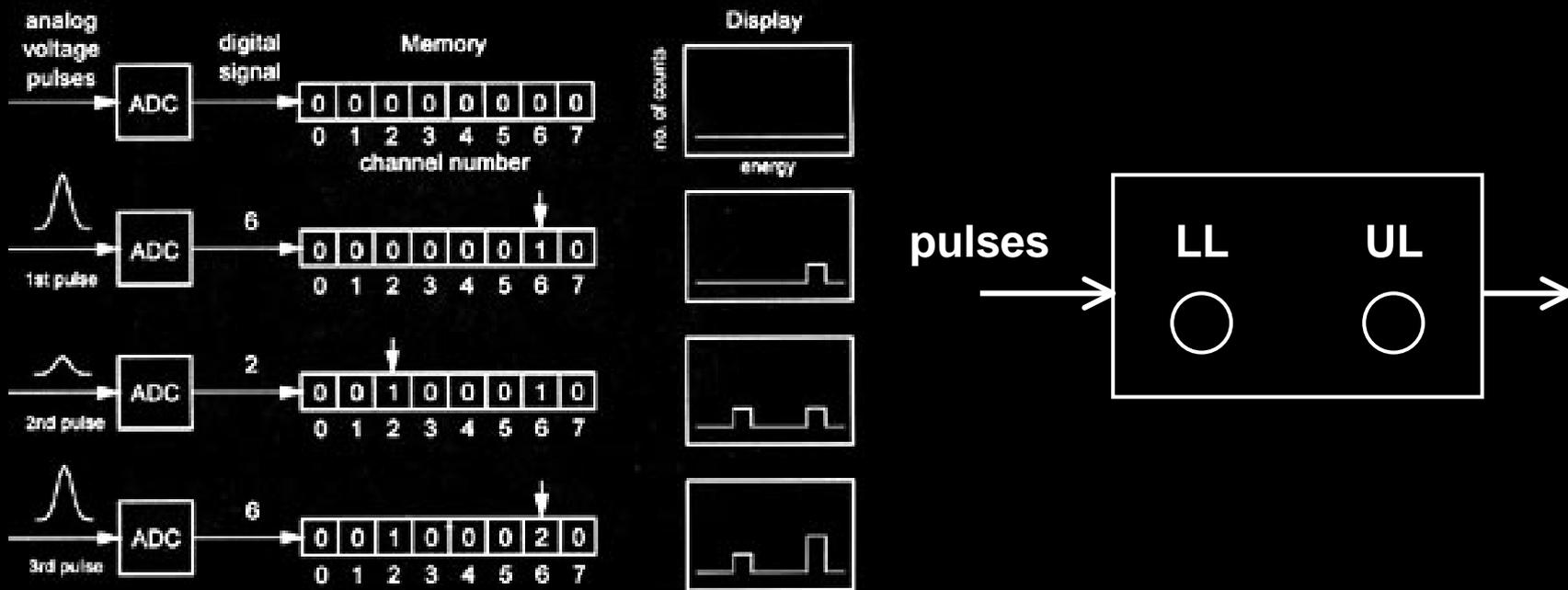
散射多為 **Compton** 散射，能量通常較低

# 波高分析器過濾原理

---

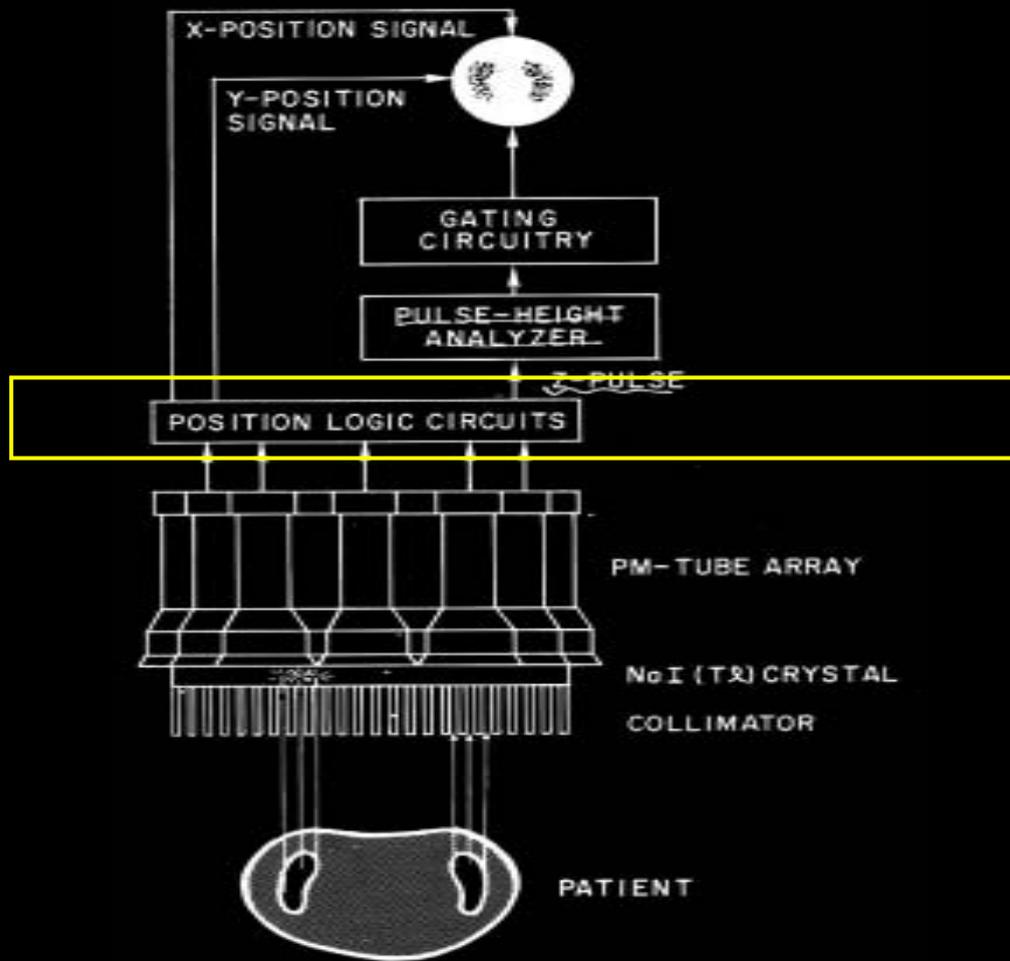
- **NaI** 閃爍晶體釋出之可見光強度，正比於入射  $\gamma$  ray 能量
- **CsSb** 釋出電子正比於入射光強度
- 篩選各個 **single event** 電壓高低

# 波高分析器簡單示意圖



由電壓高低選擇 gamma ray 能量

# Gamma Camera 功能構造簡圖

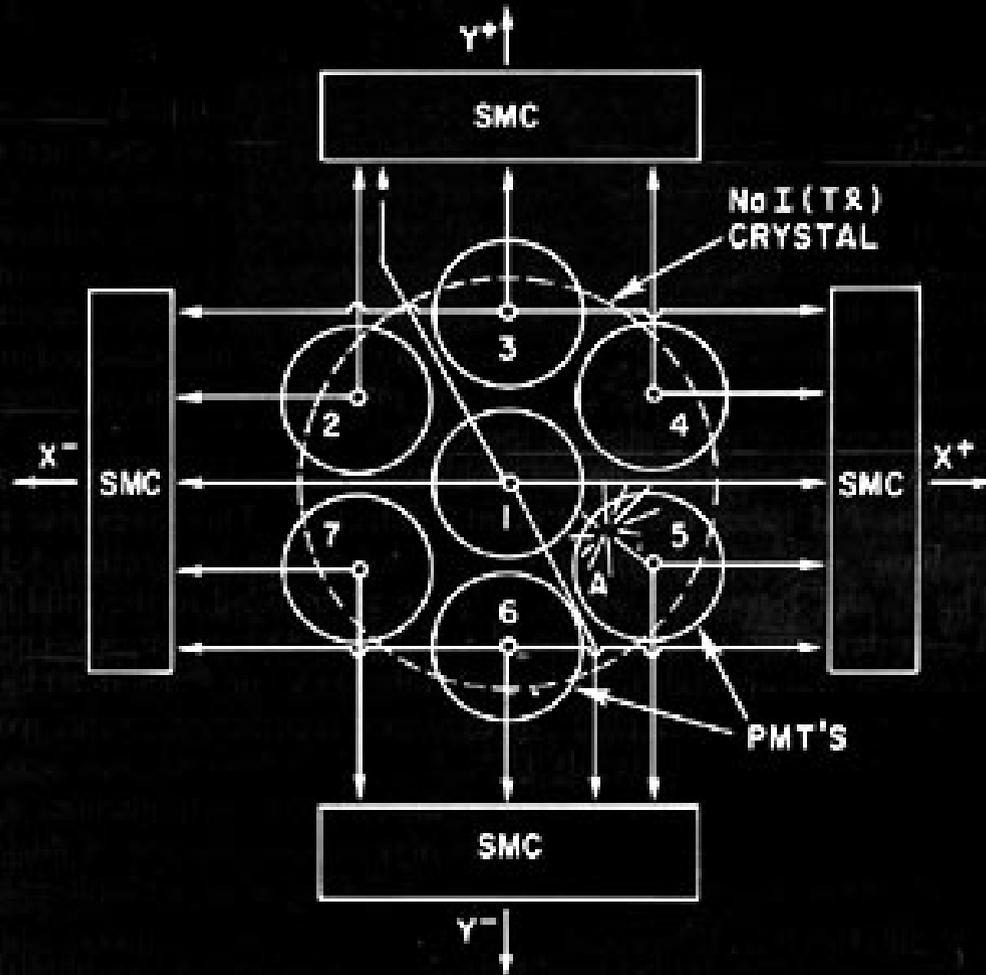


# 位置邏輯線路

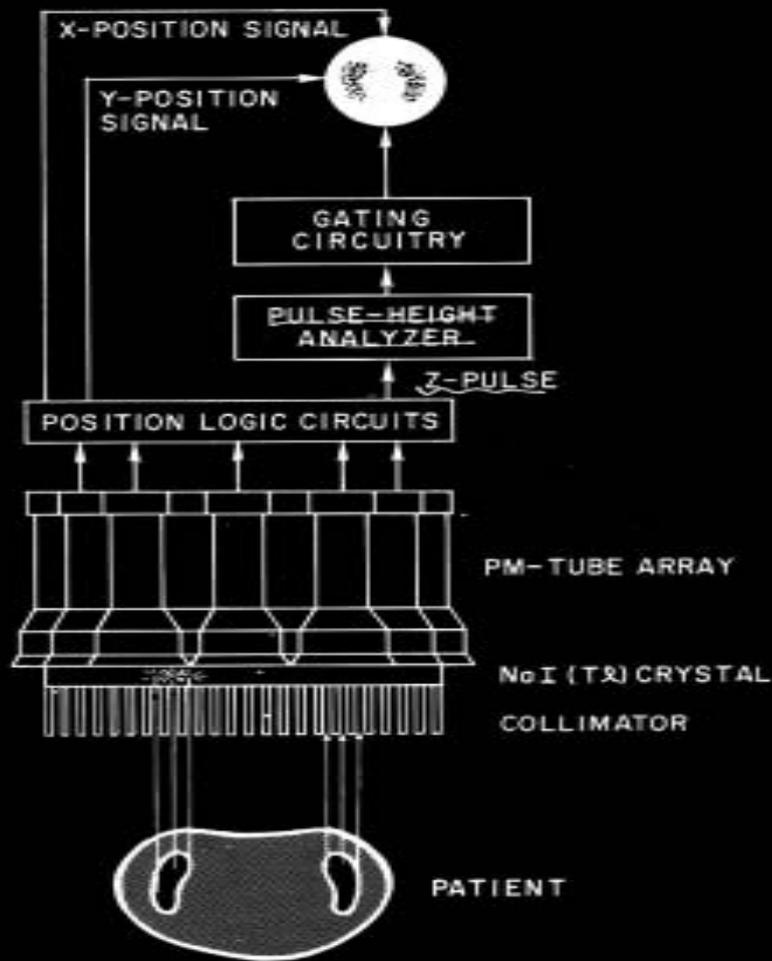
---

- 從有限的 PMT 通道計算影像
- 根據 gamma ray event 發生位置，朝水平垂直方向疊加
  - Summing matrix circuit

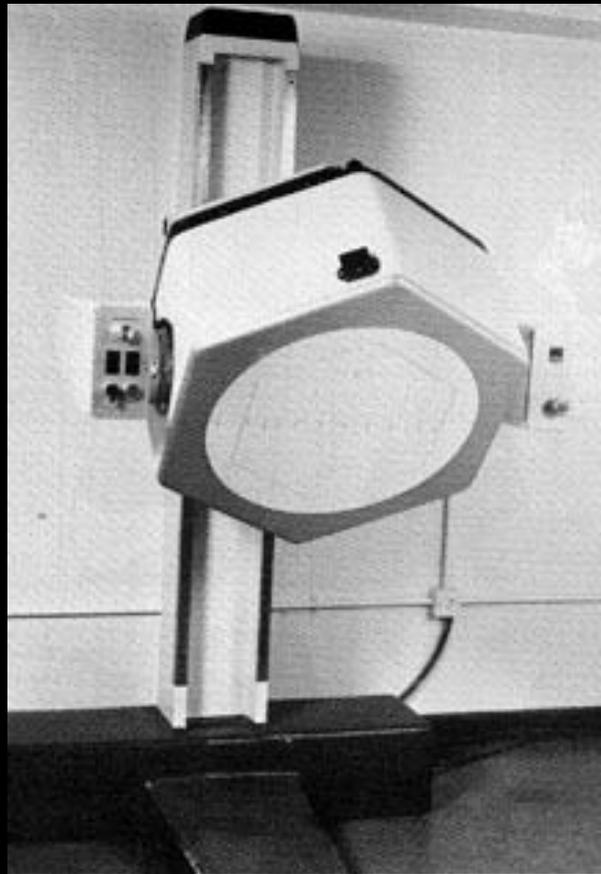
# Position Logic Circuit 原理



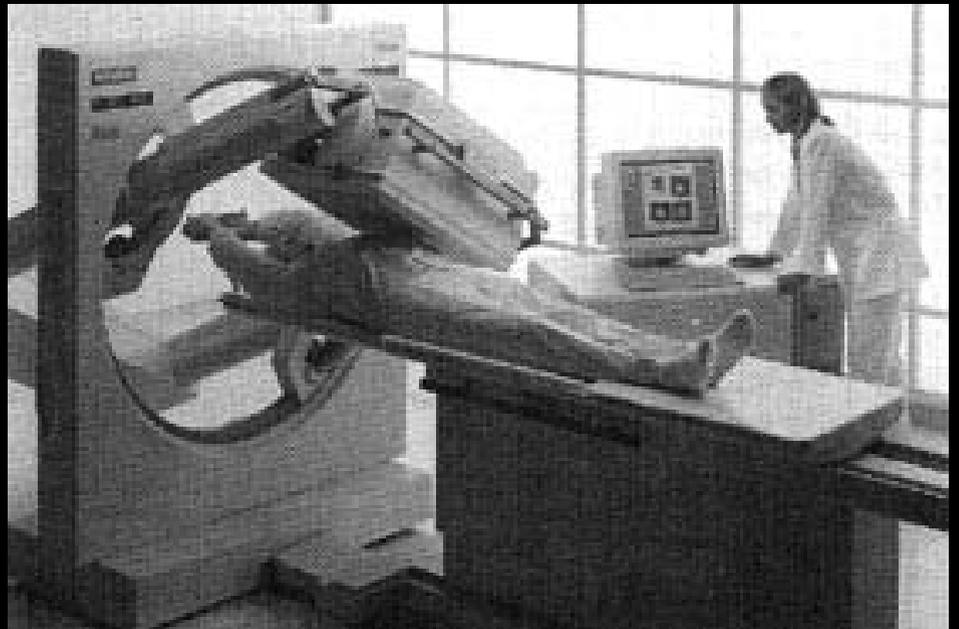
# Gamma Camera 功能構造簡圖



# 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

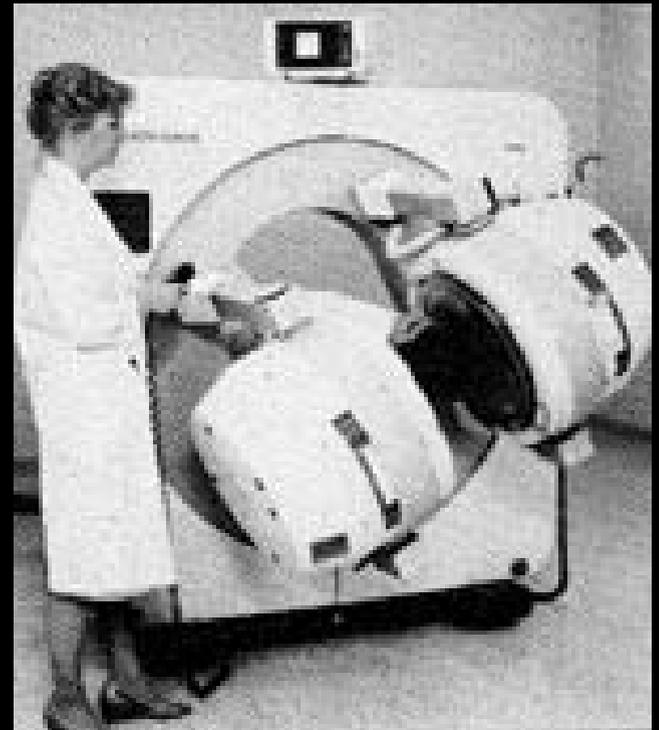
---

- 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



**1964 Penn**



**1980s**

# More SPECT Systems

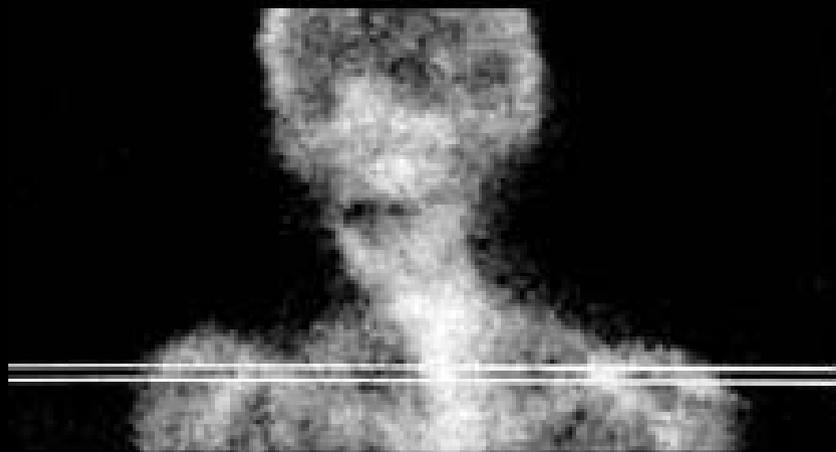


**Dual head**



**Triple head**

# SPECT Images



transverse slice

斷層切面 避免背景重疊

# 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

# 化學標記的重要性

---

- 不是有了放射性同為素就可以趕快注入人體！
- 你要「看」什麼？
- 適當選擇代謝物，放上放射標記

# 許許多多的例子

---

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

# 更多的例子

---

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

# 適當標記可以反映出什麼？

---

- 標記物在人體內的分佈，影響機制包括：
  - **Compartmental localization**
  - **Cell sequestration**
  - **Phagocytosis**
  - **Passive diffusion**

# 標記物分佈影響因素 (續)

---

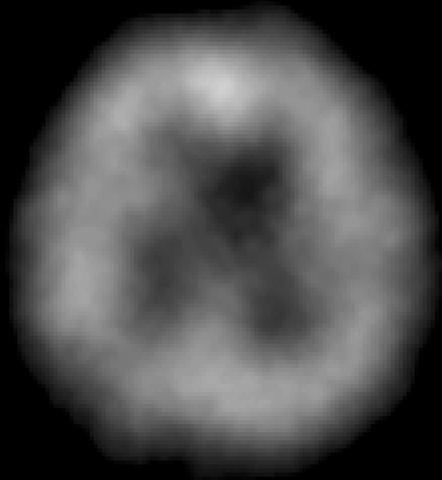
- **Active transport**
- **Capillary blockade**
- **Perfusion**
- **Chemotaxis**
- **Antibody-antigen complexation**

# HMPAO for CBF

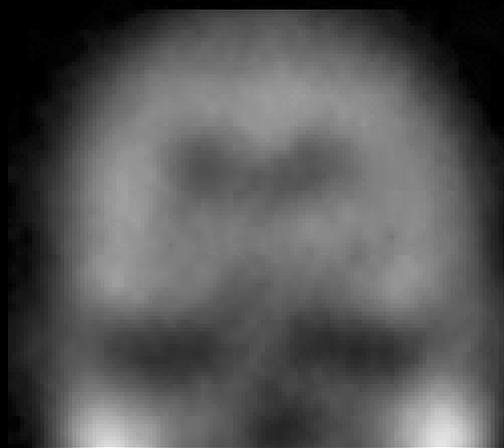
---

- 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在擴散出腦組織外
- $^{99m}\text{Tc}$ -HMPAO：大腦血流

# Tc-99m HMPAO 大脳血流 SPECT



**Axial**



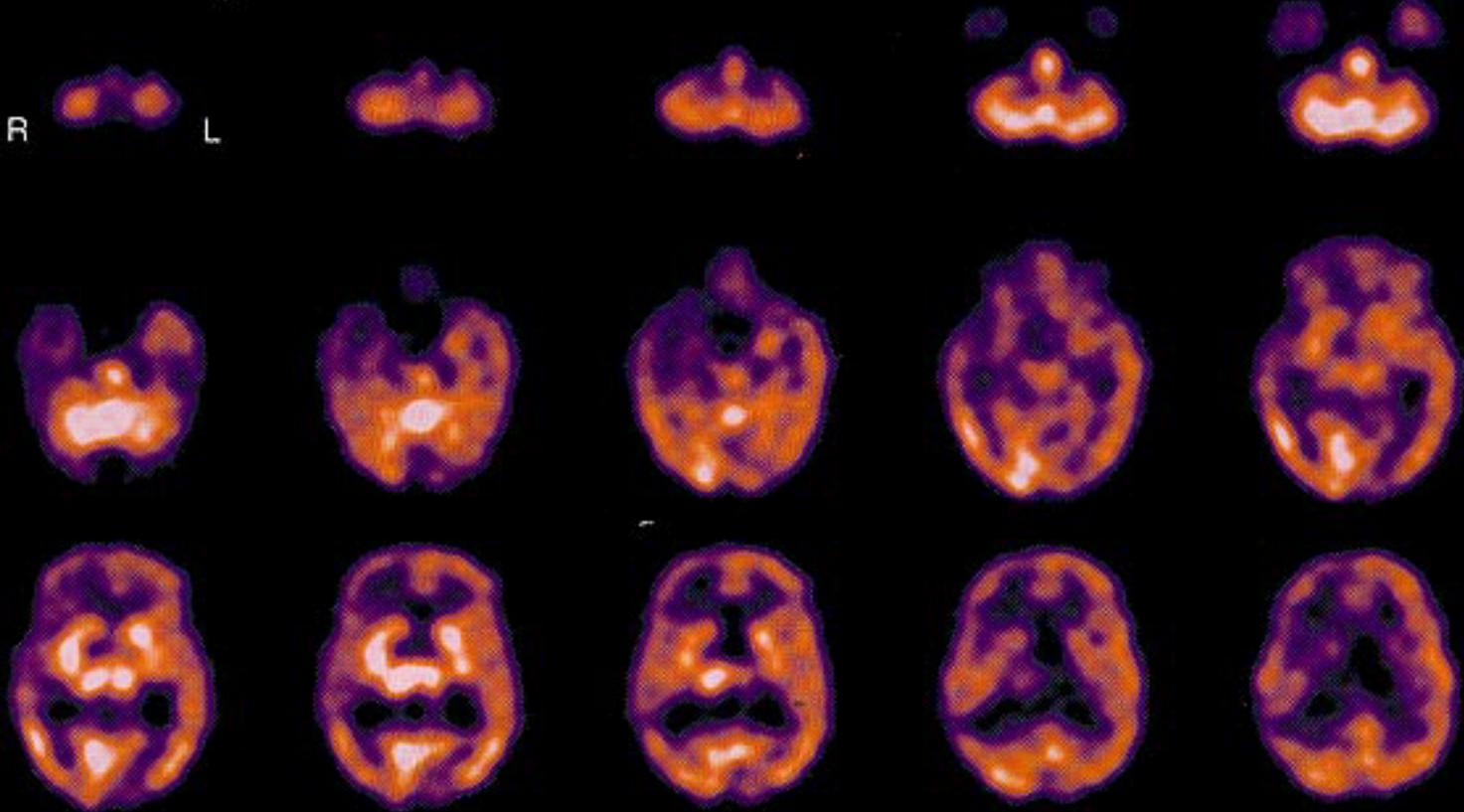
**Coronal**



**Sagittal**

# Tc-99m HMPAO 大腦血流分佈圖

Ictal Study



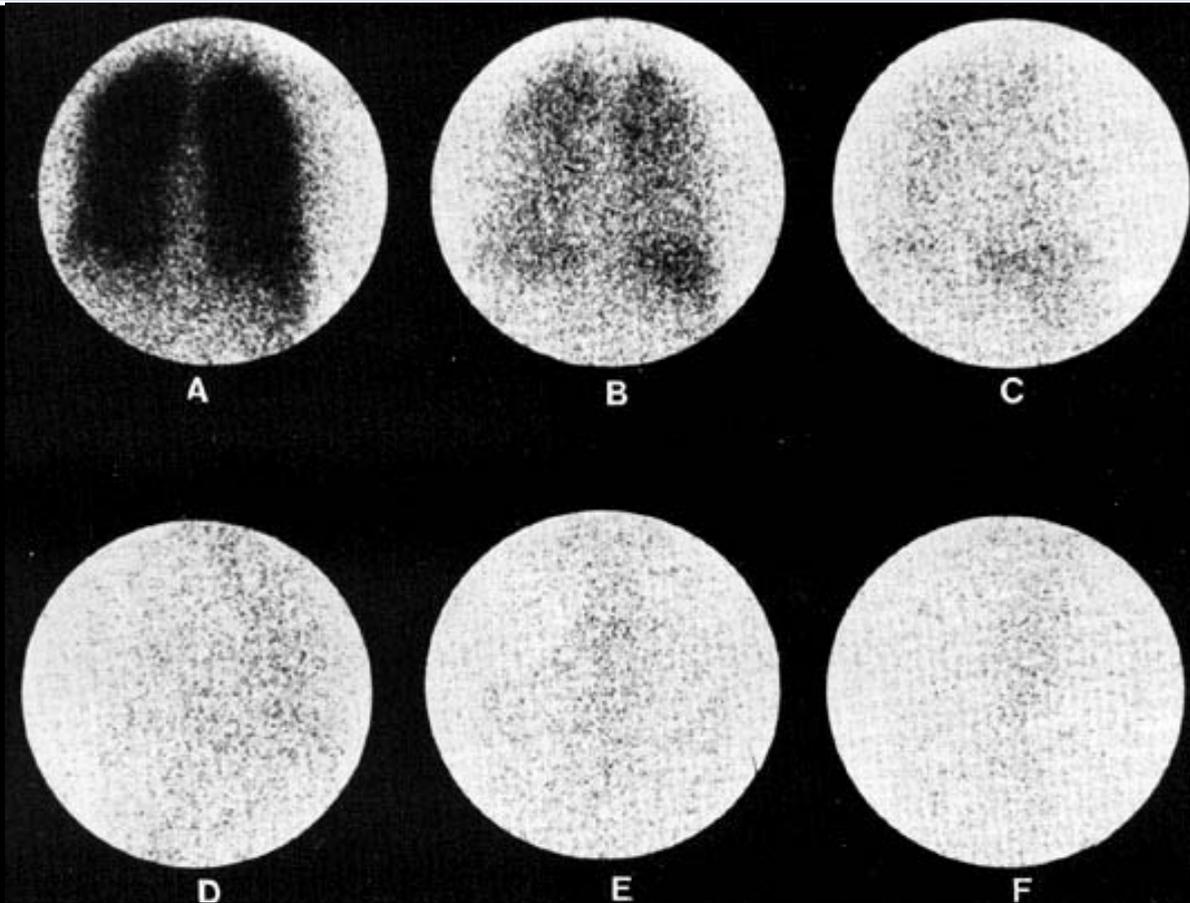
**Increased blood flow in seizure foci**

# Xenon for Ventilation

---

- 吸入  $^{133}\text{Xe} + \text{O}_2$  數次 (wash-in)
- 再改吸空氣 (wash-out)
- $^{133}\text{Xe}$  半衰期 5.3 天，檢查完畢  
需適當處置

# Pulmonary Ventilation Scintigrams



Equilibrium  $\rightarrow$  wash-out (也可用 Tc 大分子蒸汽)

# Krypton for Ventilation

---

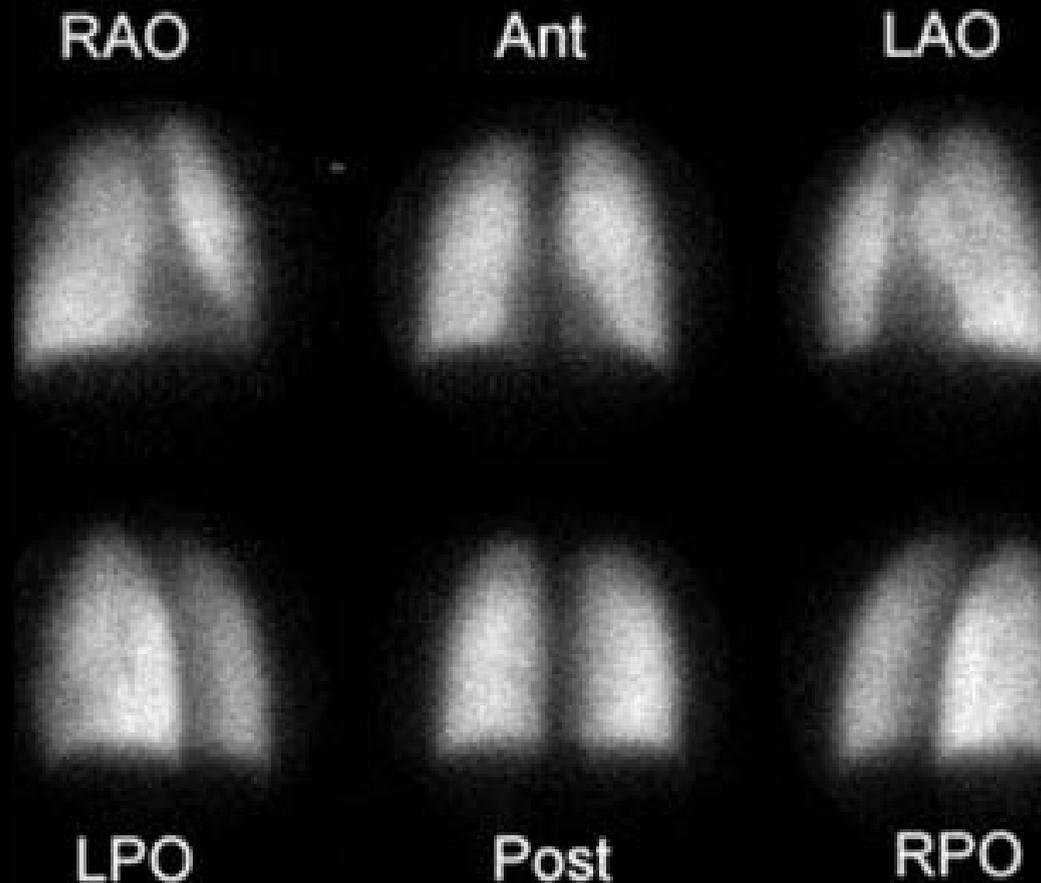
- $^{81\text{m}}\text{Kr}$  半衰期 13 秒
- 吸入  $^{81\text{m}}\text{Kr}$  立刻照相
- 沒有 equilibrium 及 wash-out
- 可重複實驗，對環境輻射劑量超低

# MAA for Lung Perfusion

---

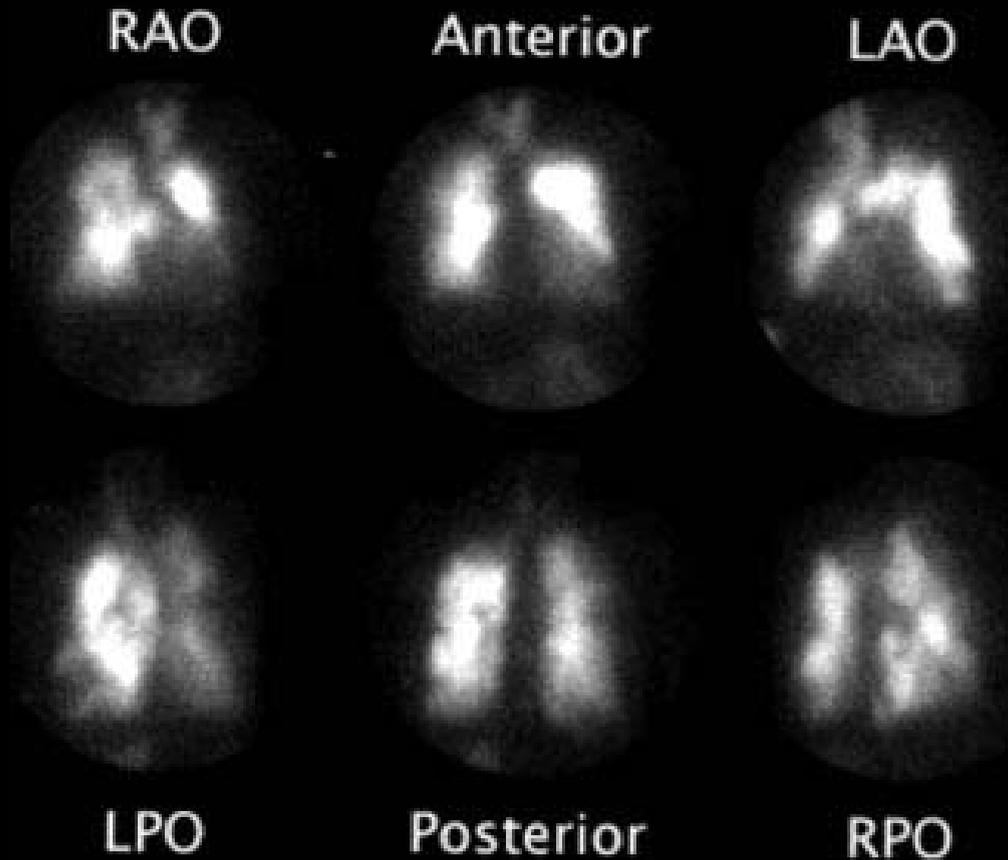
- Macroaggregated albumin
- 15-80 um 直徑，略大於肺部微血管
- MAA 靜脈注射卡在肺部微血管中
- $^{99m}\text{Tc}$ -MAA : lung perfusion

# Pulmonary Perfusion Scans



基本六個角度掃瞄

# Pulmonary Perfusion Scans



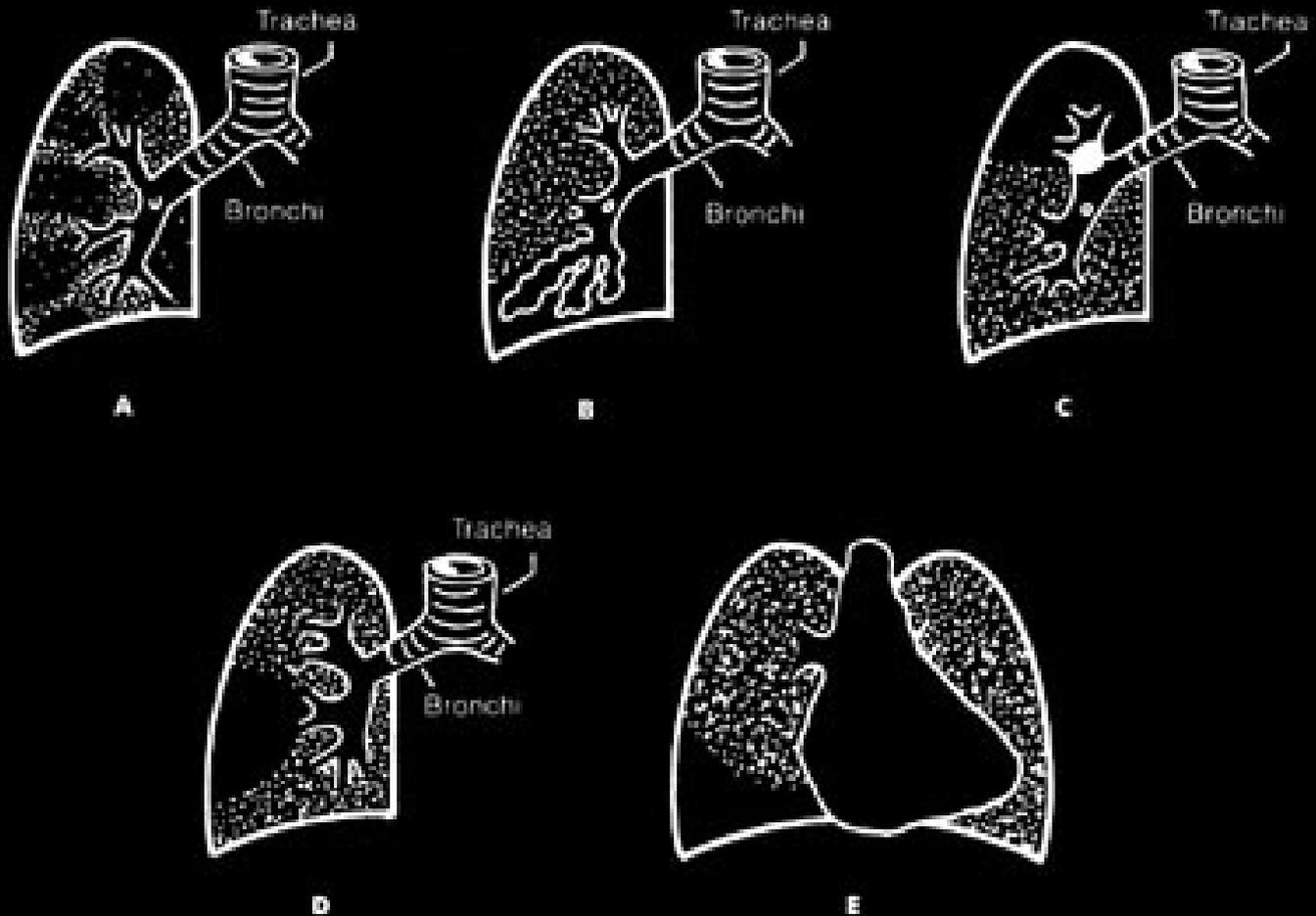
**Pulmonary embolism 肺栓塞**

# 肺部核醫影像的不同

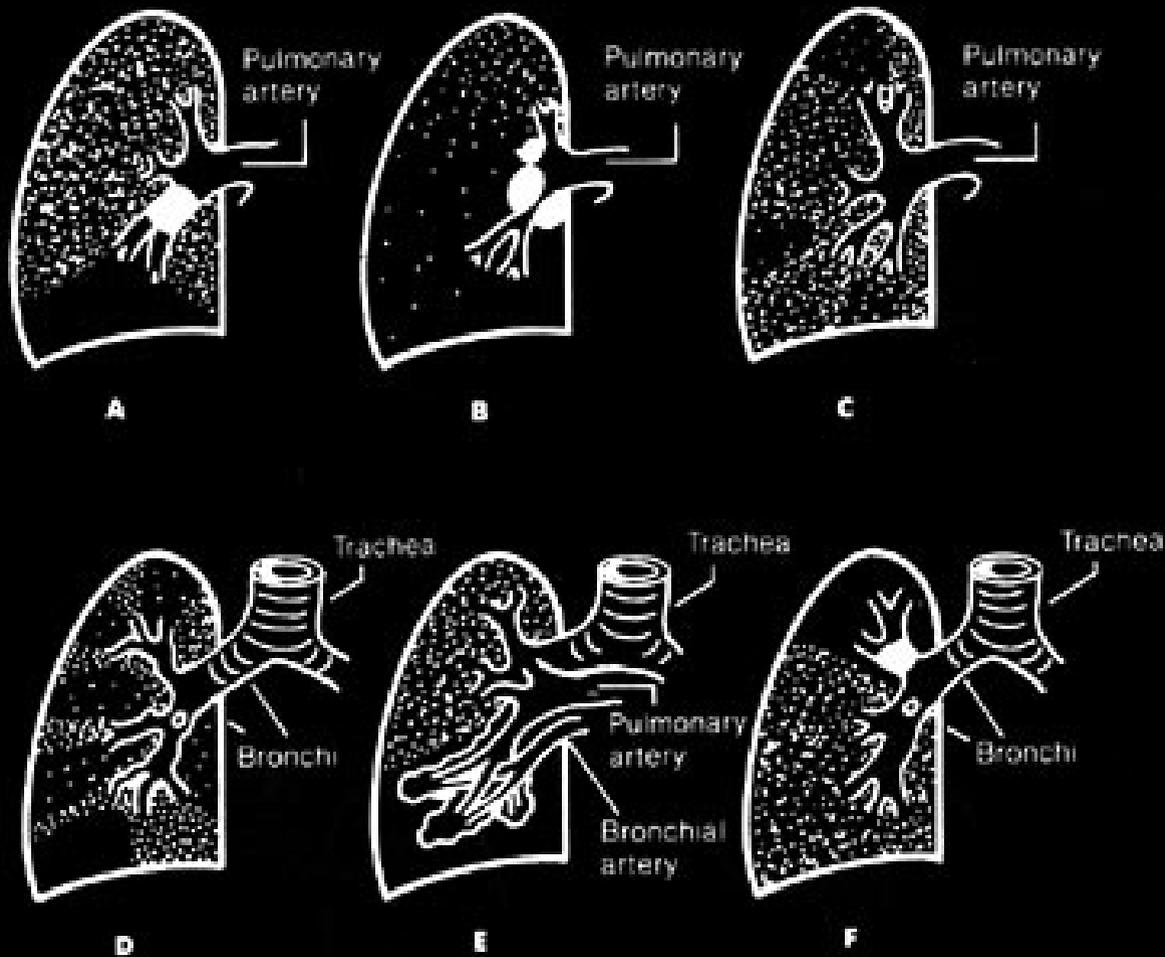
---

- **Ventilation** : 氣體供應
- **Perfusion** : 血液供應
- **Mismatch** : 氧氣交換
  - V/Q scan

# Pulmonary Ventilation Deficit



# Pulmonary Perfusion Deficit



# RBC for Splenosis

---

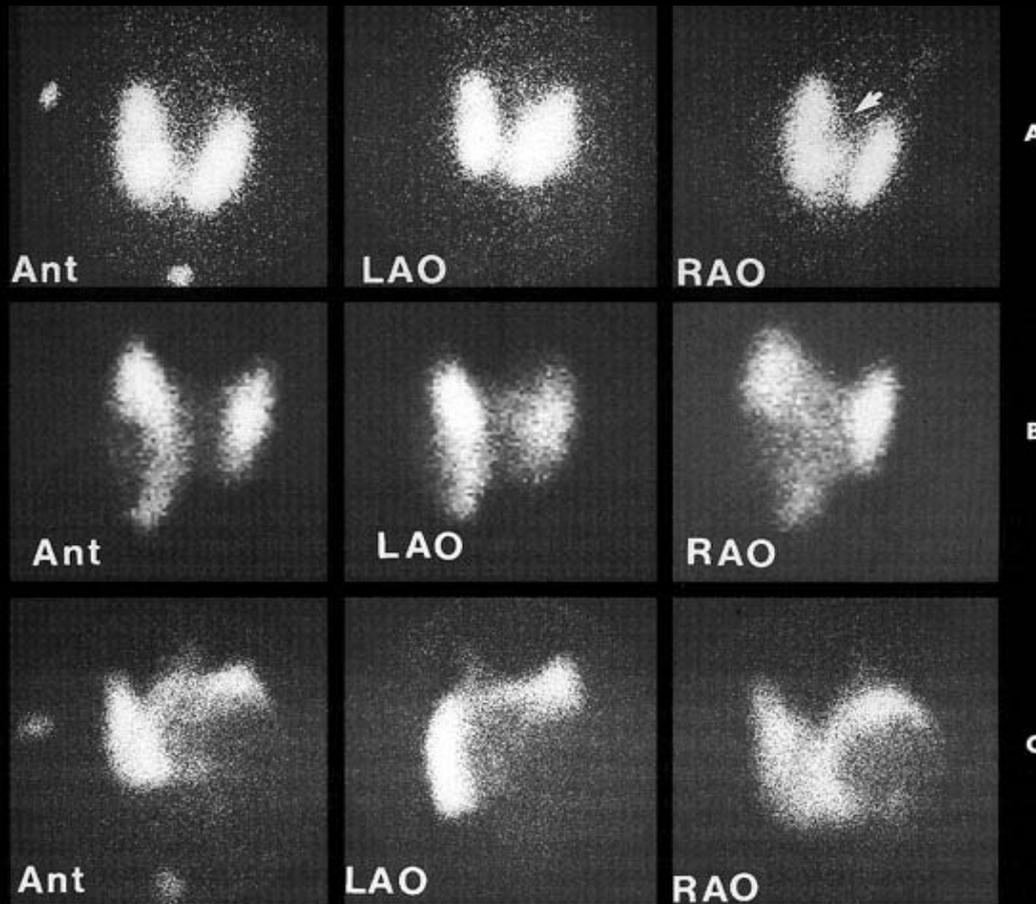
- 脾臟：吸收受傷的紅血球與血小板
- 取出紅血球，以加熱方式破壞，之後再注回人體中
- **$^{99m}\text{Tc}$ -RBC : spleen function**

# Iodine for Thyroid

---

- 膠囊吞服碘化鈉 (NaI)
- 甲狀腺主動傳輸 (enzyme)
- $^{123}\text{I}$ -NaI : thyroid function
- $^{131}\text{I}$ -NaI : function + therapy

# 甲狀腺功能核醫影像



蝴蝶狀組織

# MDP for Bone Scan

---

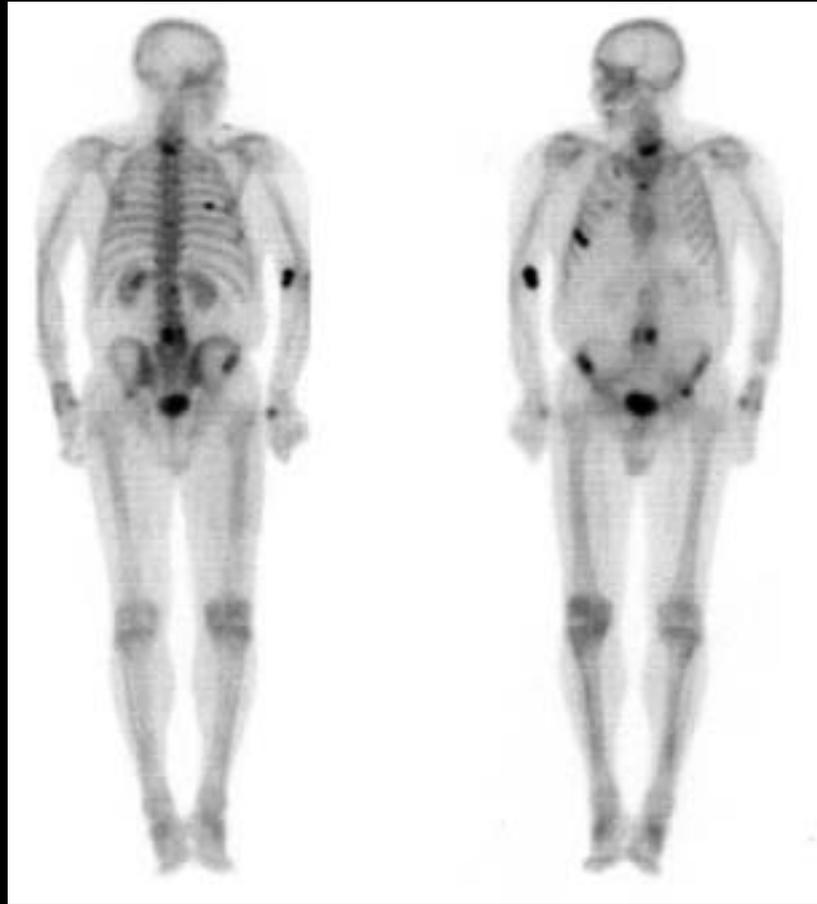
- **MDP** 的骨骼吸收主要有兩種方式
  - **Hydroxyapatite crystal binding**
  - **Collagen dependent uptake**
- **$^{99m}\text{Tc}$ -MDP** : 反映骨代謝速率

# Normal Bone Scan



注意代謝旺盛的海綿質骨區域

# Metastasis



攝護線癌轉移至骨髓

# DTPA for Kidney

---

- **DTPA** : 靜脈注射入人體後，絕大部分由腎臟過濾經尿液排出
- **$^{99m}\text{Tc}$ -DTPA** : 腎絲球過濾速率 (glomerular filtration rate)

# 還要更多嗎？

---

- 不要了啦，好累啲！
- **But the important message is ...**

# 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

# 鎝的歡迎程度：Labeling

---

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

# 正子放射斷層掃描

# PET Introduction

鍾孝文 副教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

# 什麼是 PET ?

---

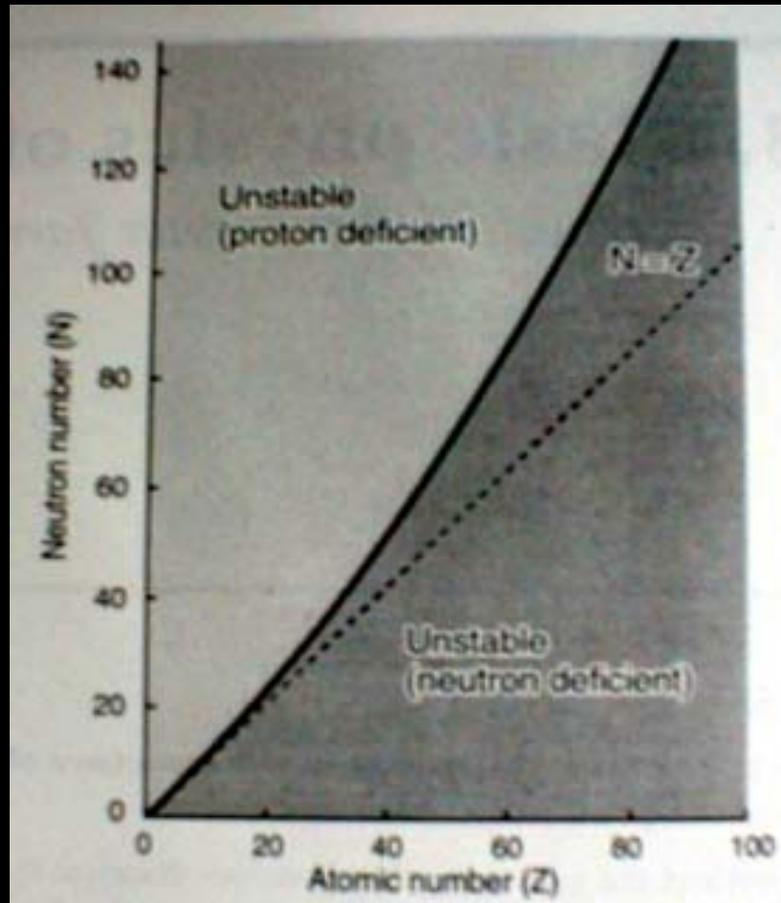
- Positron emission tomography
- 什麼是 positron ?
  - 帶正電的電子
  - 電子的「反物質」

# 放射性元素的原子核衰變

---

- $\alpha$  (氦原子核) 衰變
- $\beta^-$  (電子) 衰變
- $\beta^+$  (正子) 衰變, **electron capture**
- $\gamma$  (射線) 衰變 (核醫中最重要者)

# 原子核的中子質子比



遠離穩定區的核種皆傾向產生衰變

# 會產生 $\beta^+$ 衰變的核種

---

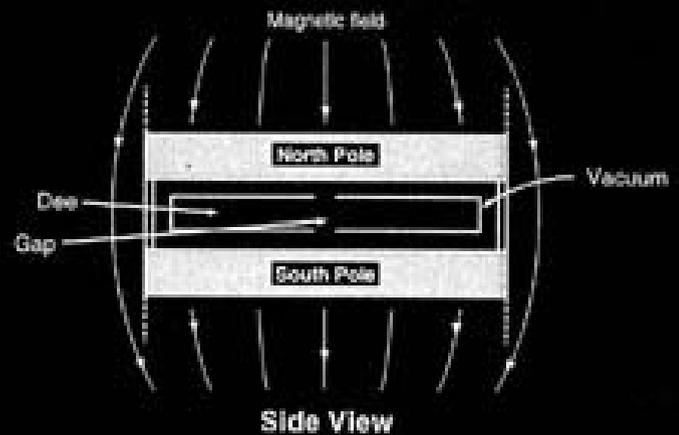
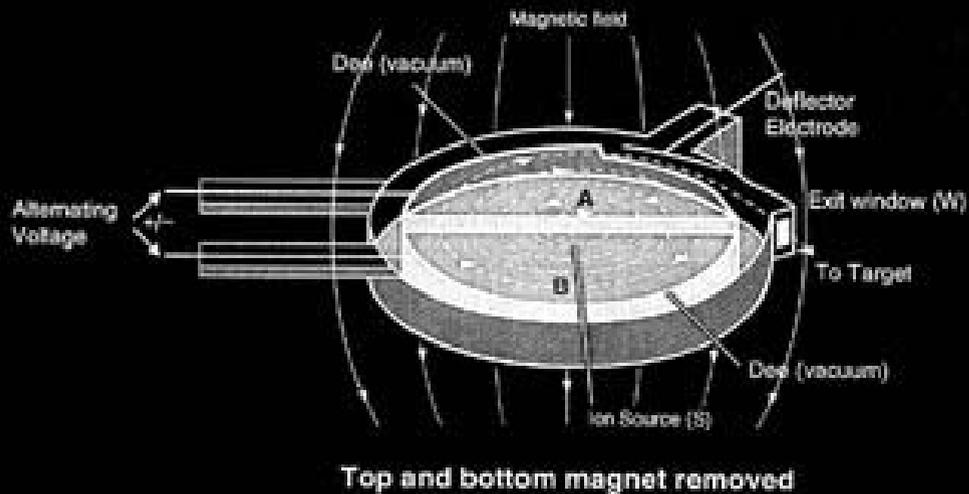
- “Neutron poor” nuclei
- PET 中常用者： $^{18}\text{F}$ ,  $^{15}\text{O}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$  ...
- 產生這些核種的方式：**cyclotron**
  - **Generator** 也有 ( $^{82}\text{Rb}$ )，但不多

# Cyclotron 原理

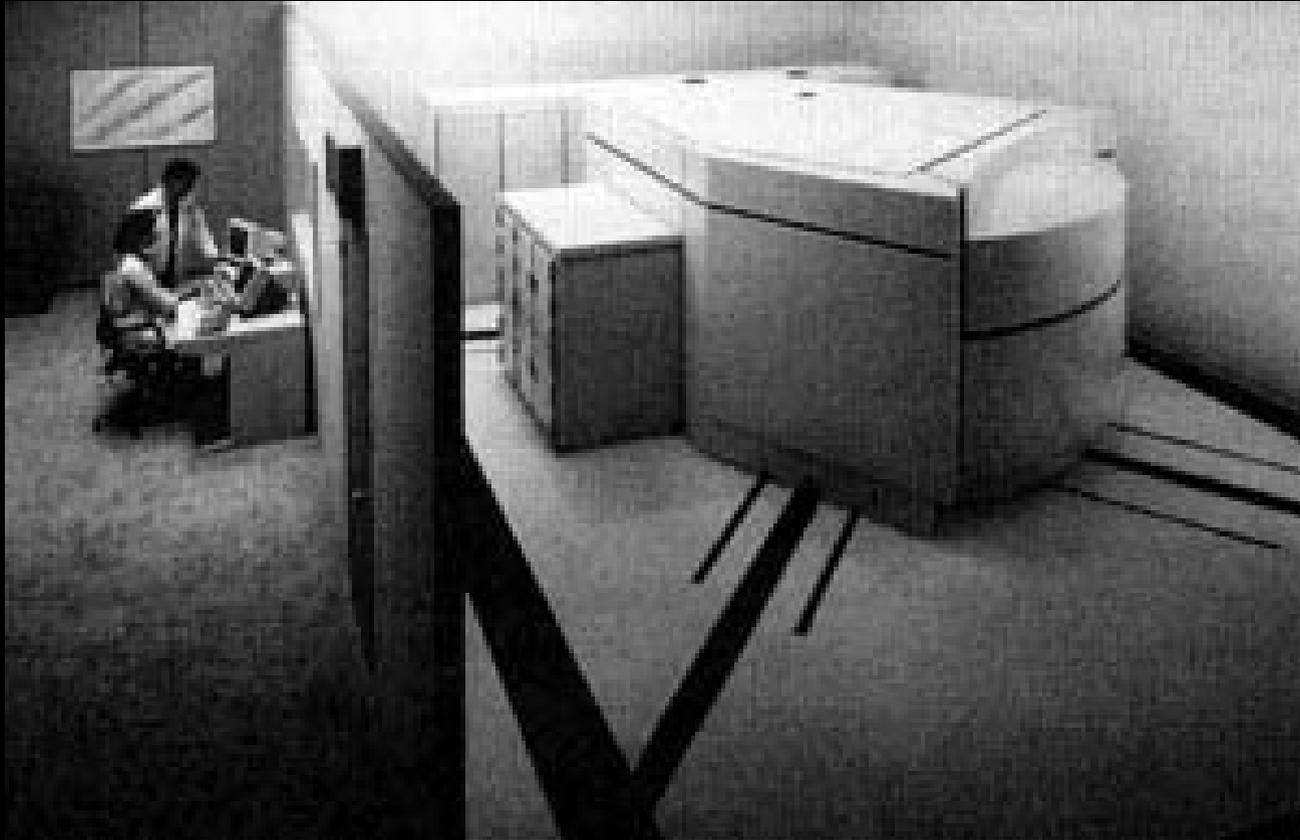
---

- 持續加速帶電粒子，撞擊靶物，使產生不穩定  $\beta^+$  衰變同位素
- 加速方式：電場加速，磁場偏向
- 例： $^{18}\text{O}$  (p,n)  $^{18}\text{F}$  (半衰期 110 分)

# Cyclotron 原理



# 醫院中的 Cyclotron



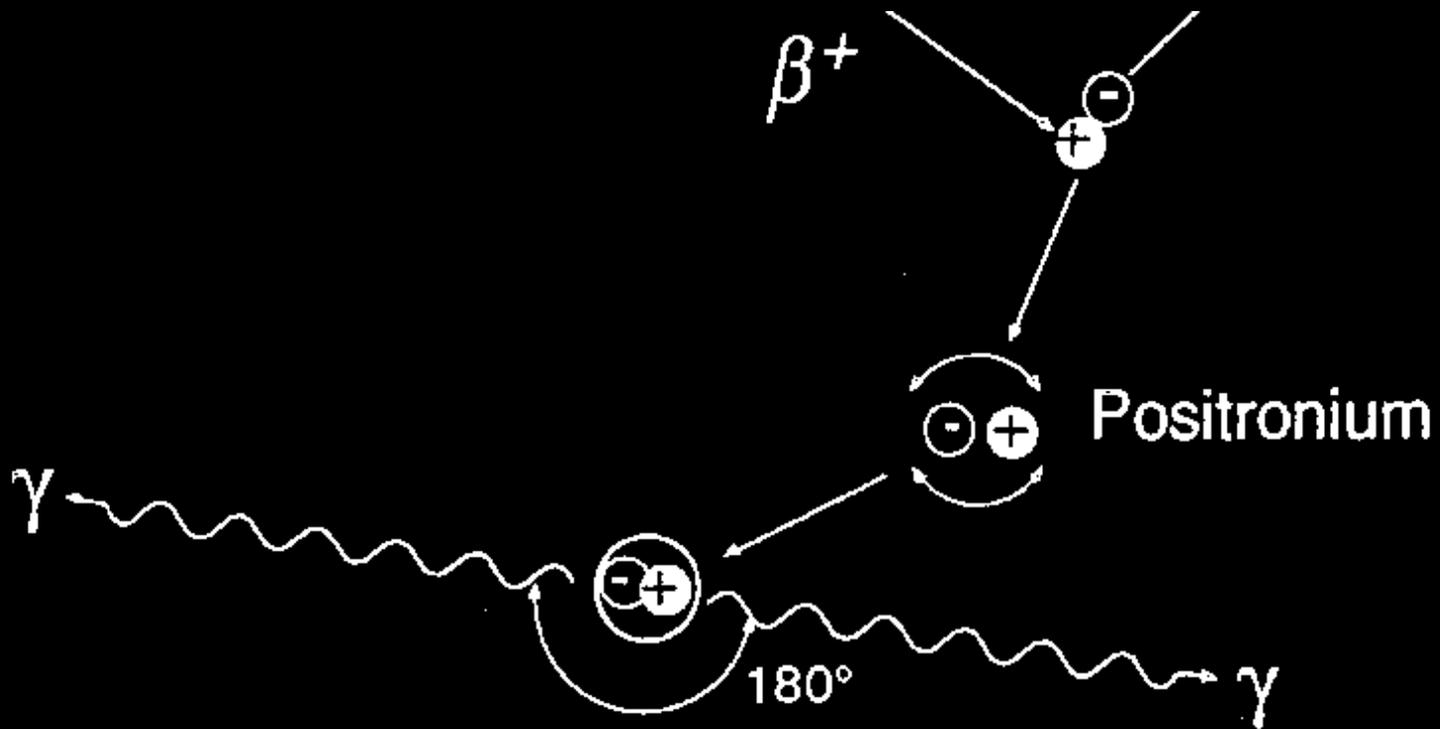
**Siemens Gammasonics**

# 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 ( $\gamma$  ray)

# Annihilation of Positron and Electron



動量守恆 角度約呈  $180^\circ$  度

# 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

---

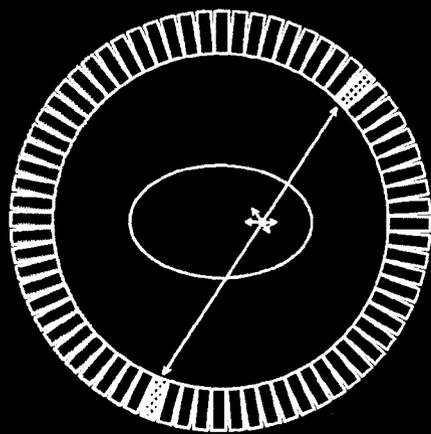
- $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) : 高密度高原子序 (Bi : 83) , 適合 511 KeV 偵測
- BGO 閃爍計數器 + 光電倍增管 + 同步偵測線路 (4-12 ns) + 波高分析器

# Coincidence Detection

---

- 偵測同時發生的兩個 **events**
- 已達到定位功能，不需要準直儀
- **PET** 劑量可低，但影像仍能與 **SPECT** 同樣清晰的最重要原因！

# Annihilation Coincidence Detection

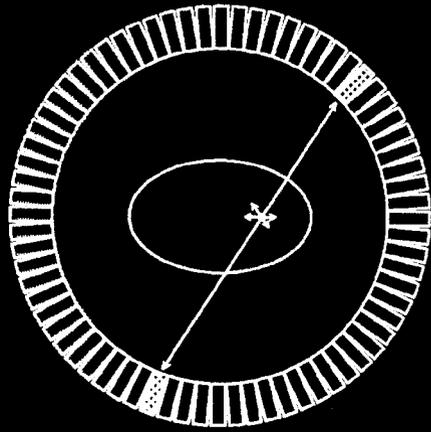


原理



PET 内部構造

# PET 只有軸向需要準直儀



**Coincidence detection**



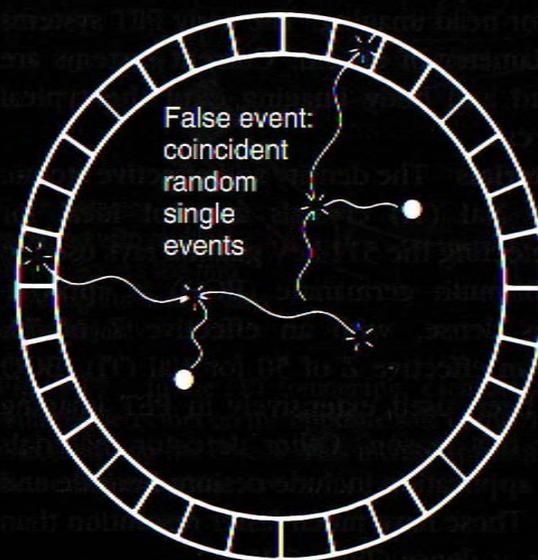
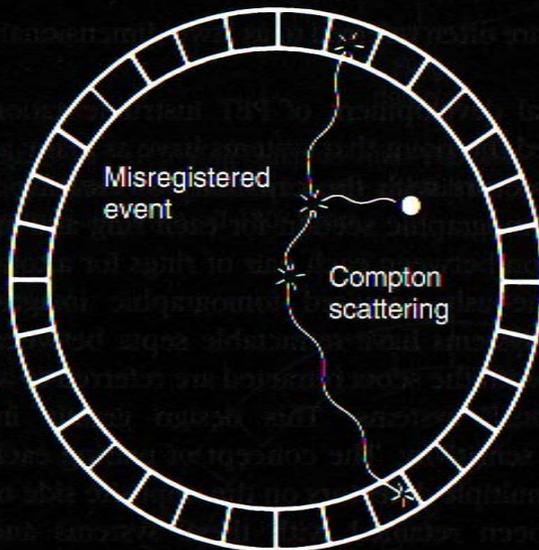
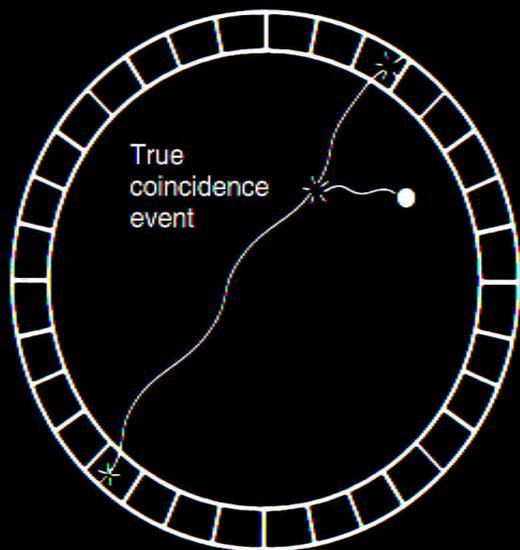
**Axial collimation**

# PET System



**Siemens**

# 也不是沒有 False Coincidence



**Source of PET noise**

# 影像重建

---

- 同 X-ray CT 與 SPECT
  - Filtered back projection
- 也可以 iteration
  - 略微精確，耗時較久

# PET 的放射藥物化學標記

---

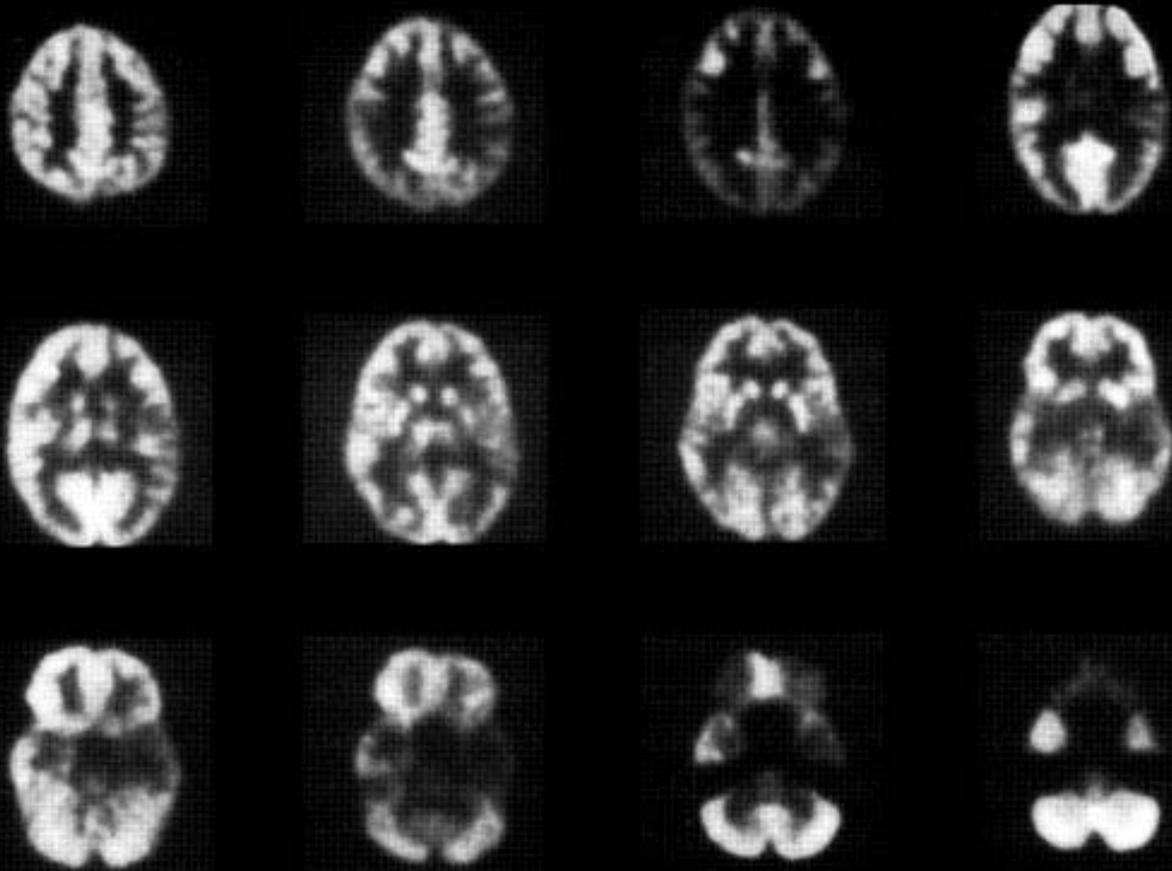
- $^{18}\text{F}$ -Fluorodeoxyglucose 最為常用
- 代謝過程類似一般葡萄糖，但在 **phosphoration** 之後形成 **FDG 6-phosphate** 便停止，吸附於組織中

# FDG for PET

---

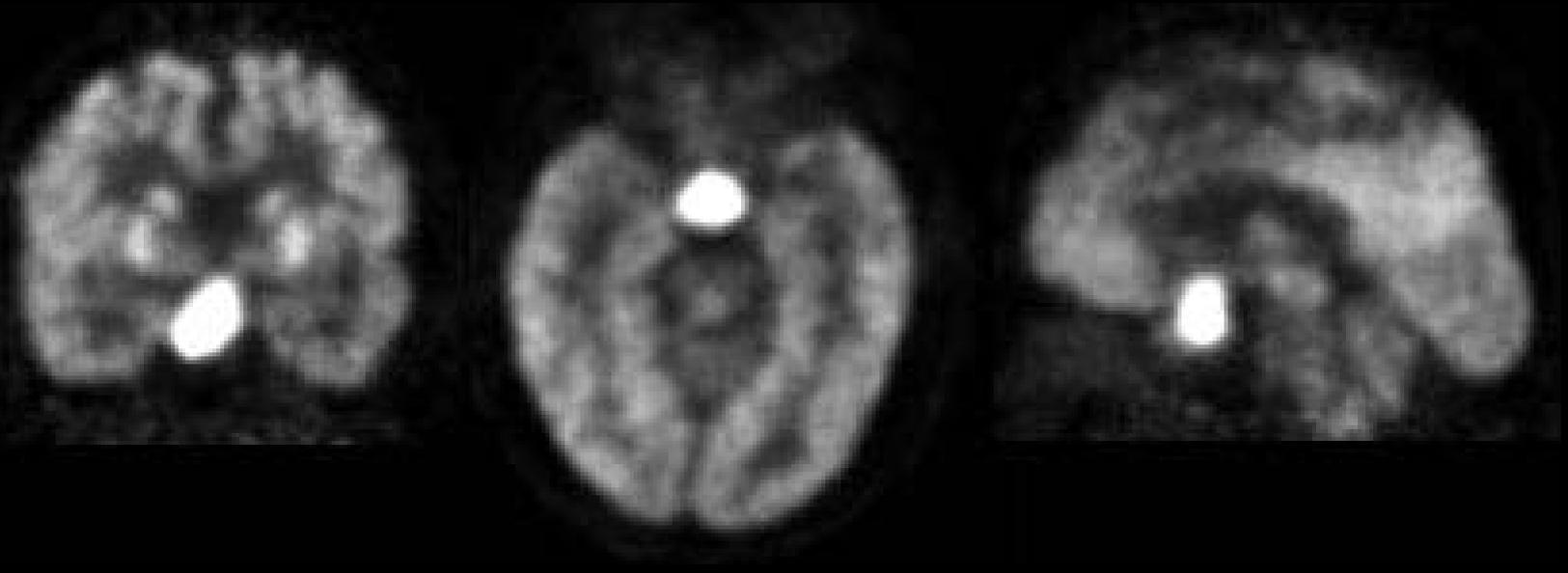
- 靜脈注射 FDG
- 組織  $^{18}\text{F}$  活性 = 葡萄糖代謝率
- 低代謝 : **epileptogenic foci**
- 高代謝 : **tumor malignancy**

# 腦部的葡萄糖代謝率 from PET



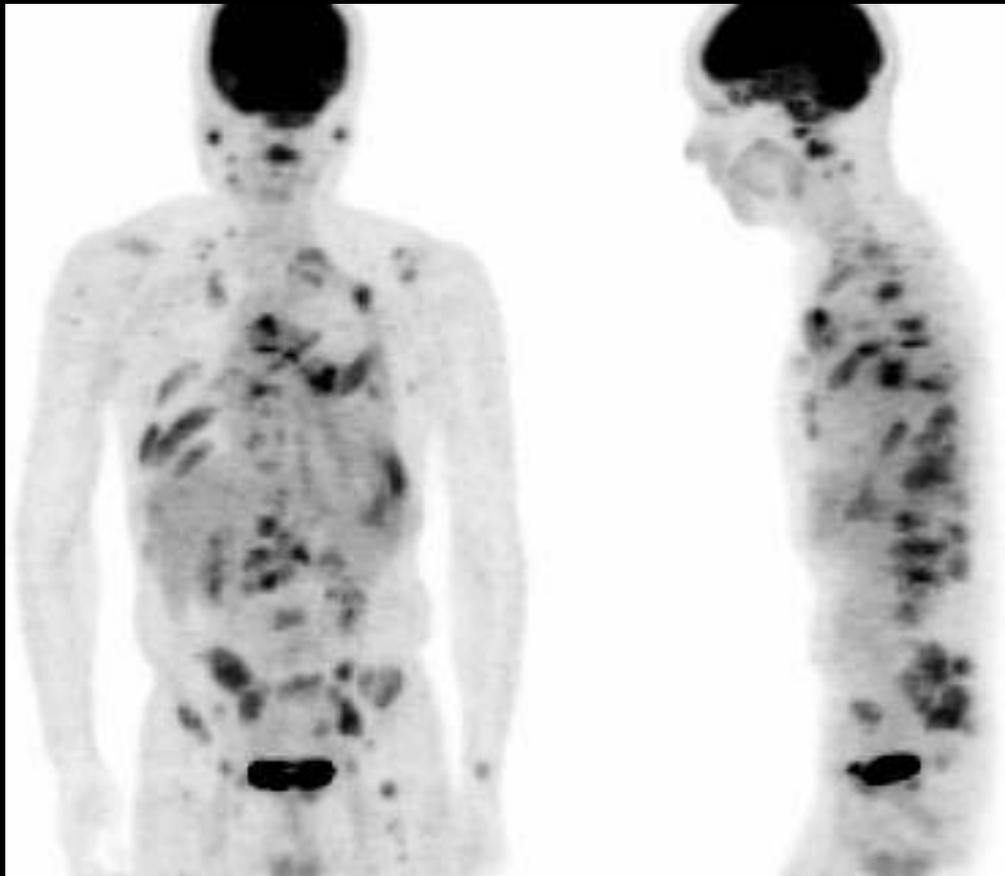
**Left temporal lobe seizure focus**

# 腦部的葡萄糖代謝率 from PET



**Pituitary tumor**

# 超高葡萄糖代謝率 from PET



**Metastasis from whole-body PET**

# 其他 PET 使用藥物

---

- $^{11}\text{C}$ -acetate : 鼻咽癌
- $6\text{-}^{18}\text{F}\text{-L-FDOPA}$  : 多巴胺代謝
- $\text{H}_2^{15}\text{O}$  : 大腦血流
- $^{15}\text{O}\text{-O}$  : 組織含氧量 ...

# 學工程者最易犯的毛病

---

- 不要告訴我說 PET 可以做影像 and that's all for PET !!!
- 放射化學合成角色非常重要
  - 只用 FDG 做癌症篩檢 ... ???

# 三小時上得完核醫影像嗎？

---

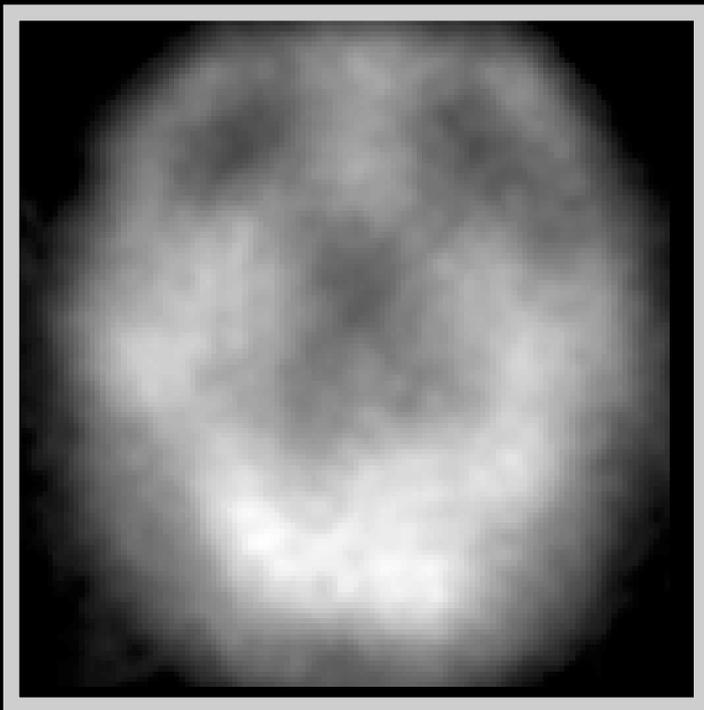
- 原子能物理都還沒教耶！
- 化學合成的方式與瓶頸？
- 更多功能性臨床診斷應用？
- 同位素與藥物毒性、排出方式？

# 但是一定要提核醫的競爭者

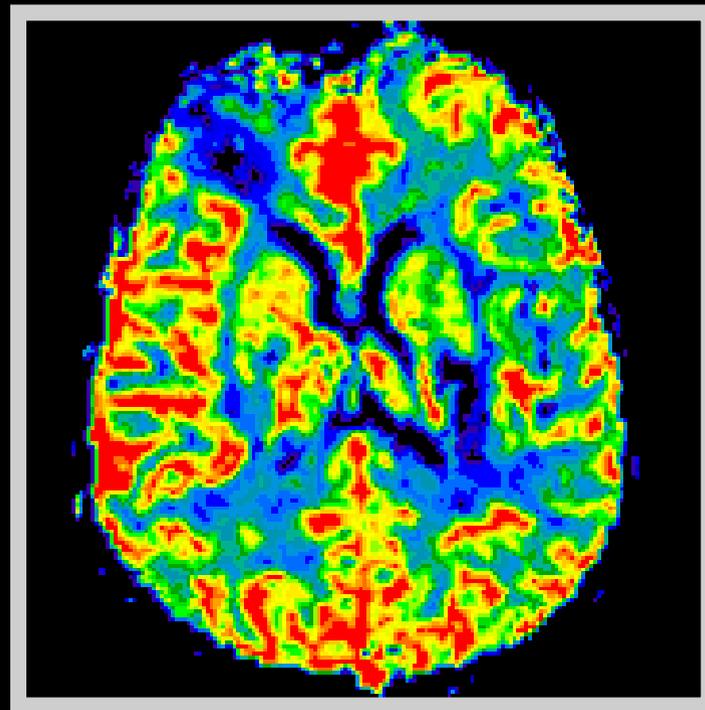
---

- **MRI 磁振造影 (因為我在做嘛!)**
- **功能性 MR 影像診斷日新月異**
- **血流、含氧量、氣體交換、代謝、  
target-specific contrast agent ...**

# 大腦血流影像

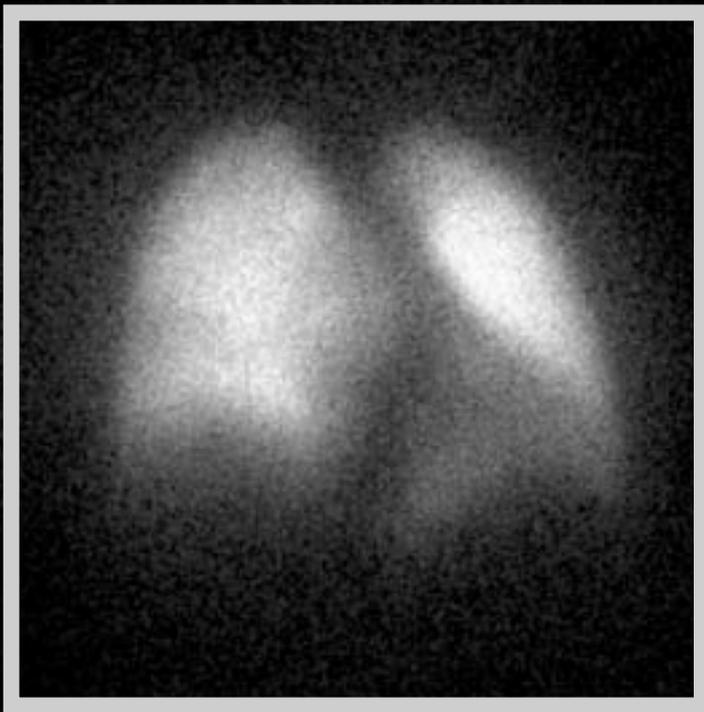


**SPECT**

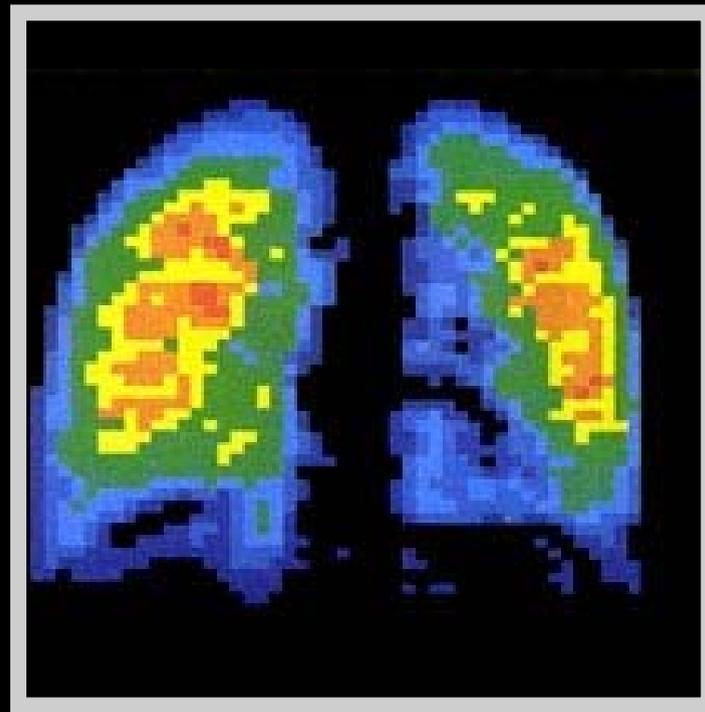


**Gd MRI**

# 肺呼吸功能影像

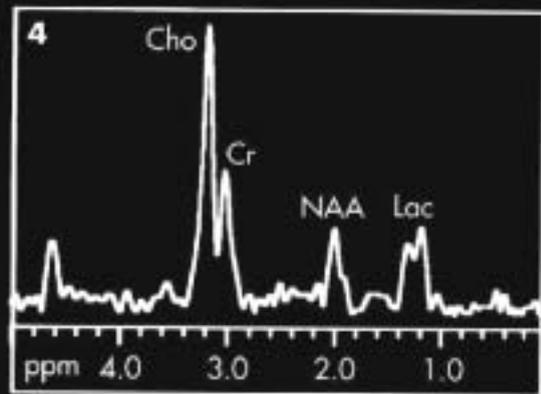
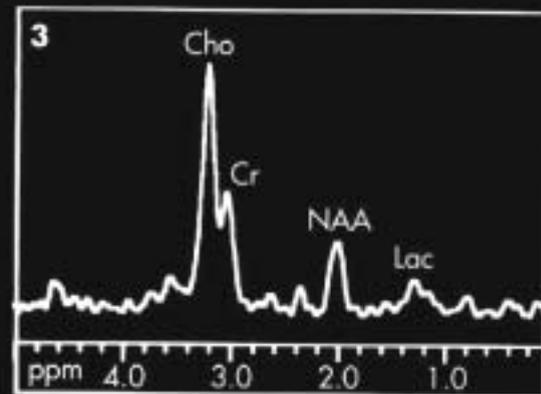
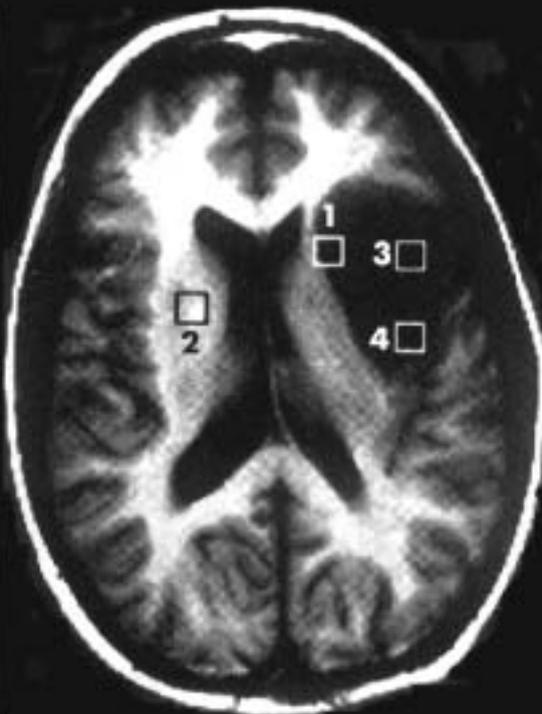
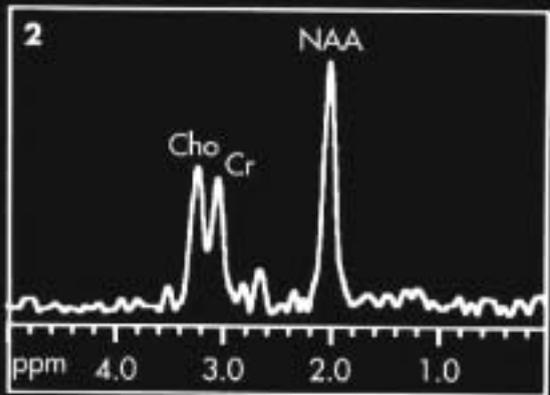
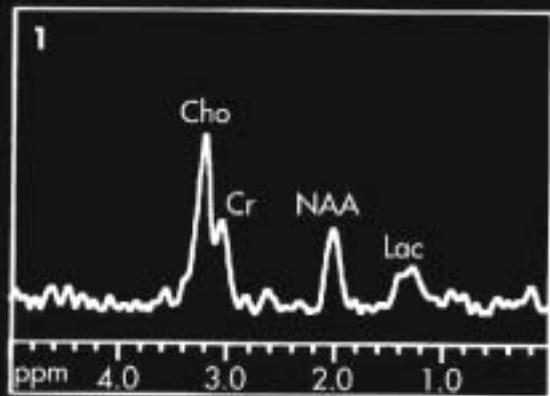


**Sintigram**



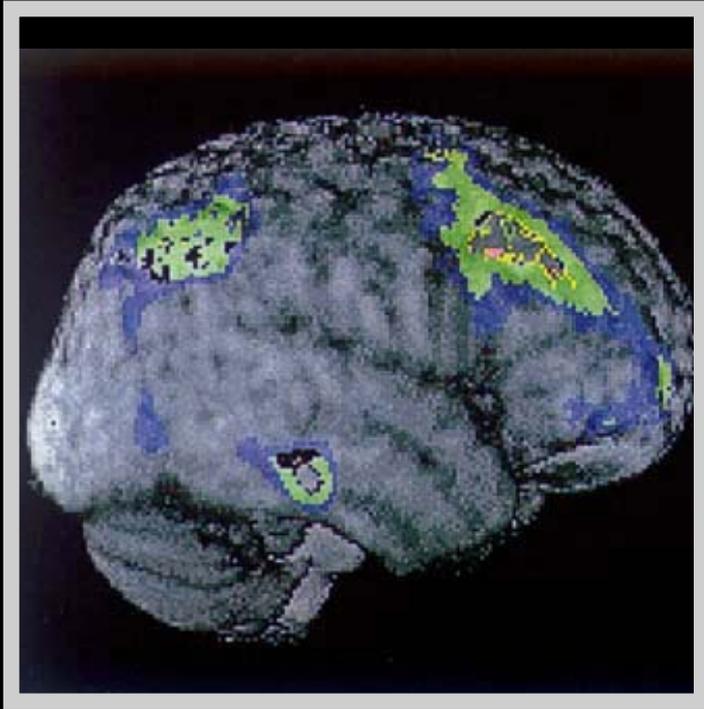
**$^3\text{He}$  MRI**

# 代謝性影像

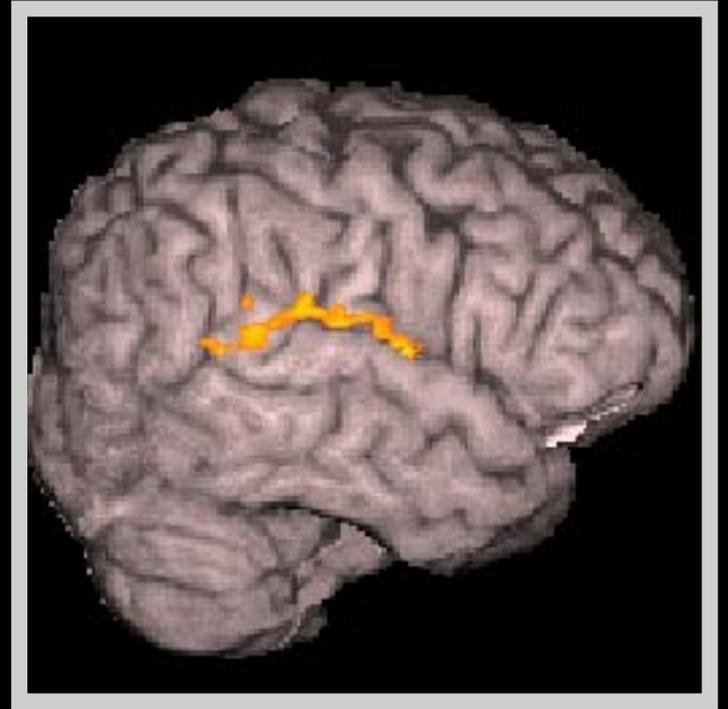


區域核磁共振頻譜

# 腦功能影像



**PET (memory)**



**MRI (auditory)**

# 不要忘記啲！

---

- **MRI** 沒有游離性輻射
- 而且 **MRI** 「功能資訊」未必與核醫影像完全相同
- 「互補」?? 「取代」??

# 回顧核醫影像發展歷史

---

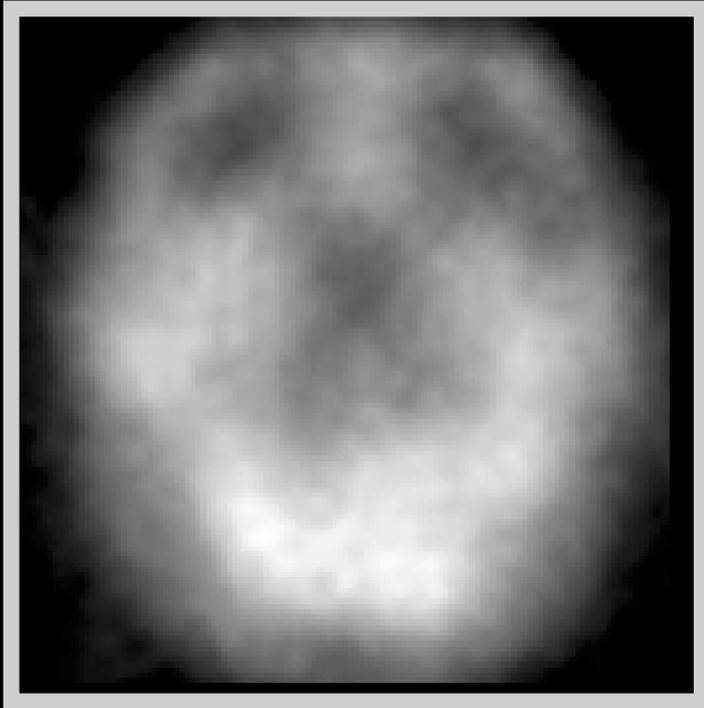
- 1960s : SPECT 儀器技術快速進展
- 1972 : X-ray CT 的出現
  - SPECT 只剩少數中心純做研究
- 1980s : 鉈 ( $^{201}\text{Tl}$ )、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO ...
  - SPECT 再次獲得青睞
- 2000s : SPECT ? PET ? MRI ?

# CT 難道不行競爭嗎？

---

- 顯影劑 + 快速動態影像 = 血流
  - 1980 就已有論文報告
- 放射劑量正比於影像數
- 其他「功能性」極為有限

# SPECT 影像品質如何與 CT 抗衡？

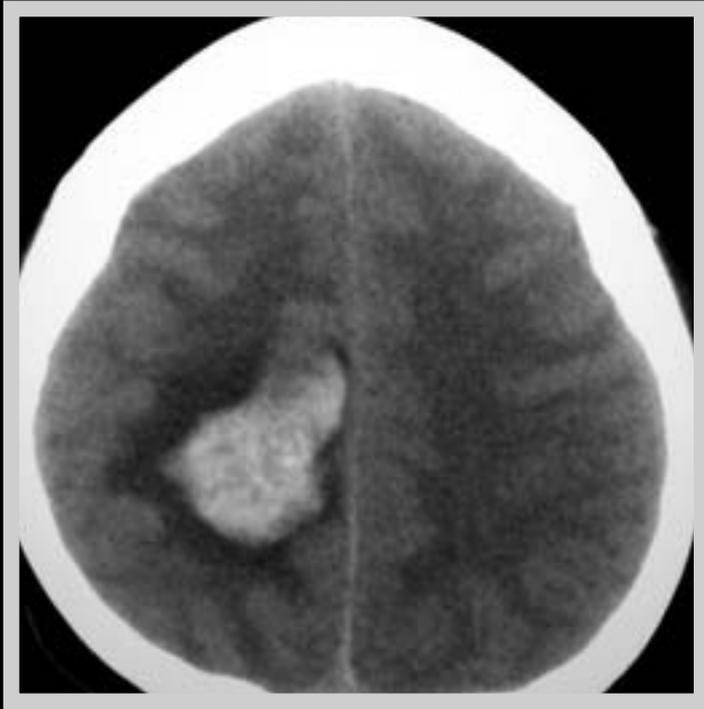


**SPECT**

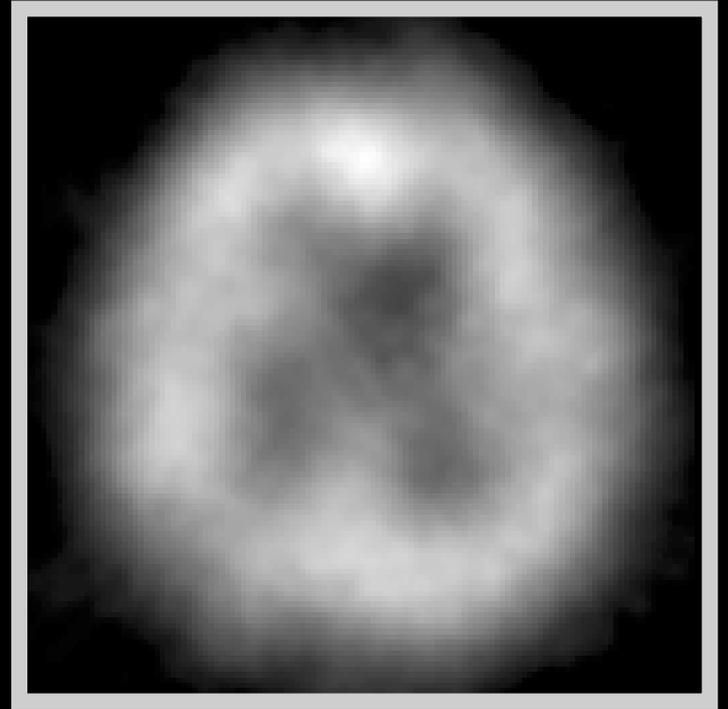


**X-ray CT**

# CT 功能性資訊如何與 SPECT 競爭？



**Morphology**



**Blood flow**

# 怕什麼？ 結合形態與功能



**PET-CT + image fusion**

# 結論：三週醫學影像

---

- 絕對各有千秋
  - 雖有消長，但仍難互相取代
- \$ : PET > MRI > CT > X 光
- 第一線診斷？ 追加檢查？

終於又要下課了 ...

不過等一下！

鍾孝文 副教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

# 請給我一些 Feedback

---

- 期末網路教學意見調查
  - 請各位給我文字意見
  - 請清楚註明不同教授部分
  - 供詹教授或我做為參考

醫學影像系統 ...

下課吧，耶！

鍾孝文 副教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部