

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

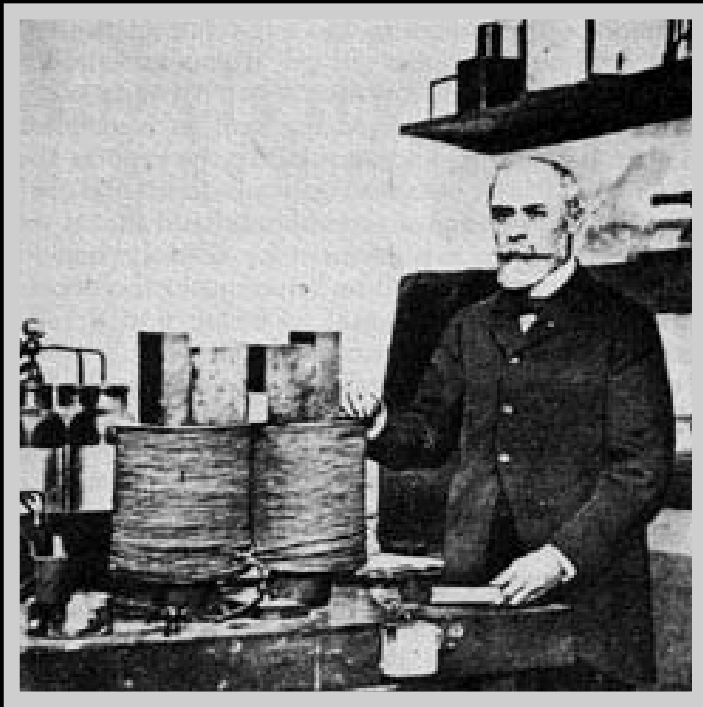
放射性的發現

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

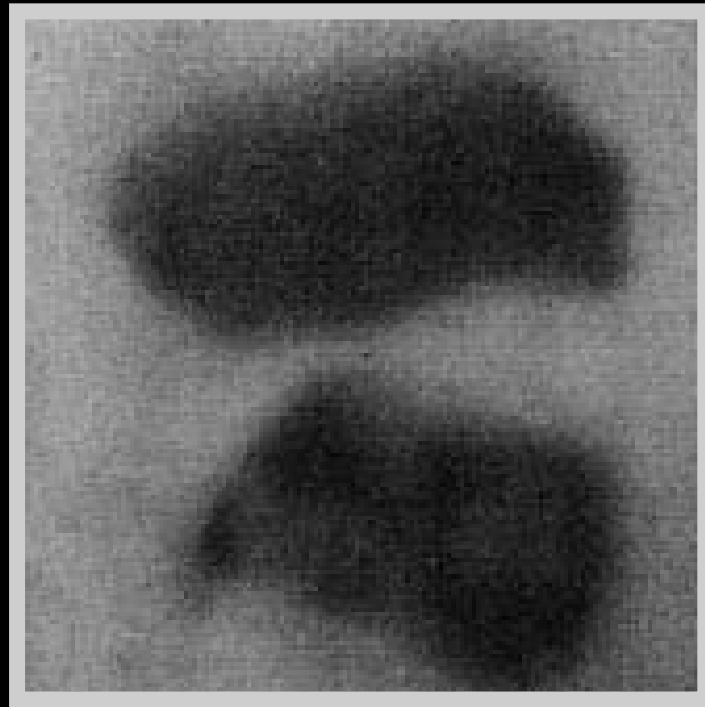
Becquerel 的實驗

- 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

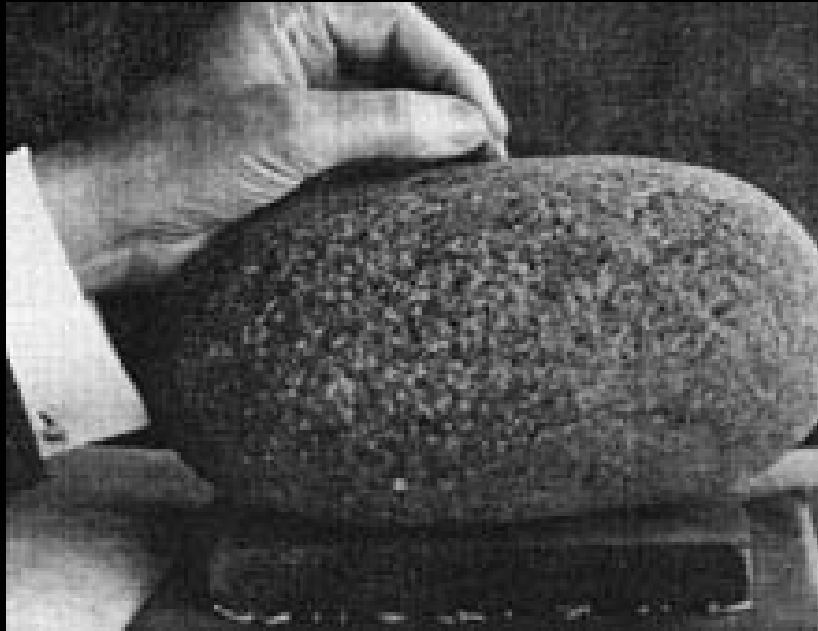


鈷與鐳的化妝品



放射性原子能汽水

鐳射線的穿透性 (1907)

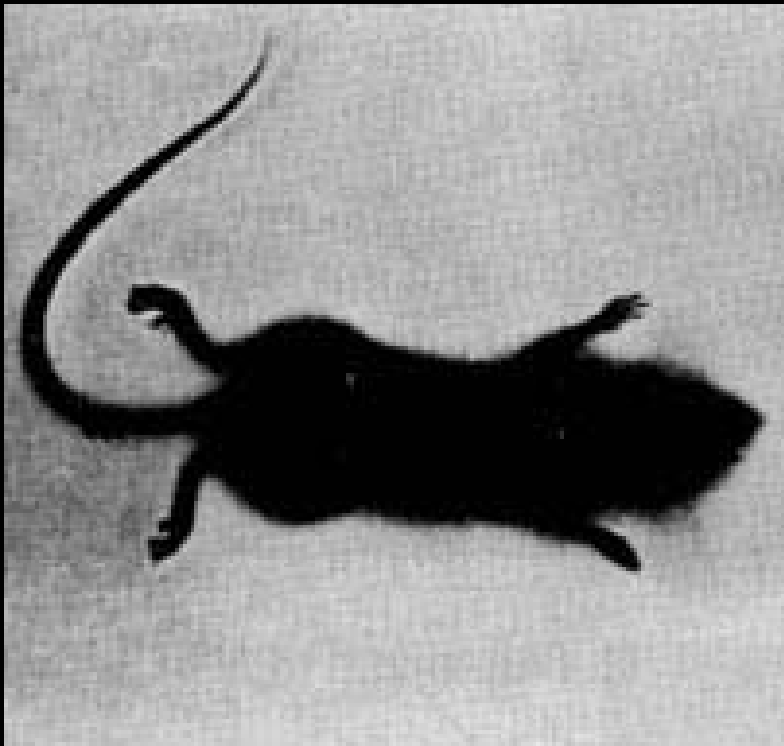


60 mg 溴化鐳

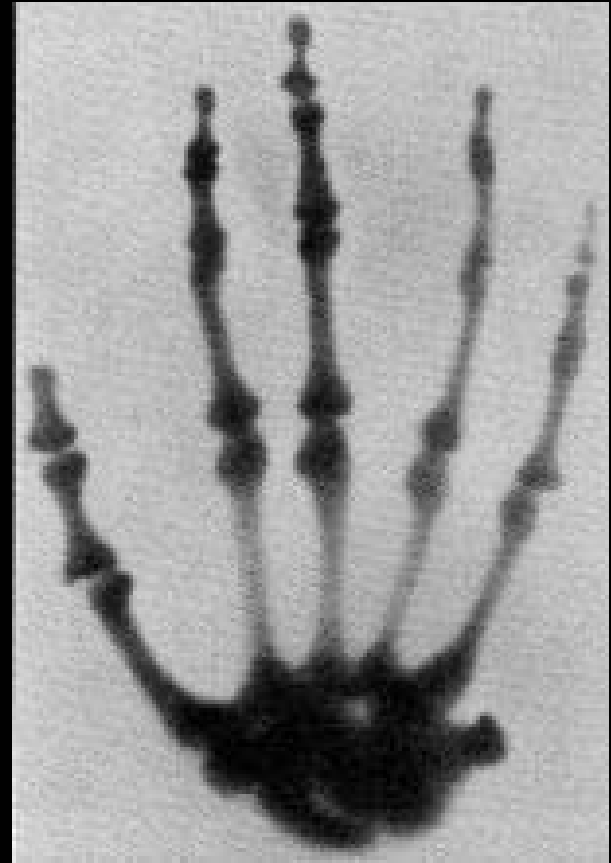


鉛字曝光三天後

Radiumgraphs (1904)



老鼠的鐳射線影像

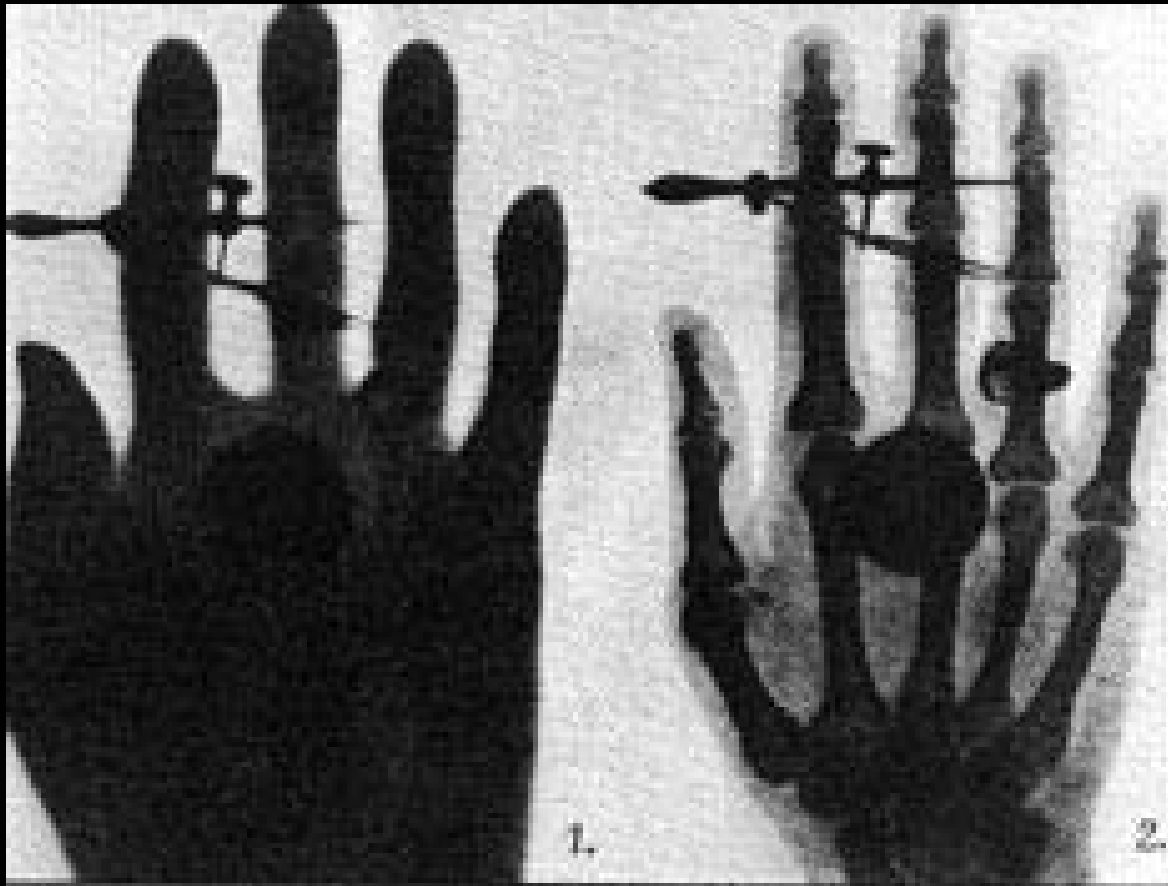


手 (10 mg Ra , 6 hr)

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

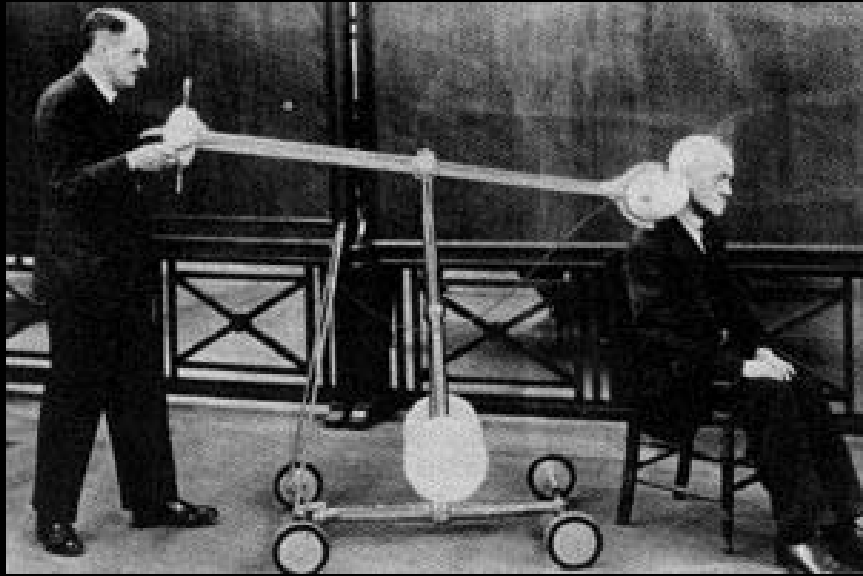
鐳影像與 X 光的比較 (1911)



鐳影像 (劑量高)

X 光 (劑量低)

Radium Bomb

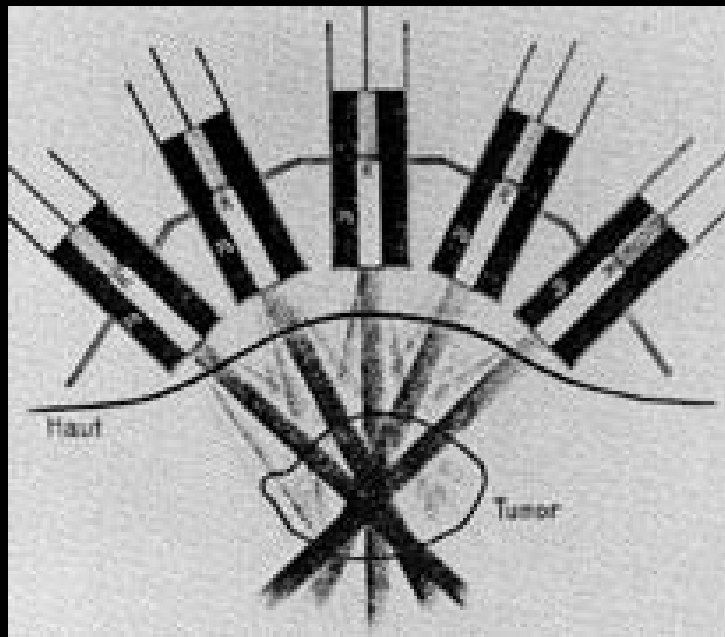


Flint (1934, 1g Ra)

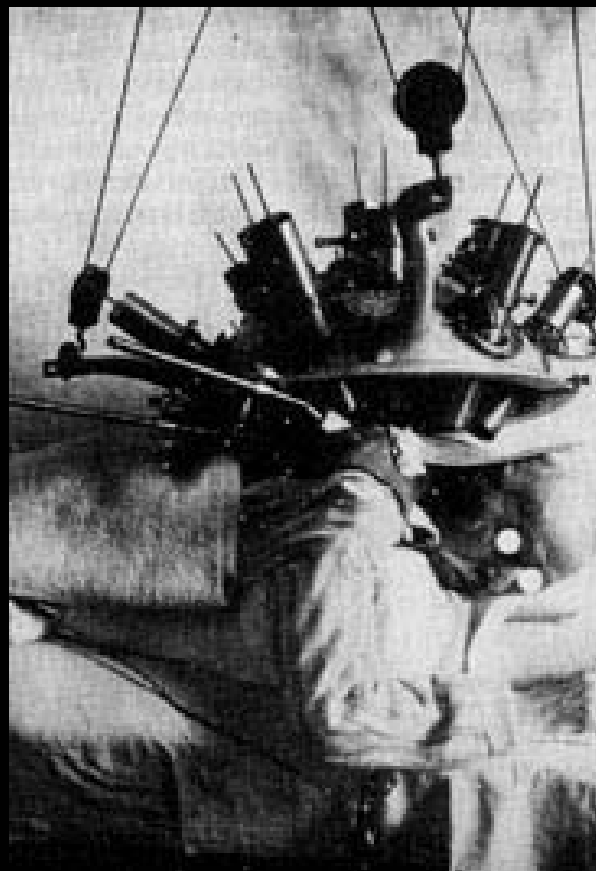


Bryant Symons (1940s)

Sluys-Kessler Radium Bomb (1925)



聚焦式腫瘤治療



實體圖 (1.3g Ra)

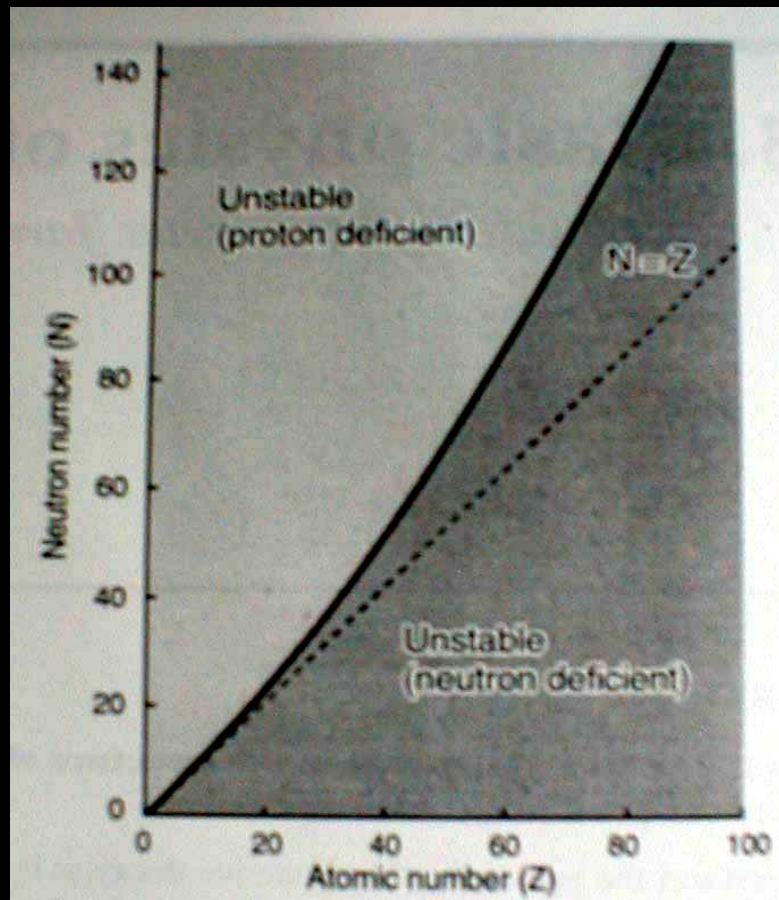
穿透性射線的來源

- **Gamma ray (γ 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

- 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)

原子核的中子質子比



遠離穩定區的核種皆傾向產生衰變

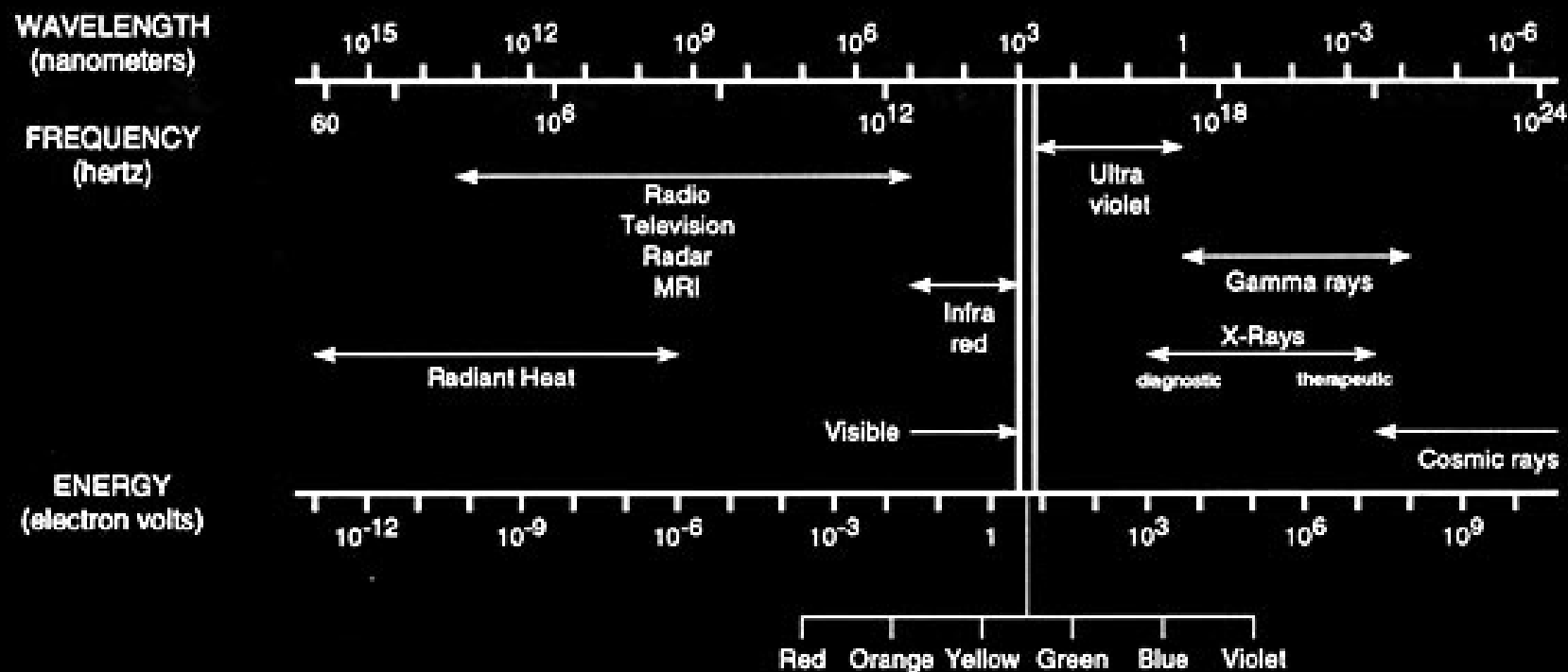
粒子衰變 (α , β^-)

- 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

γ 衰變

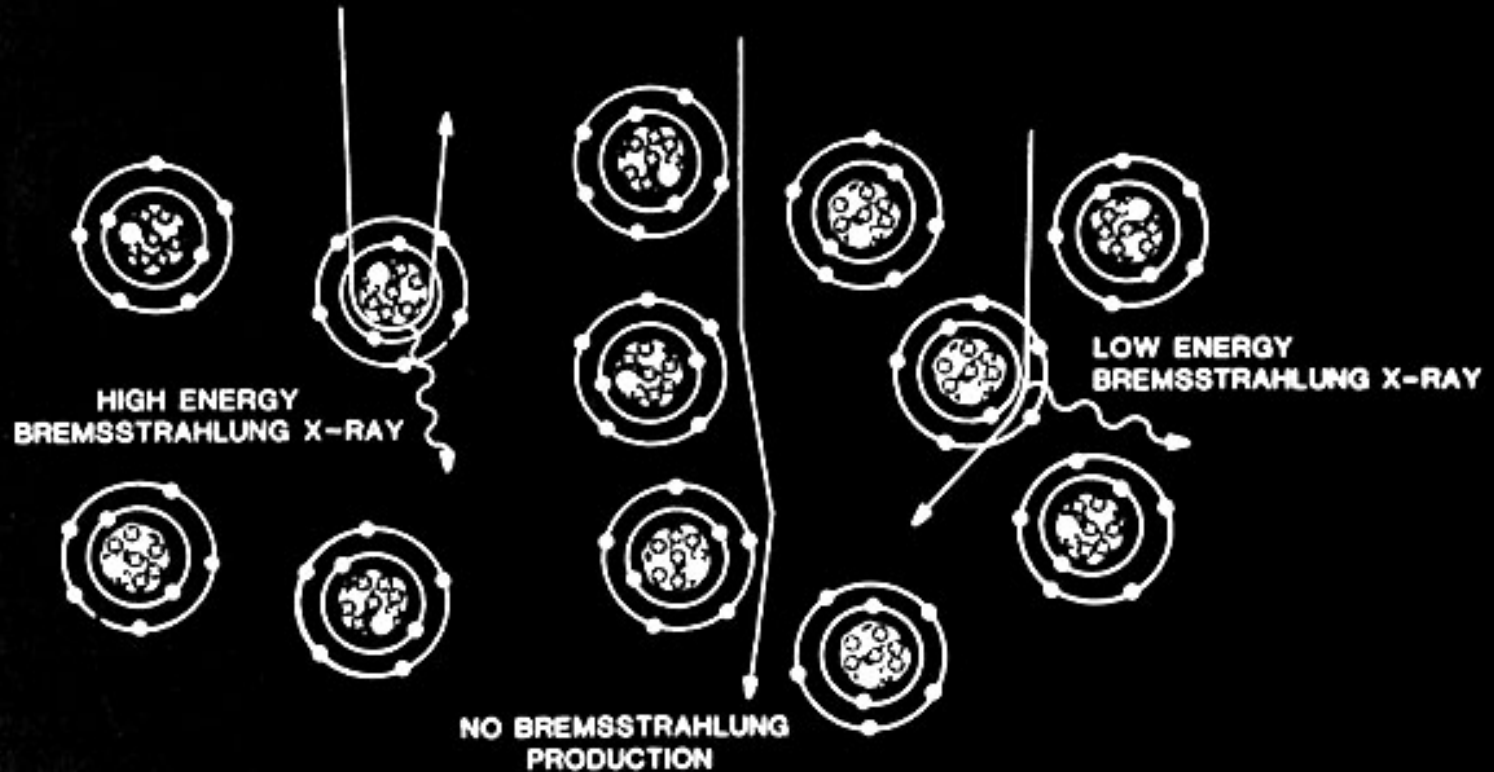
- γ ray : 能量高於紫外線之電磁波
 - X ray : 源自於電子產生
 - γ ray : 源自於原子核
- 核醫多採用 **metastable** 核種產生

電磁波頻譜



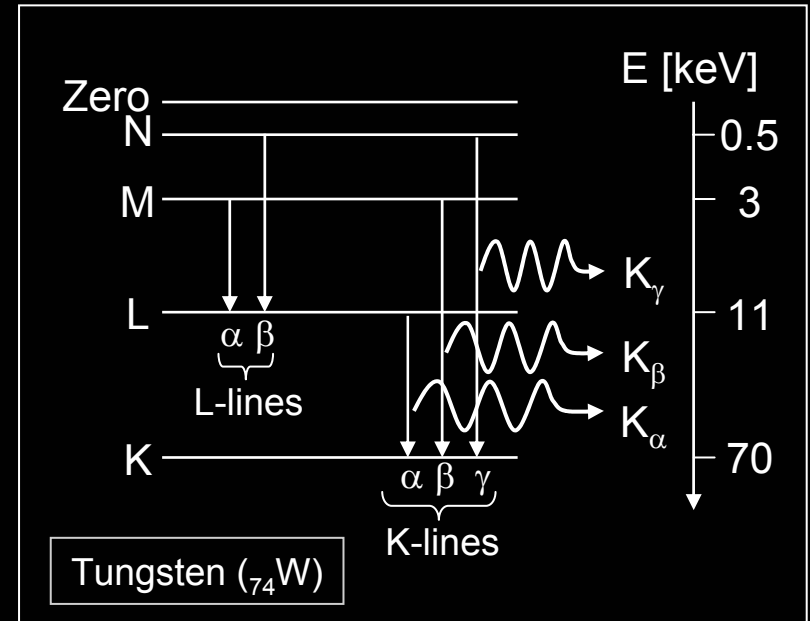
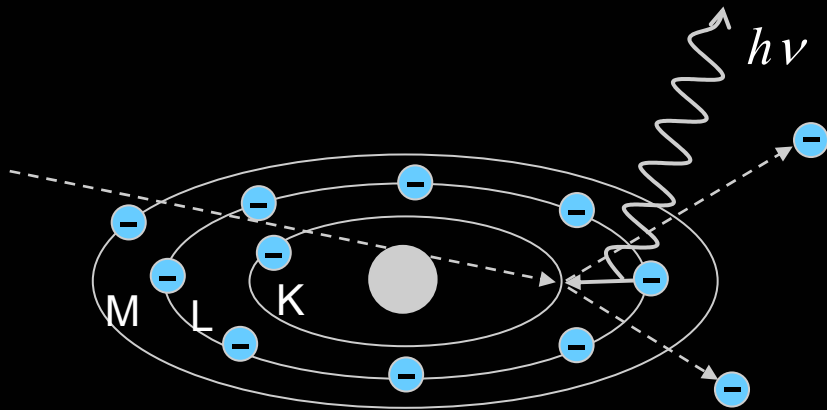
X 光與 γ 射線基本上性質相同

電子的煞車效應 (Bremsstrahlung)



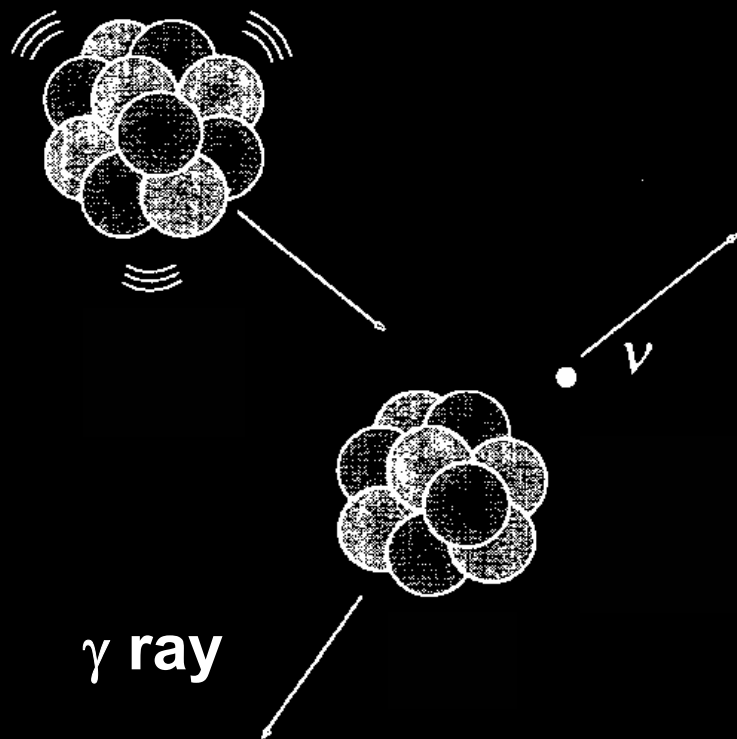
能量損失以輻射形式釋出

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_2O** 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

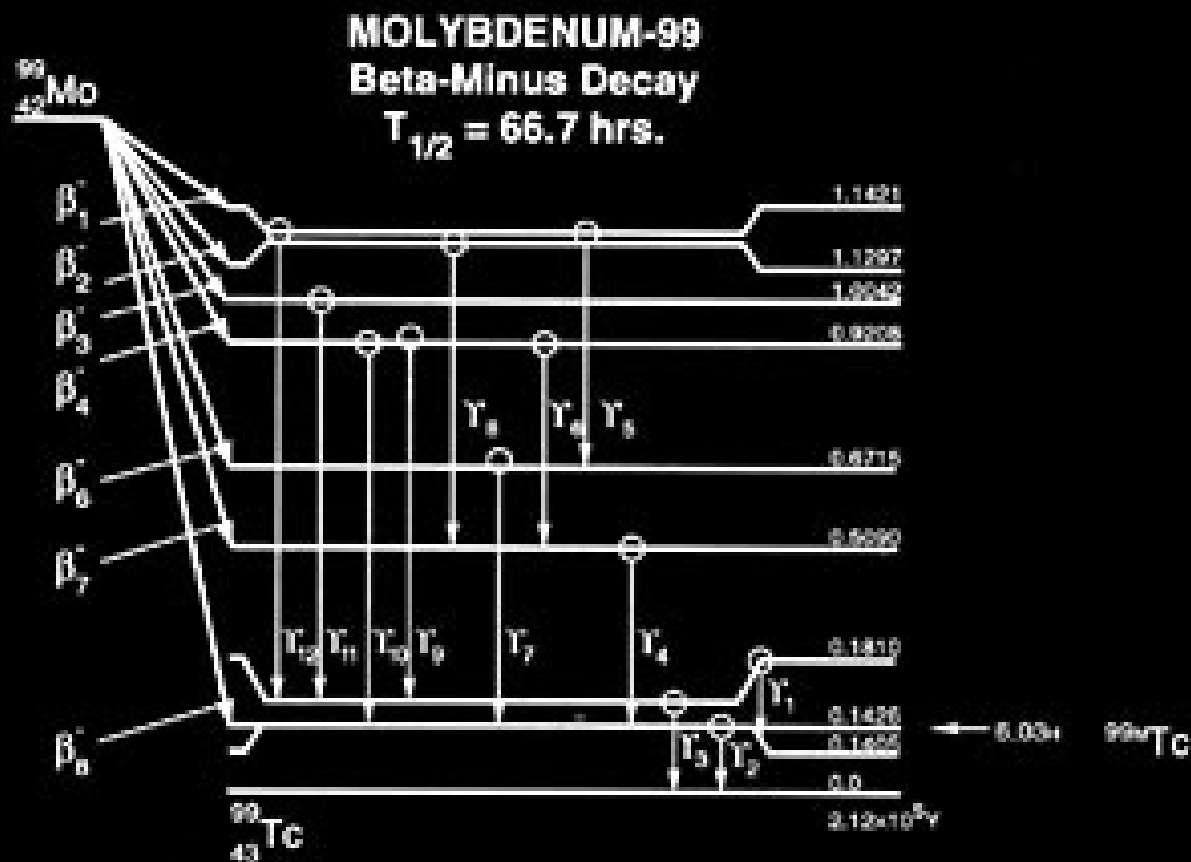
適合的放射性同位素

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

^{99m}Tc (Technetium 鎝)

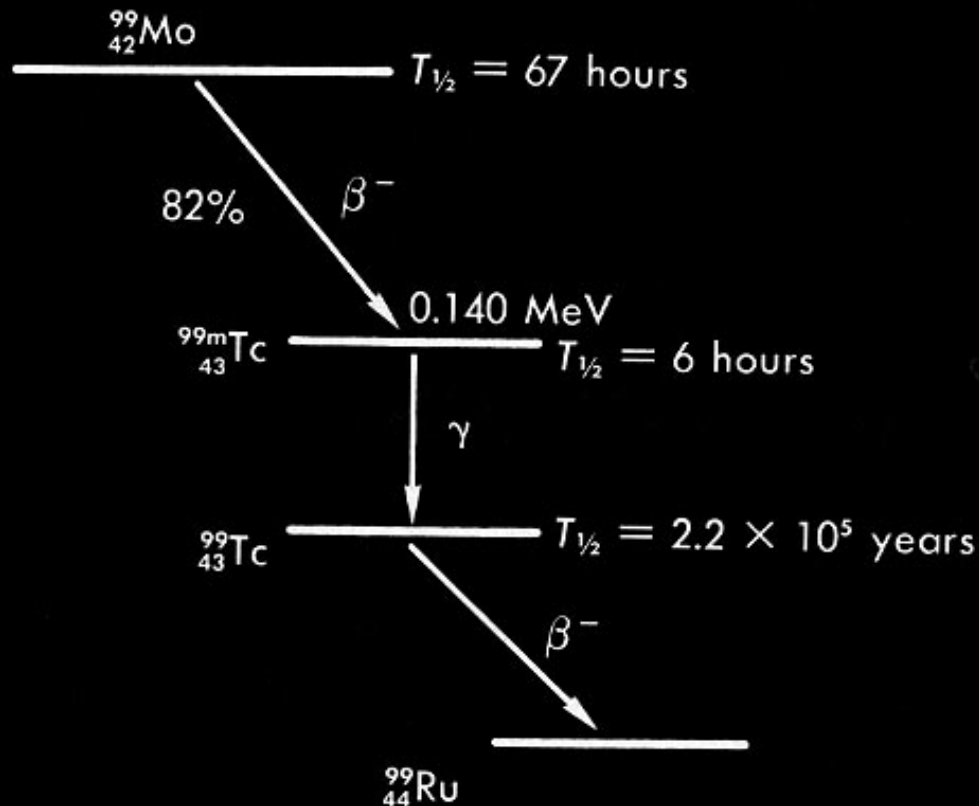
- 目前最廣泛使用於核醫的核種
- 6 hr 半衰期 ($^{99m}\text{Tc} \rightarrow ^{99}\text{Tc}$)
- 140 KeV 單一射源
- 88% abundance

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ 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}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、甚至無法掃描
 - 例： $^{81\text{m}}\text{Kr}$ ：190 KeV
 - 半衰期 13 秒

註： γ 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}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**

^{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

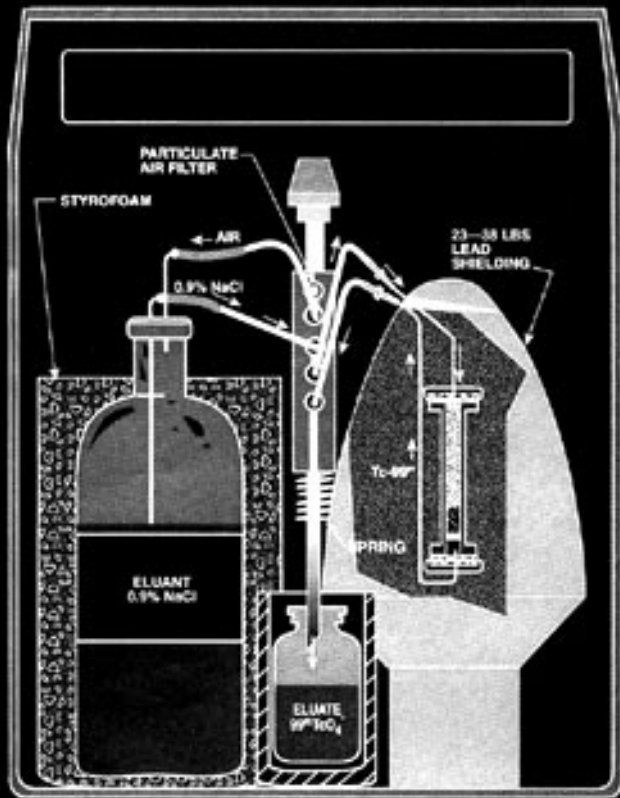
^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 產生器

- ^{99}Mo 以 $(\text{NH}_4)^+(\text{MoO}_4)^-$ 形式吸附在 Al_2O_3 之上
 - Al_2O_3 : 多孔材質
- ^{99}Mo 蛻變之後生成鉬鎝混合物

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

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

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



構造簡圖

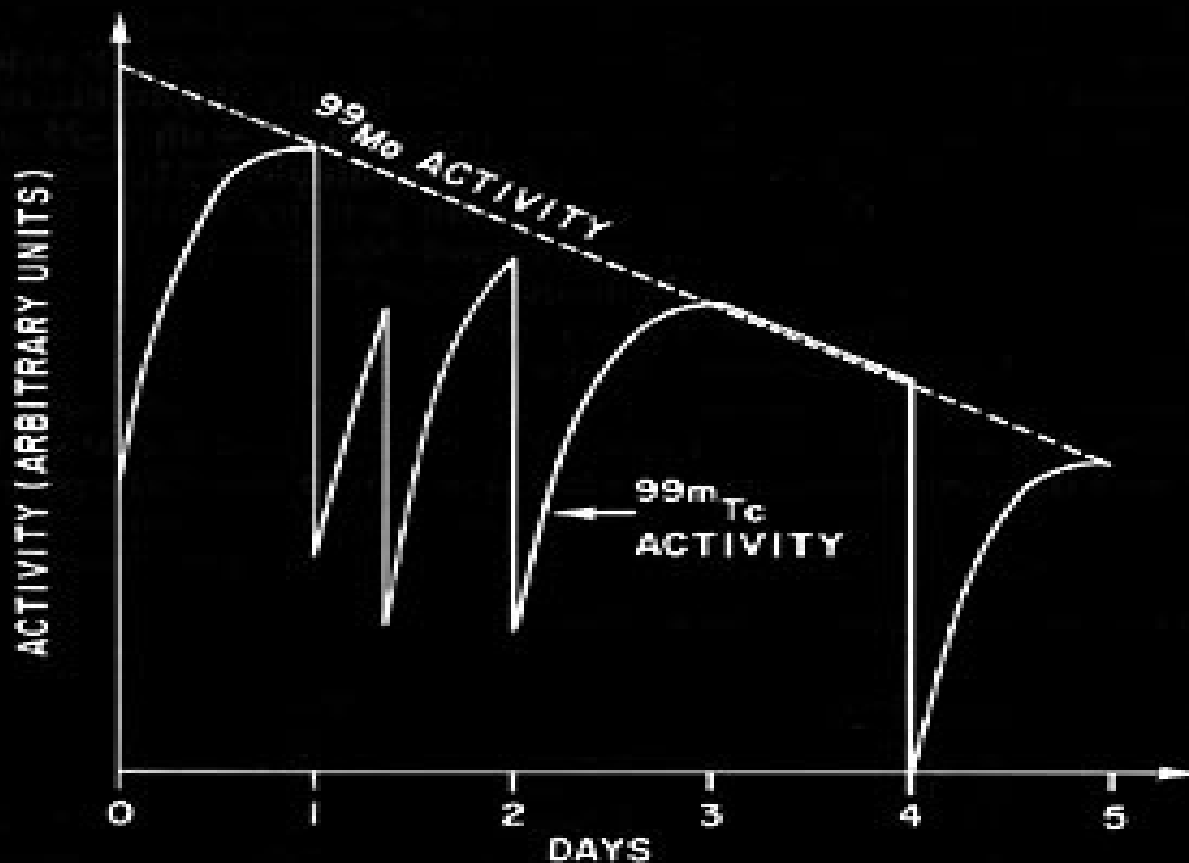


實體照片

Some Details ...

- ^{99}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}U 核分裂產生

^{99m}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}Mo (67 hr)- $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (6 hr)產生器**
- 比較： **^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 產生器**
- 半衰期 **^{81}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}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 產生器
- ^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 、 ^{68}Ge - ^{68}Ga ...
- 核反應爐 (熱中子反應、核分裂)
- 粒子加速器 (待會會提)

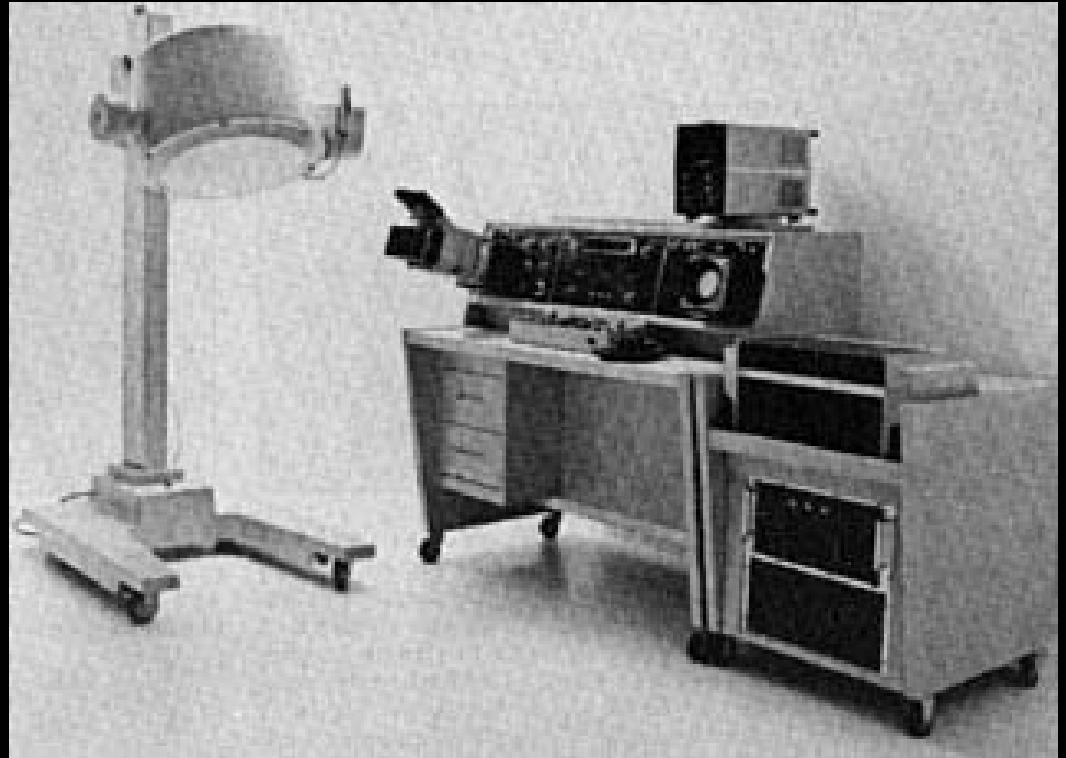
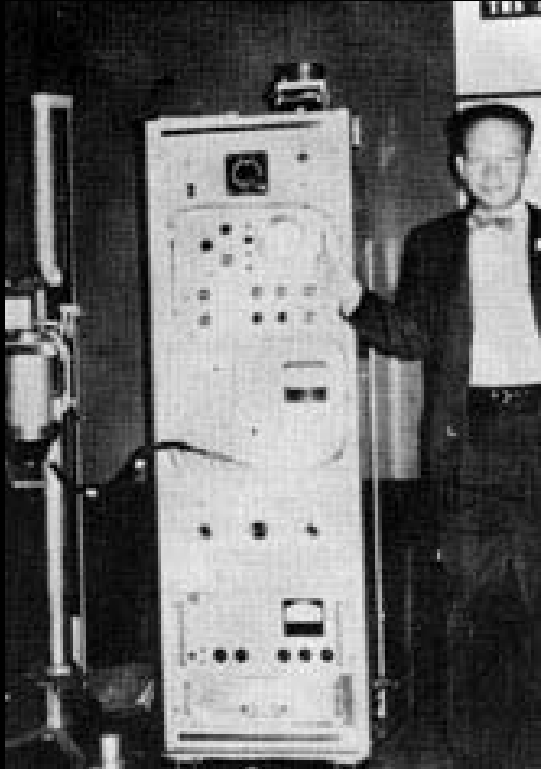
核醫影像診斷的幾項要素

- 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

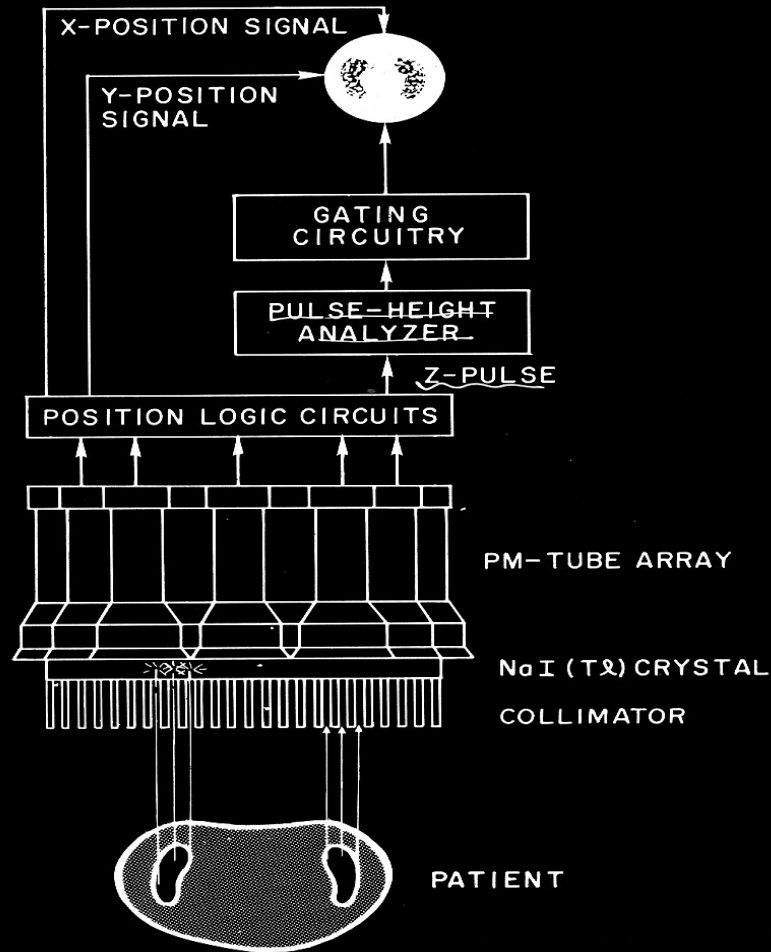
- **Hal Anger, 1958 (Anger camera)**
- 核醫影像目前最重要的儀器
- 閃爍計數器 + 準直儀 + 光電倍增管
+ 波高分析器 + 位置邏輯線路

Hal Anger 與 Gamma Camera

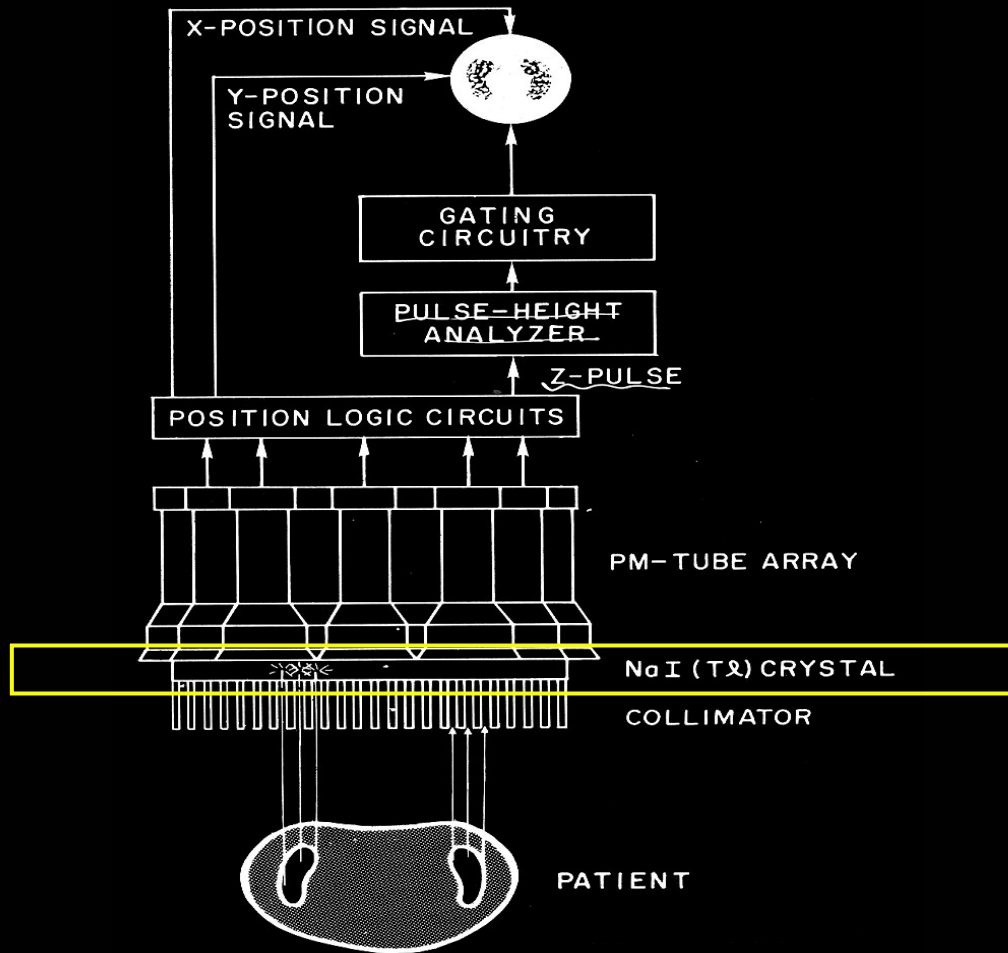


1958

Gamma Camera 功能構造簡圖



Gamma Camera 功能構造簡圖



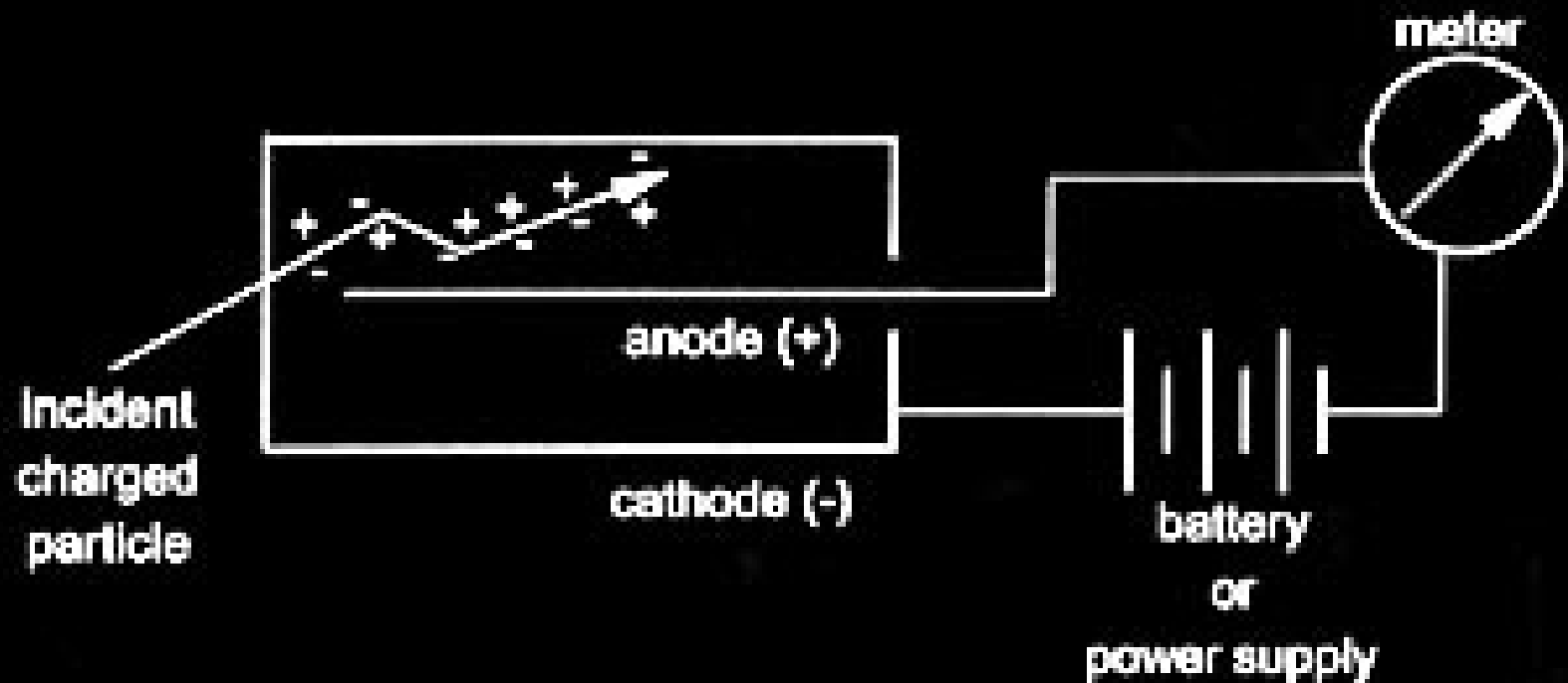
閃爍計數器 Scintillator

- 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

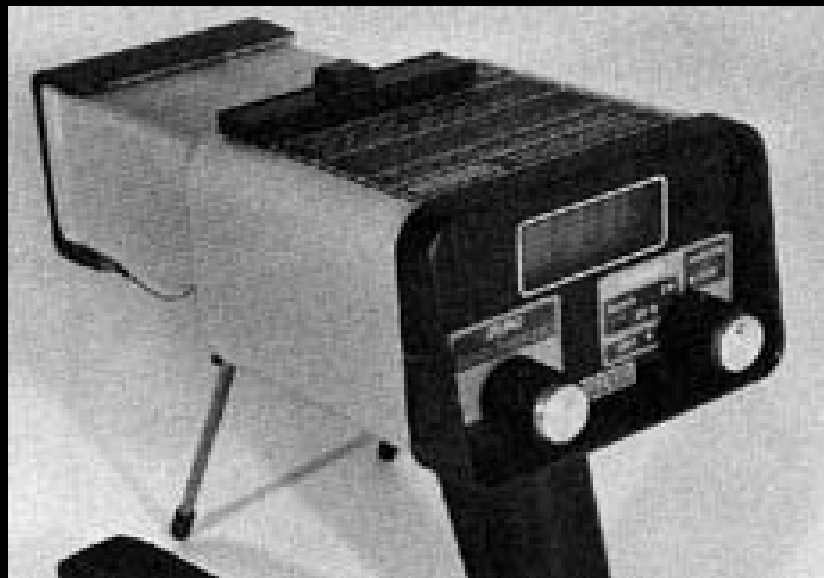
- 只要能轉換 **gamma ray** 就能偵測
- **Gas-filled detectors**
 - **Geiger-Mueller counter**
- **Solid-state detectors**

Gas-filled Detector 原理

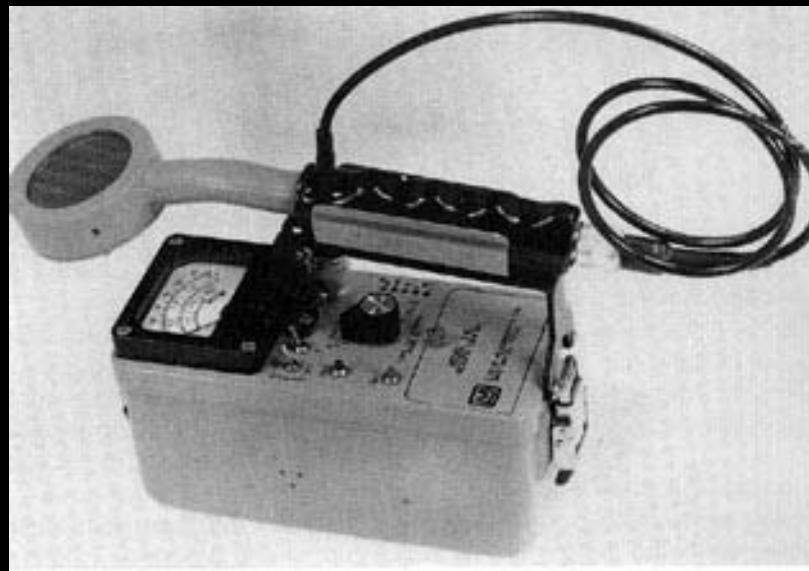


入射光 → 電流

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**
 - γ ray $\rightarrow$ 氣體游離 $\rightarrow$ 電流
 - γ ray $\rightarrow$ 游離半導體 $\rightarrow$ 電流
- 效率較高但價格較貴

方式比較

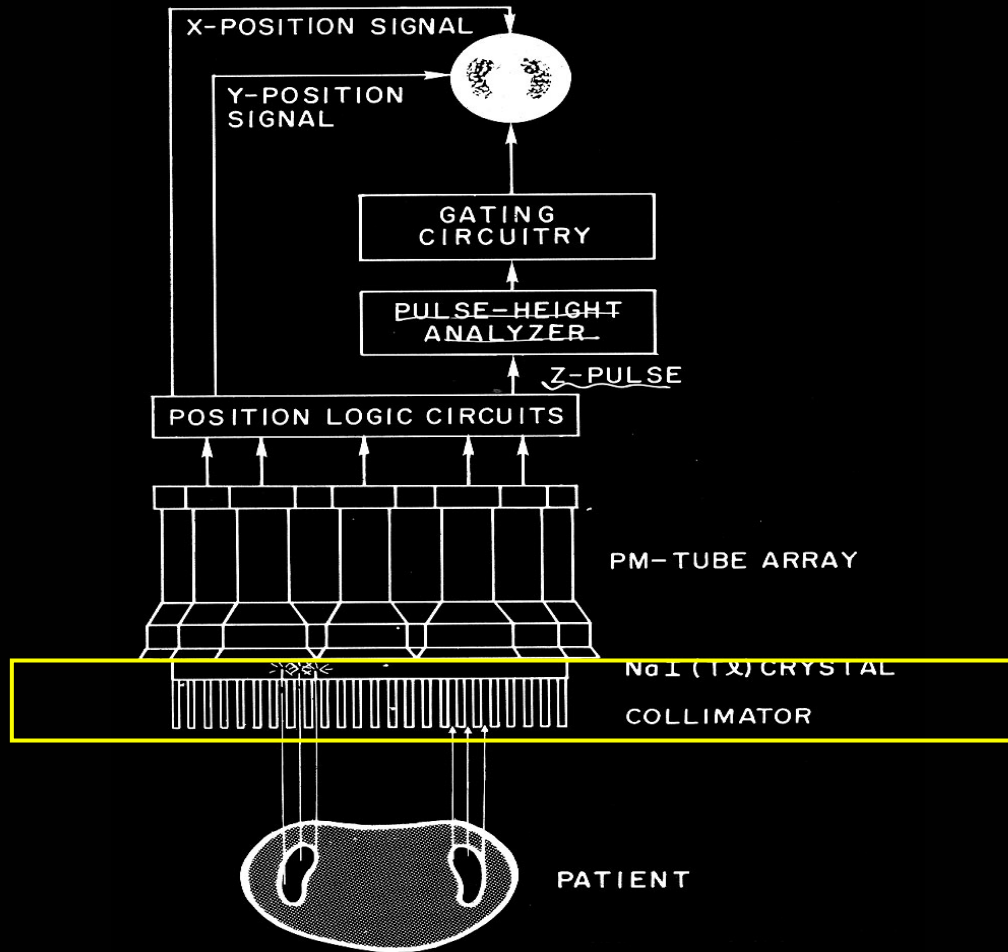
- **Gas-filled detectors**

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

- **Scintillators**

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

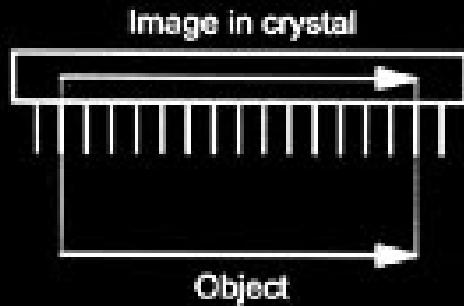
Gamma Camera 功能構造簡圖



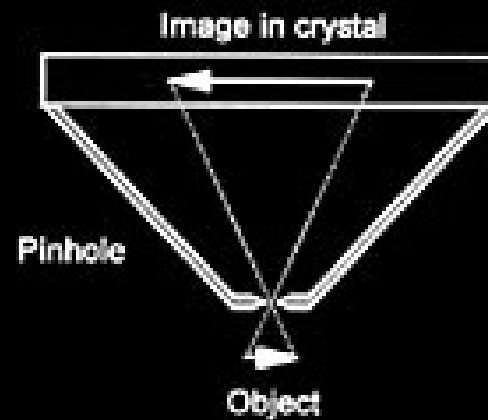
偵測之前：準直儀

- γ 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！

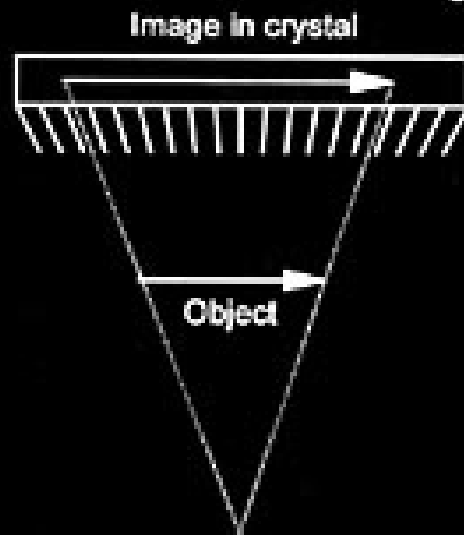
幾種不同方式的 Collimators



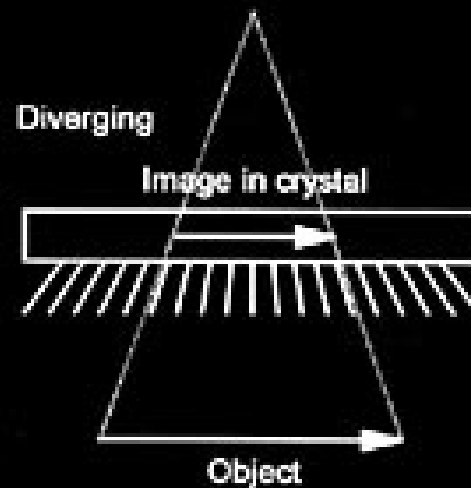
Parallel hole



Pinhole



Converging

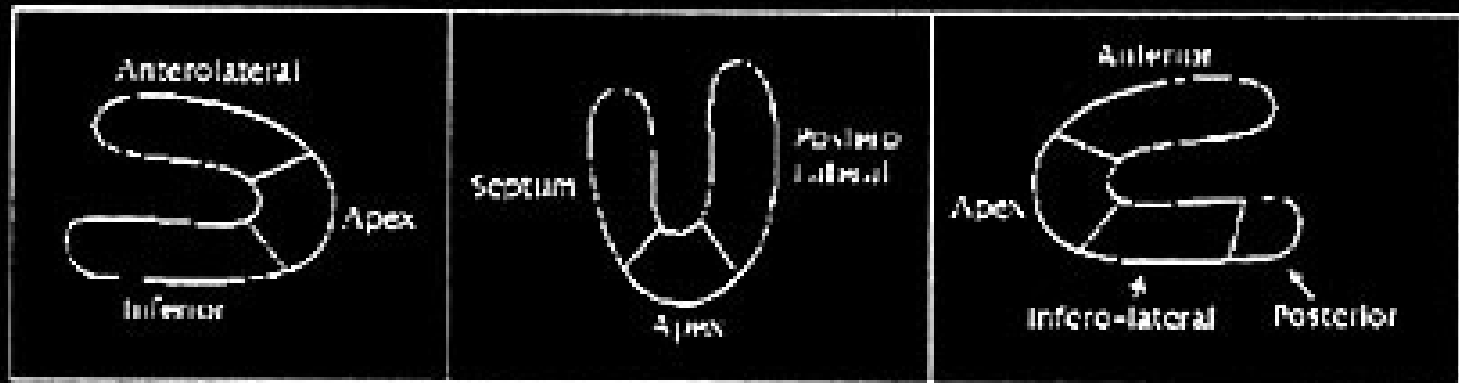
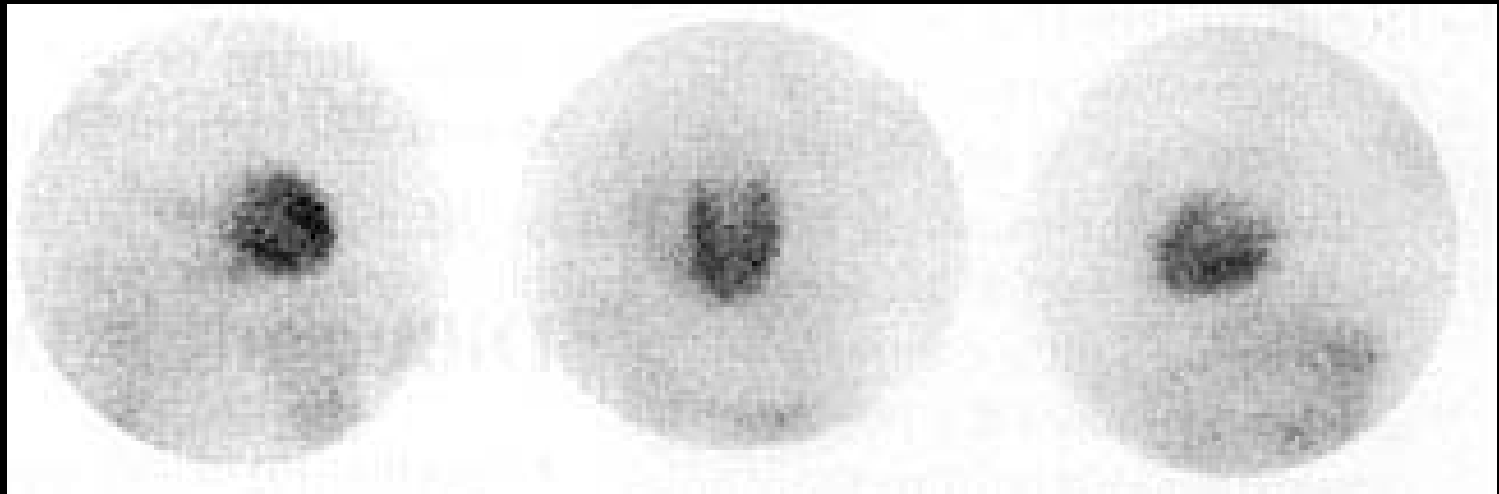


Diverging

Collimator

- 平行鉛壁 (稱為 **septa**)
 - ~ 1 in 5000 photons passes
 - > 99.9% 的 γ 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?)



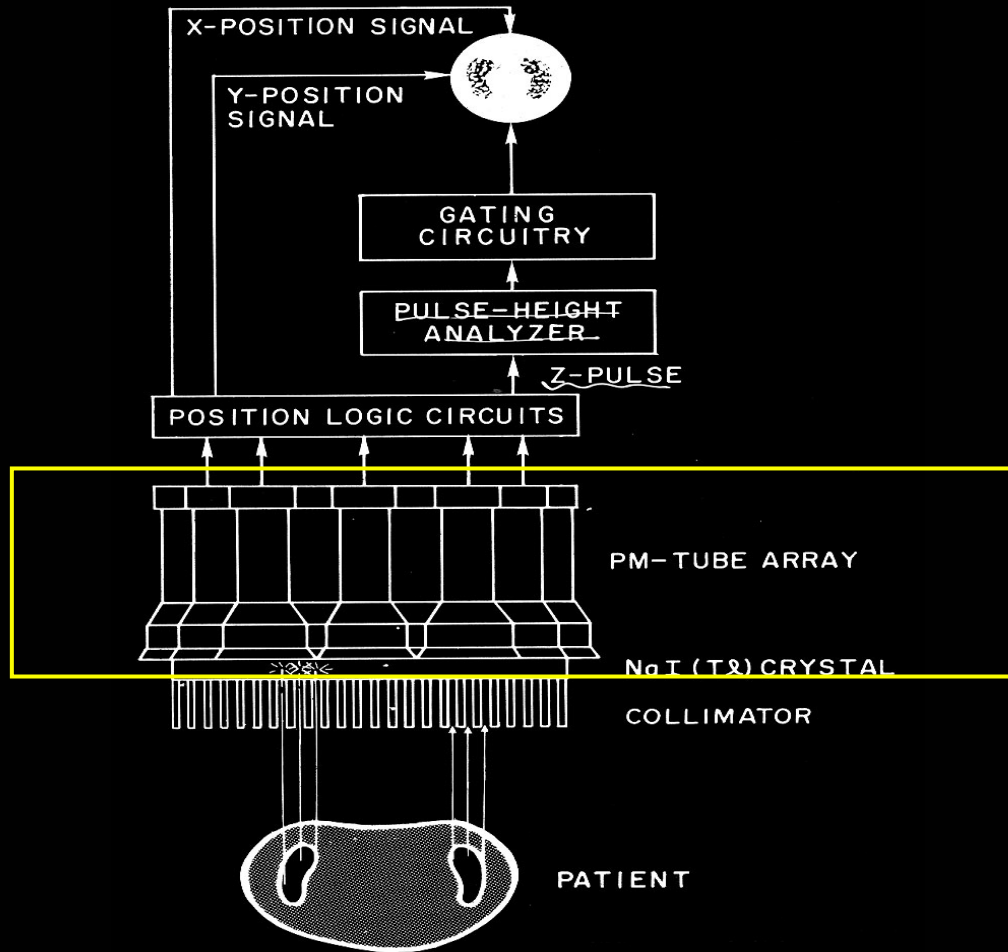
核子醫學影像

- **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

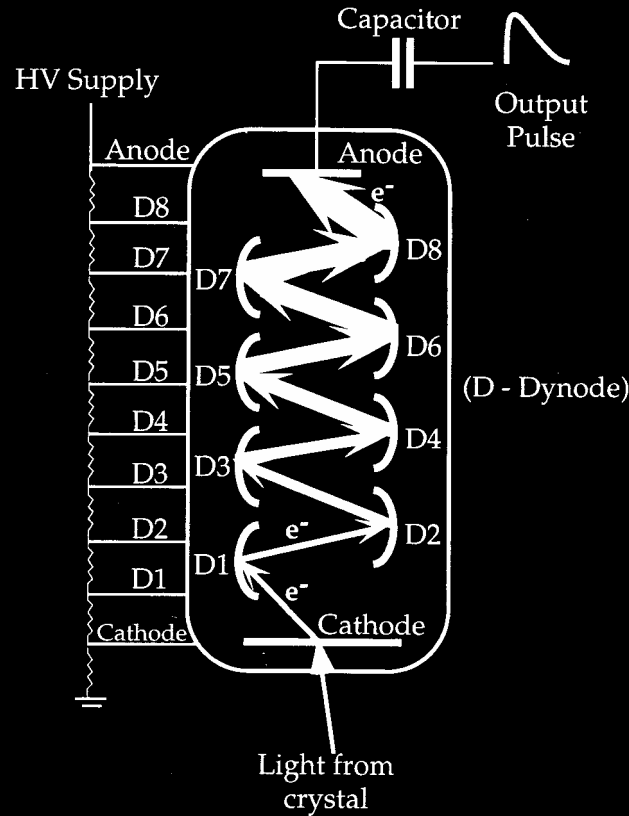
Gamma Camera 功能構造簡圖



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

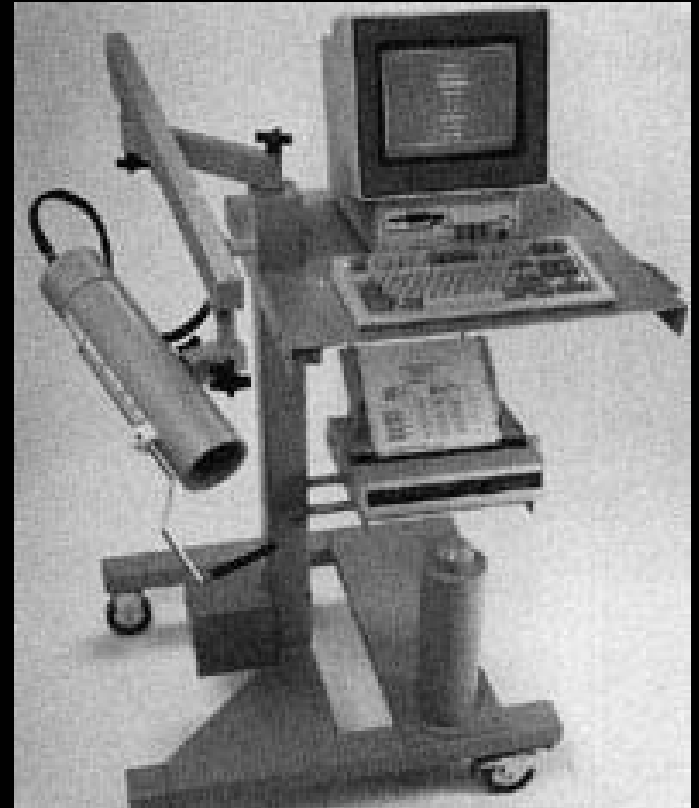
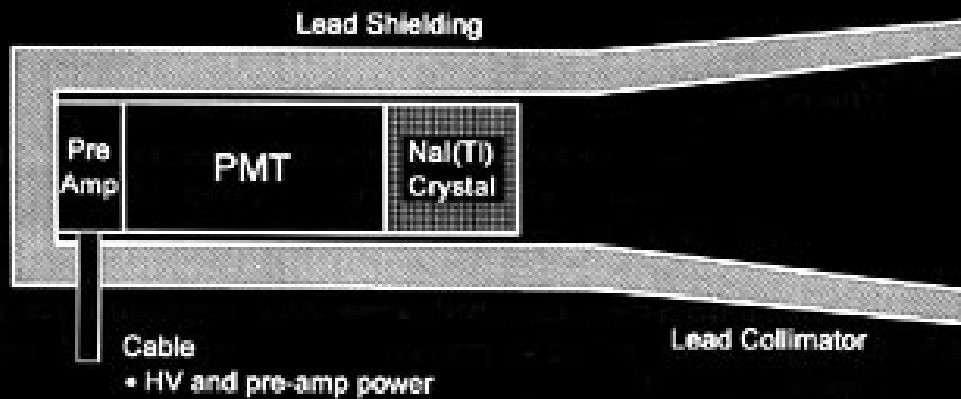
- **Dynode** 材質亦可使用 **CsSb**
- 高電壓源必須非常穩定
- 高鐵磁性合金 (**mu metal**) 做磁屏蔽
- **2.5~7.5 cm in diameter**

光電倍增管



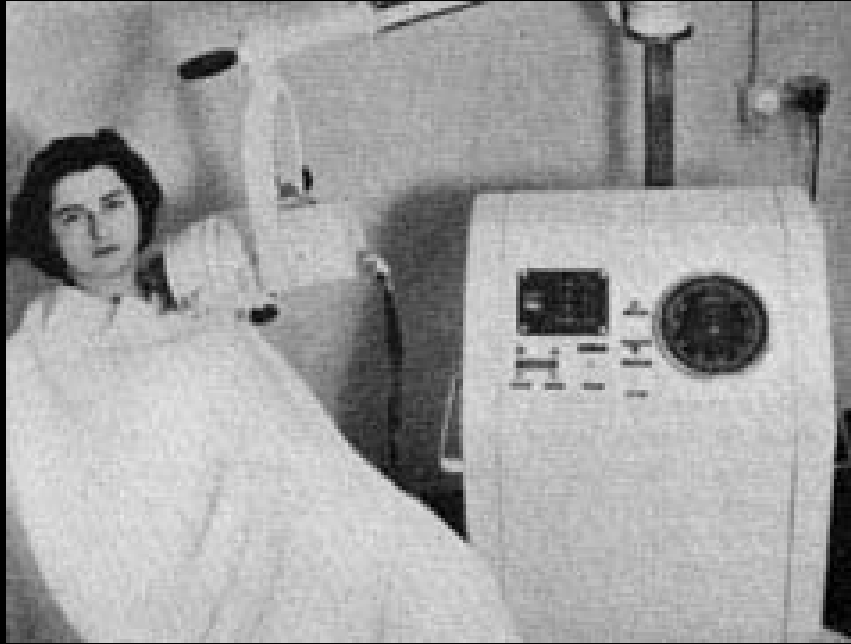
左邊為「卸裝」後的內部結構

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

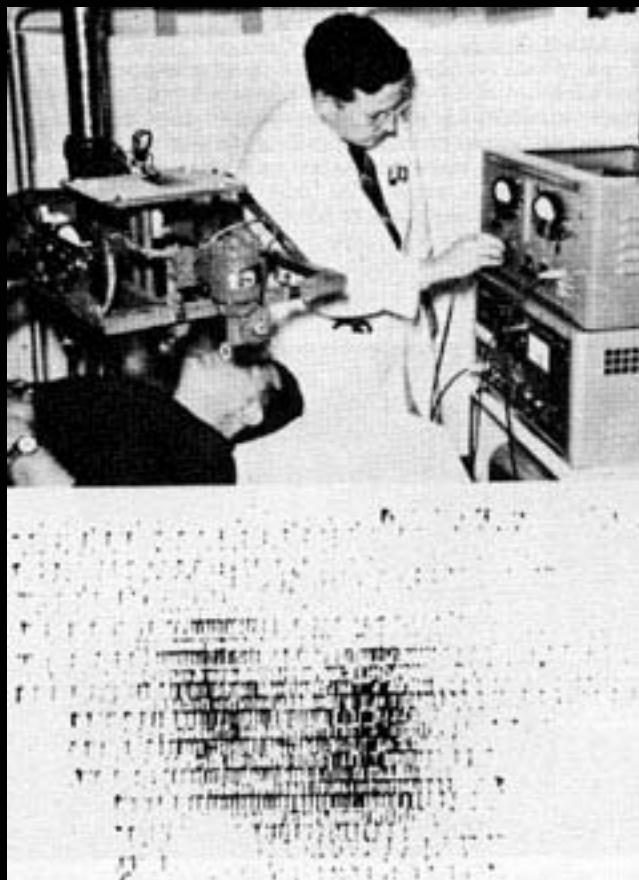


1950



近代

加上機械式移動就可以做影像啦



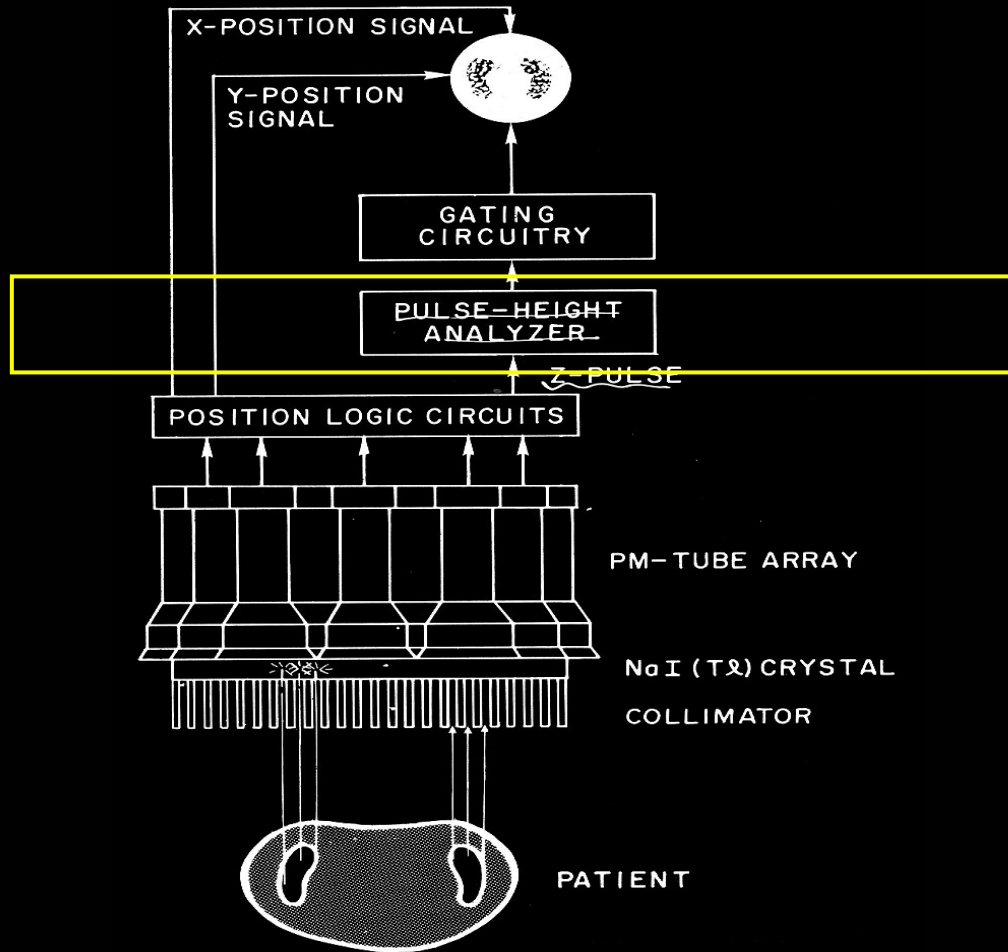
Rectilinear Scanner

要省時間就必須多通道了



37~91 個光電倍增管排成六角形

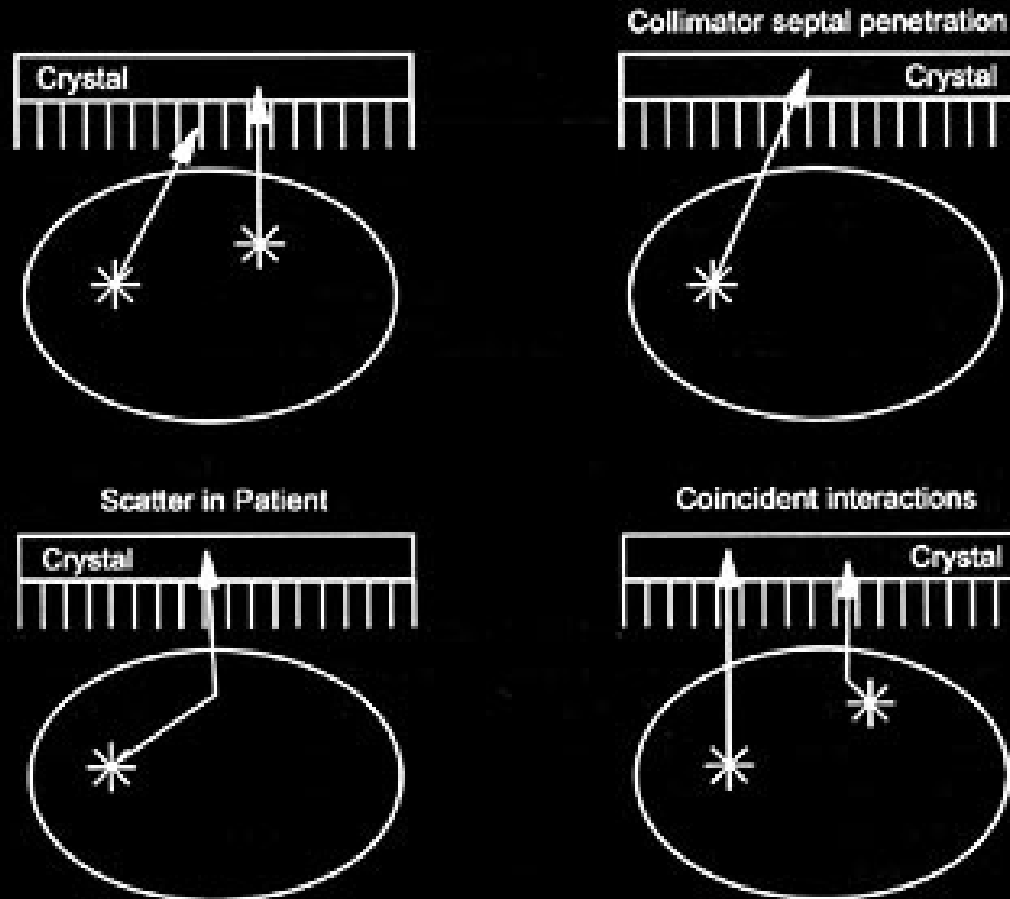
Gamma Camera 功能構造簡圖



波高分析器

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

Gamma Rays 的散射

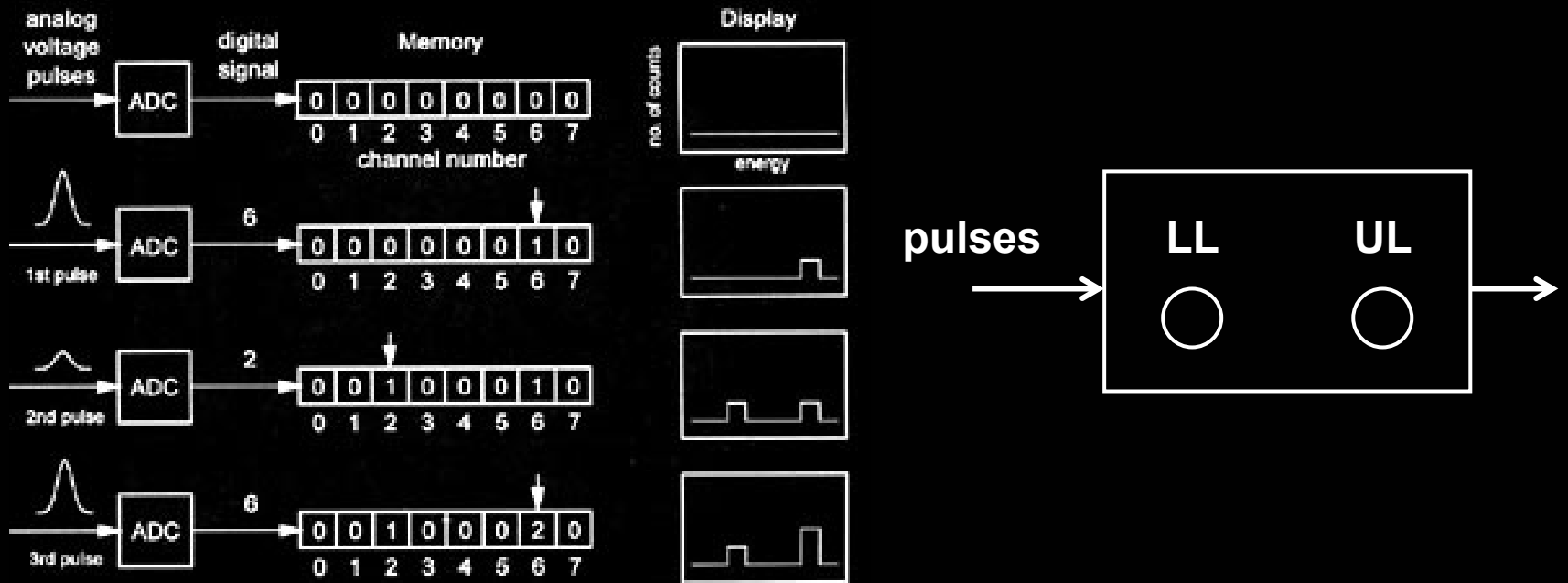


散射多為 **Compton** 散射，能量通常較低

波高分析器過濾原理

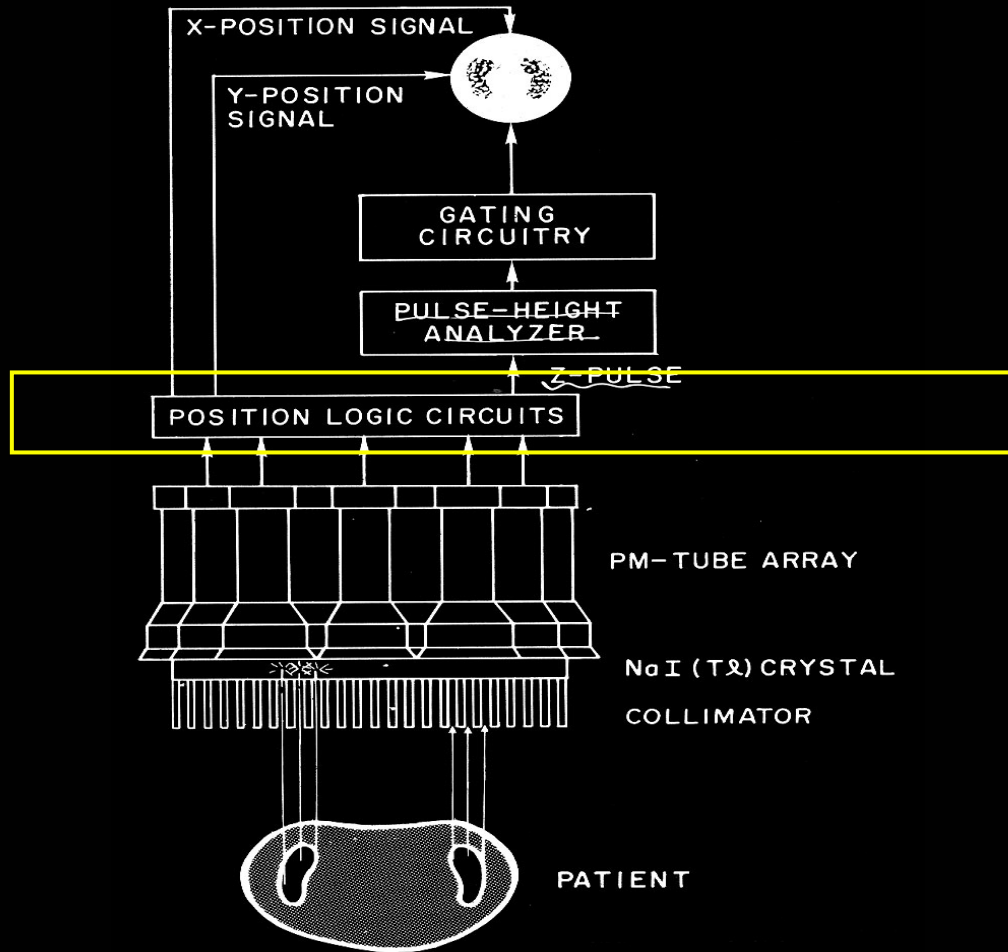
- **NaI** 閃爍晶體釋出之可見光強度，正比於入射 γ ray 能量
- **CsSb** 釋出電子正比於入射光強度
- 篩選各個 **single event** 電壓高低

波高分析器簡單示意圖



由電壓高低選擇 gamma ray 能量

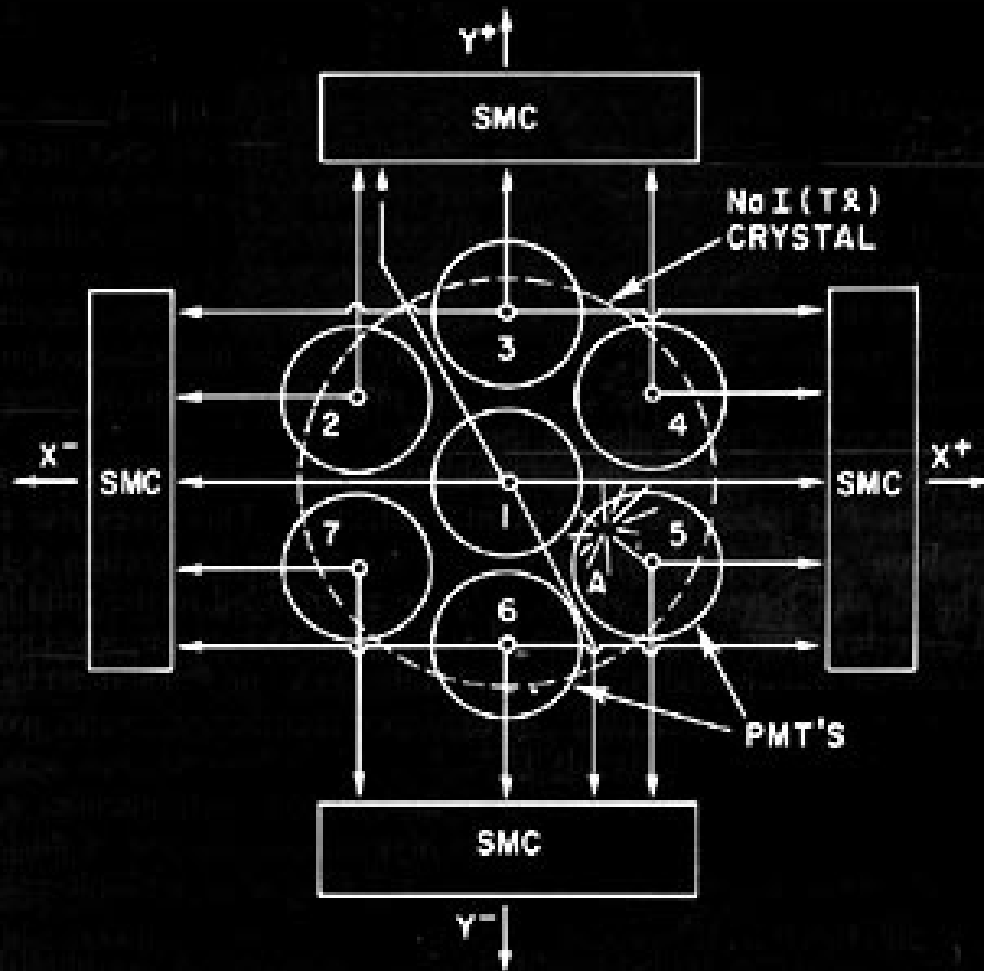
Gamma Camera 功能構造簡圖



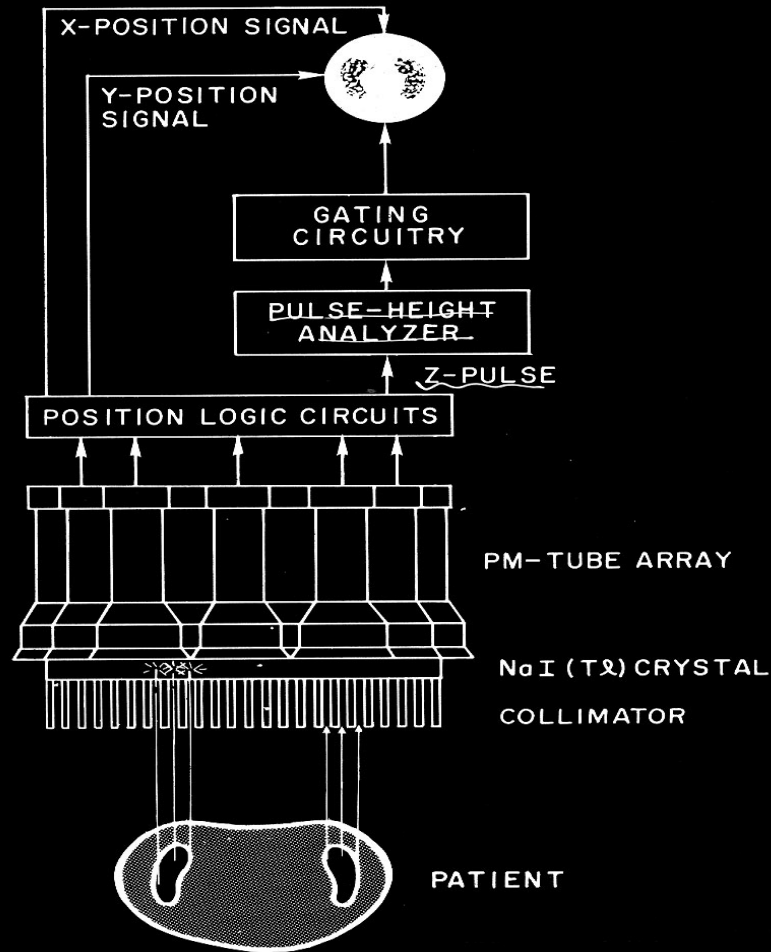
位置邏輯線路

- 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**

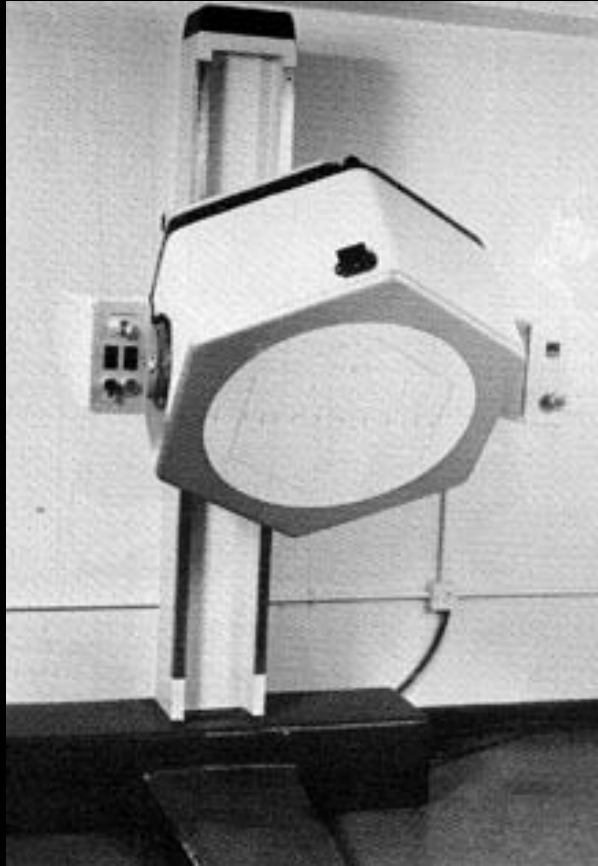
Position Logic Circuit 原理



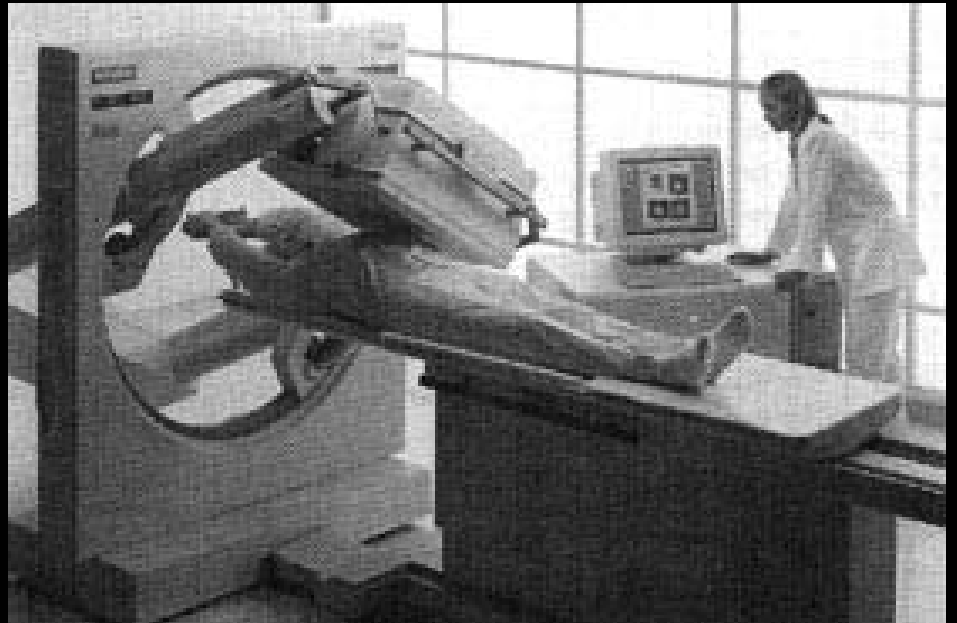
Gamma Camera 功能構造簡圖



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**

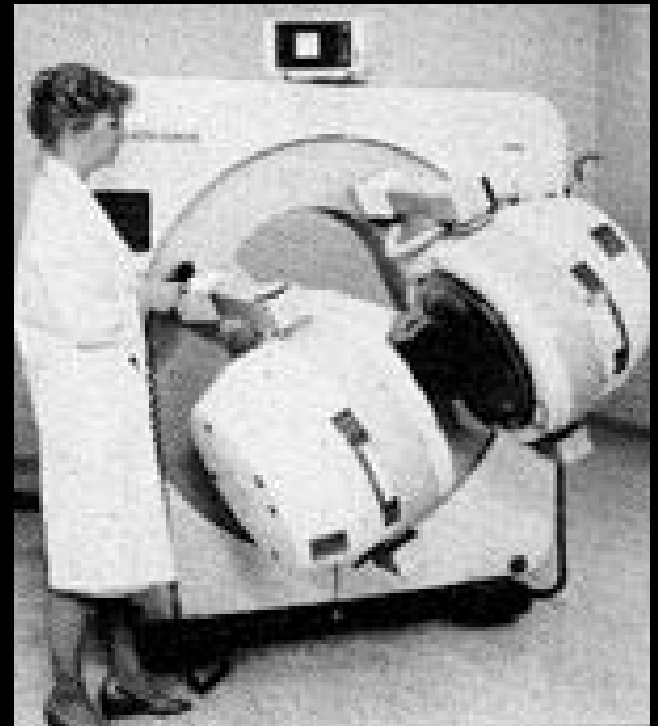
既然原理其實一樣

- 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

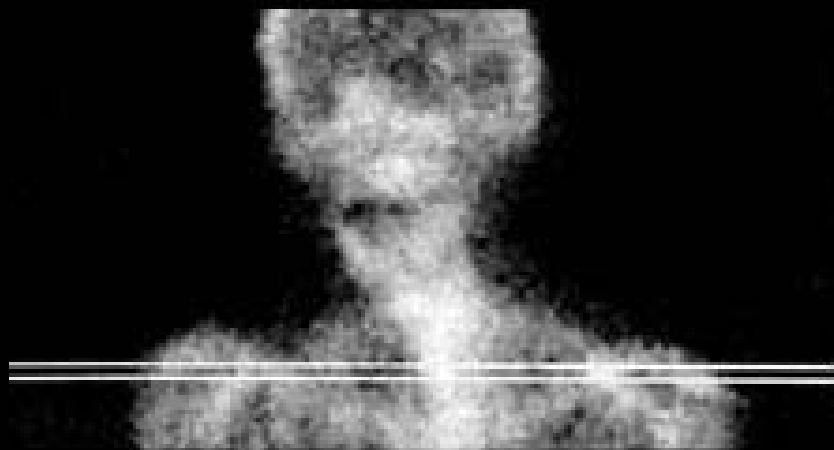


Dual head



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}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 ...

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**

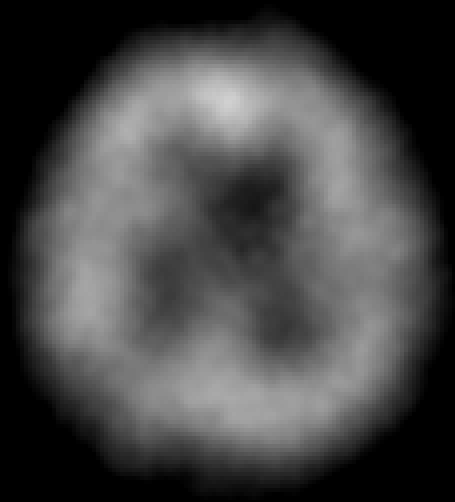
標記物分佈影響因素 (續)

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

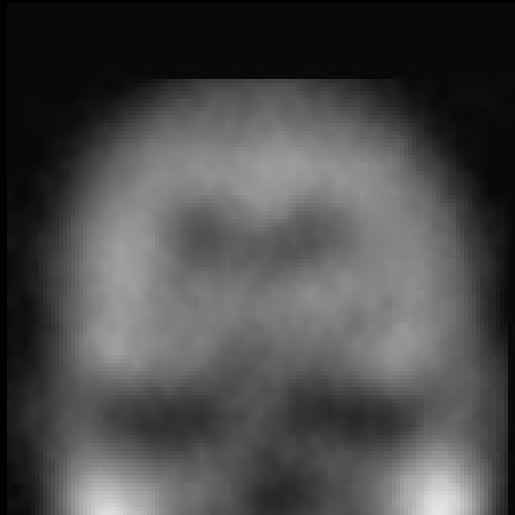
HMPAO for CBF

- 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}Tc -HMPAO：大腦血流

Tc-99m HMPAO 大腦血流 SPECT



Axial



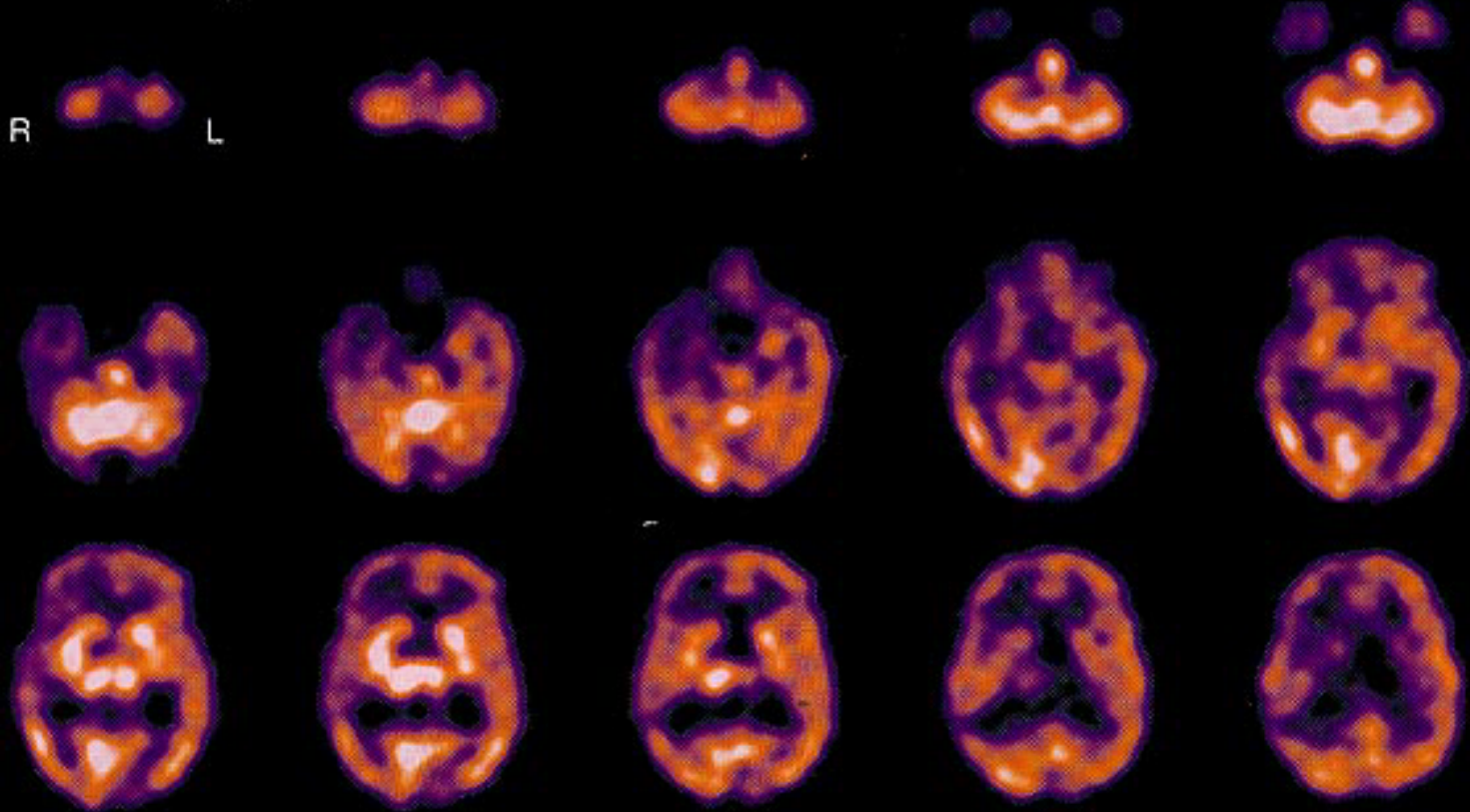
Coronal



Sagittal

Tc-99m HMPAO 大腦血流分佈圖

Ictal Study

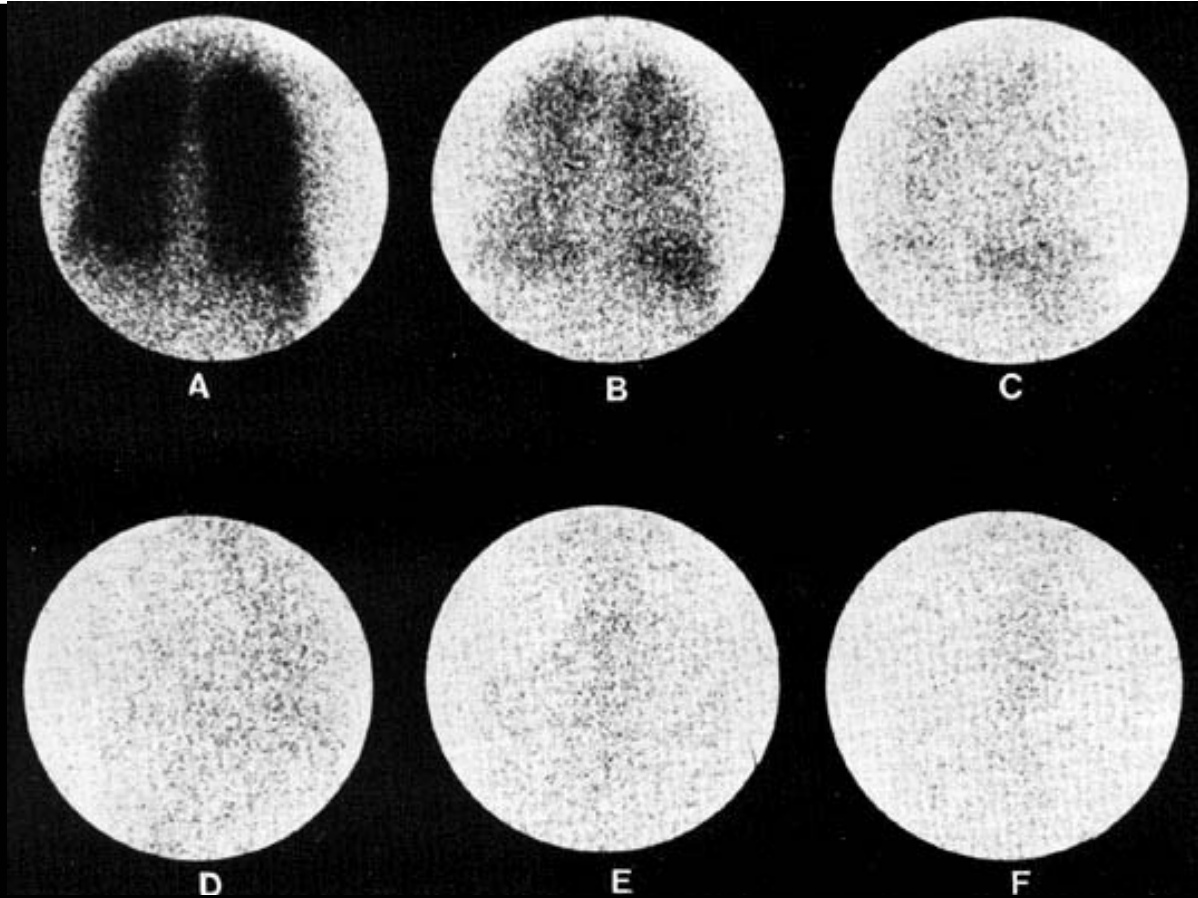


Increased blood flow in seizure foci

Xenon for Ventilation

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

Pulmonary Ventilation Scintigrams



Equilibrium → wash-out (也可用 Tc 大分子蒸汽)

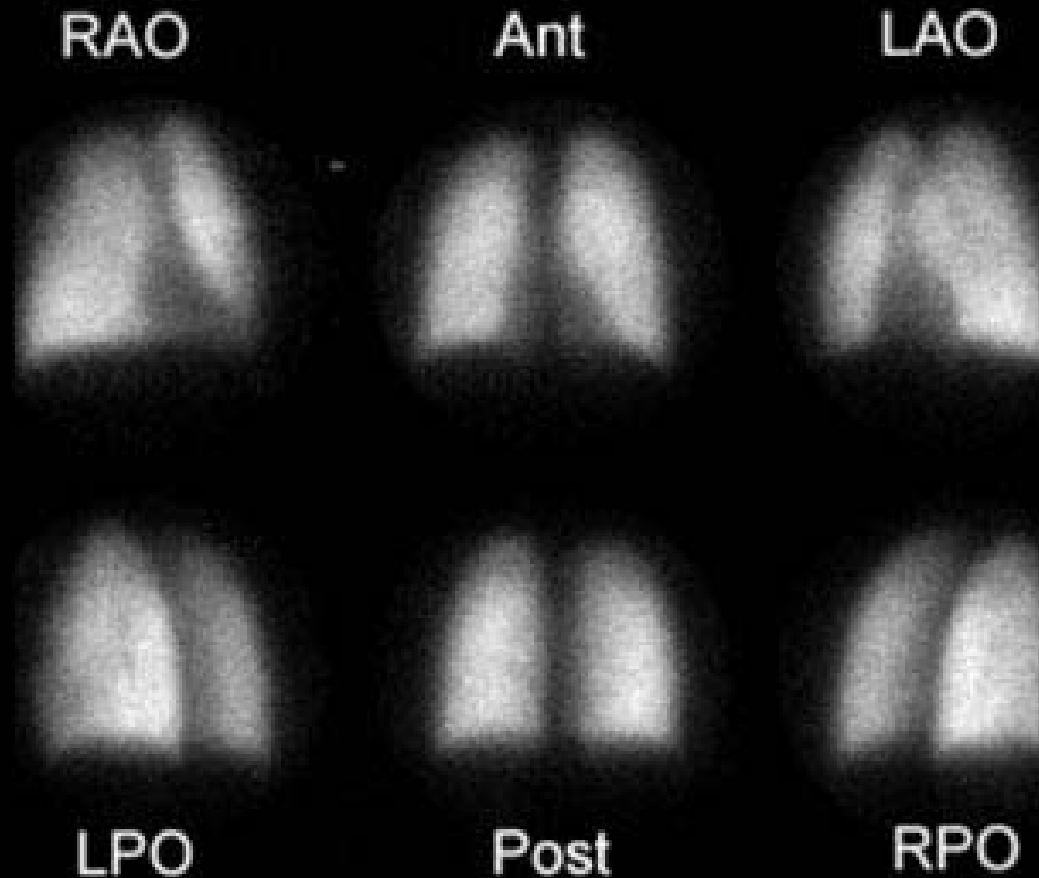
Krypton for Ventilation

- $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 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

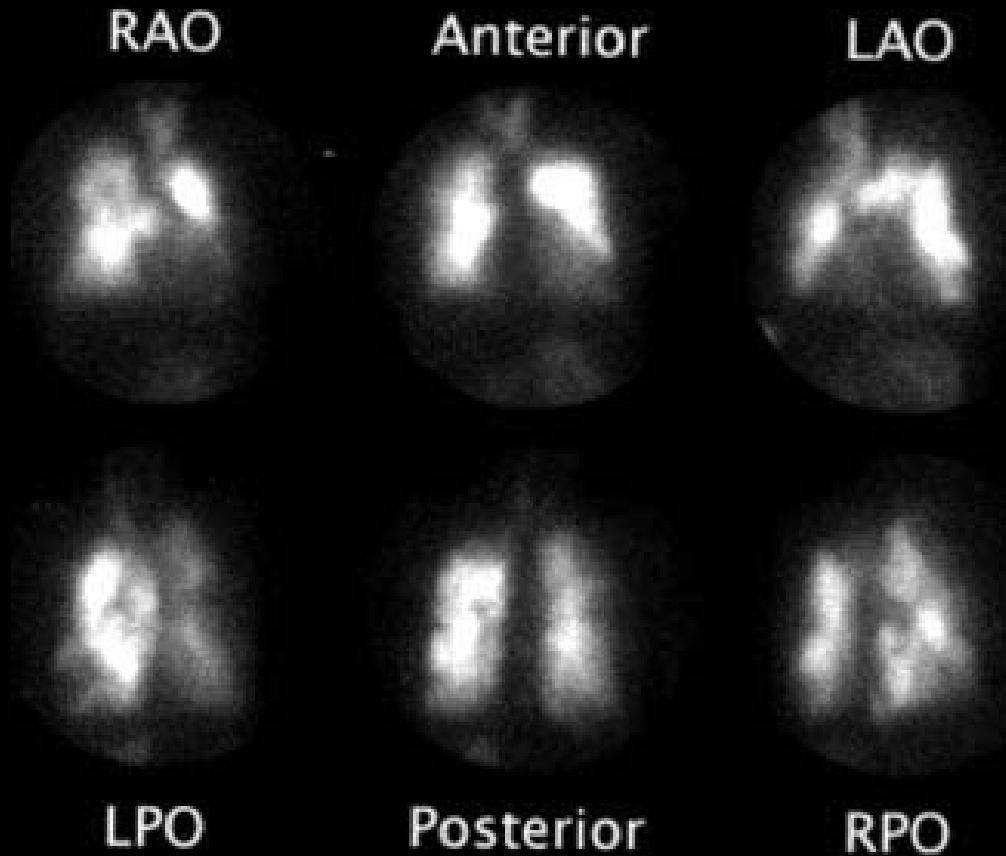
- Macroaggregated albumin
- 15-80 um 直徑，略大於肺部微血管
- MAA 靜脈注射卡在肺部微血管中
- ^{99m}Tc -MAA : lung perfusion

Pulmonary Perfusion Scans



基本六個角度掃描

Pulmonary Perfusion Scans

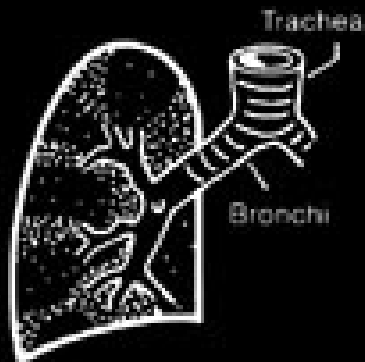


Pulmonary embolism 肺栓塞

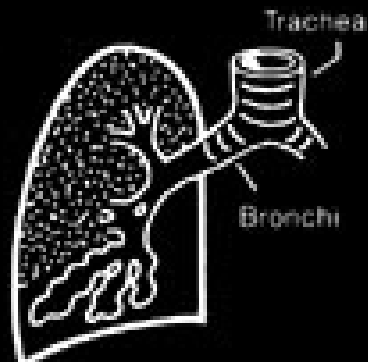
肺部核醫影像的不同

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

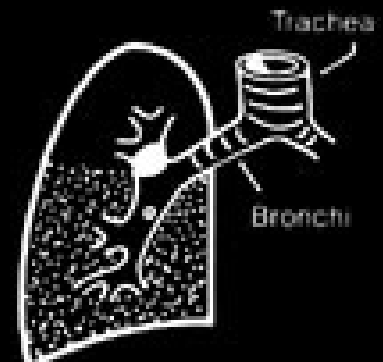
Pulmonary Ventilation Deficit



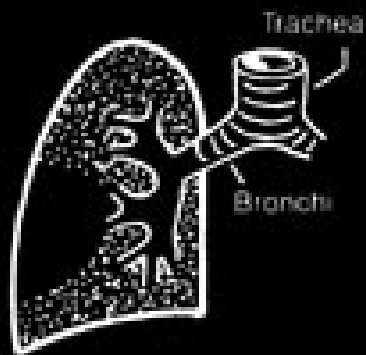
A



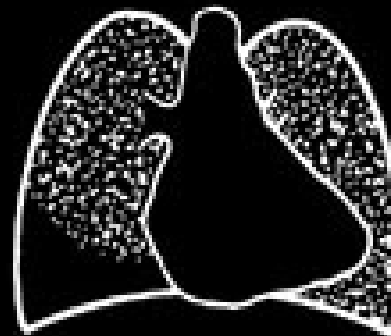
B



C

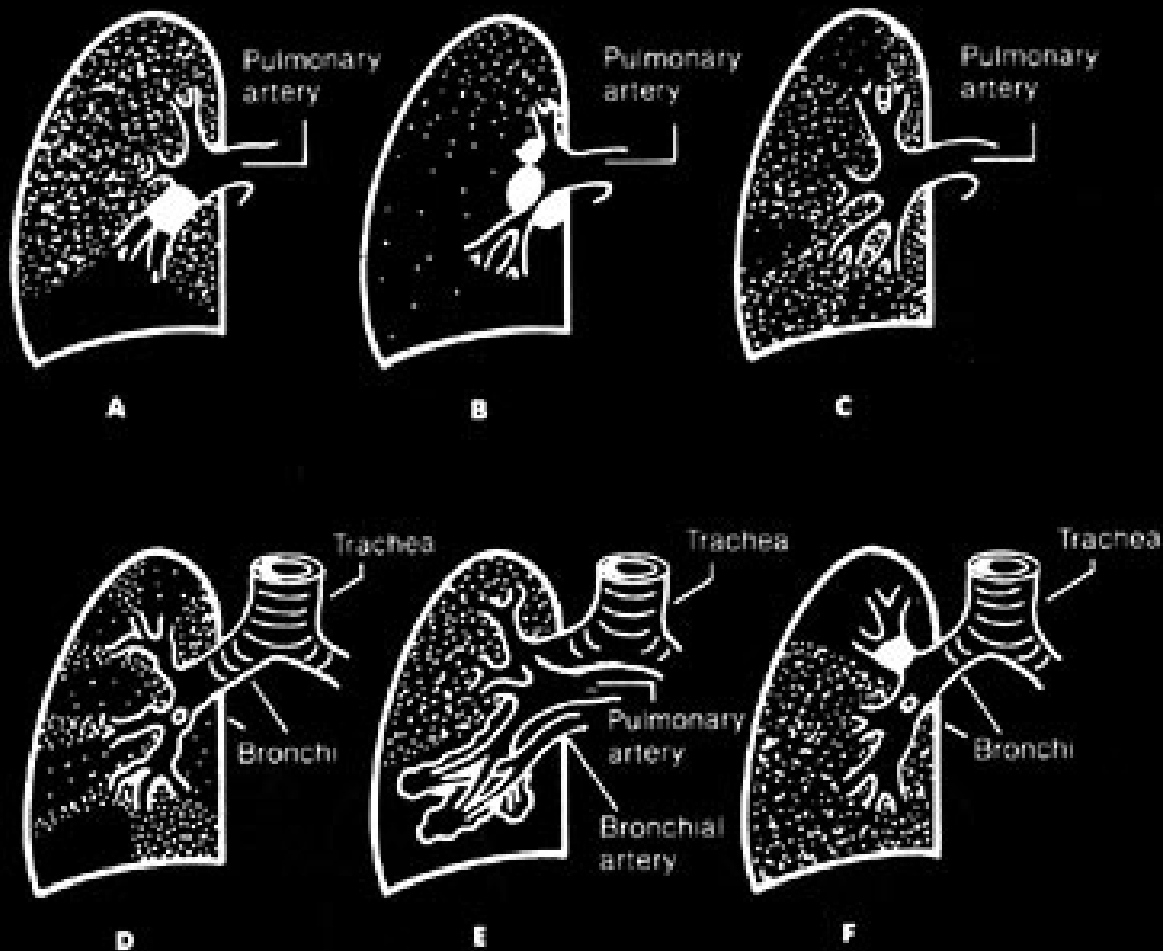


D



E

Pulmonary Perfusion Deficit



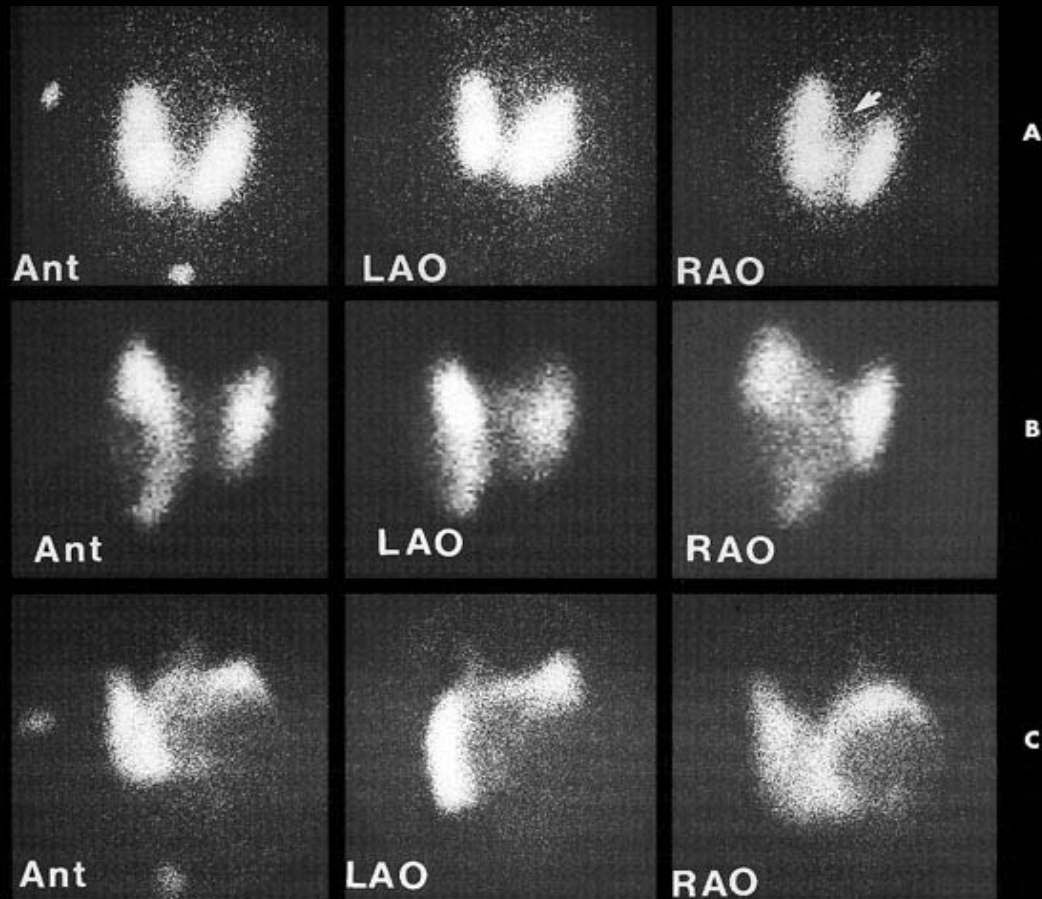
RBC for Splenosis

- 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}Tc -RBC : spleen function**

Iodine for Thyroid

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

甲狀腺功能核醫影像



蝴蝶狀組織

MDP for Bone Scan

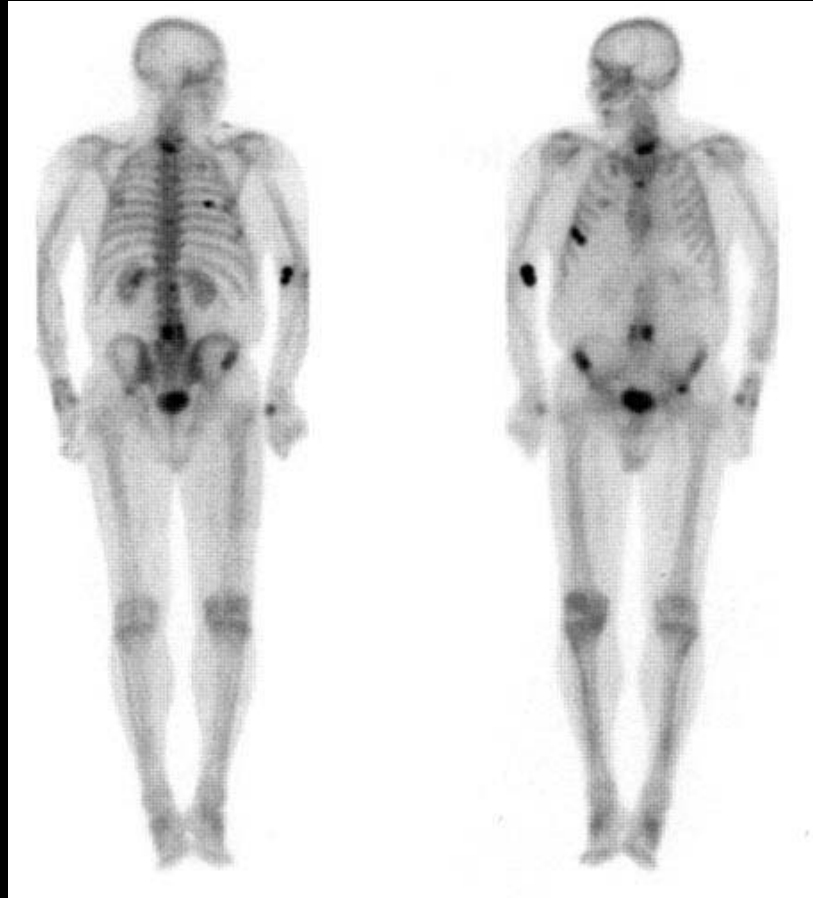
- **MDP 的骨骼吸收主要有兩種方式**
 - **Hydroxyapatite crystal binding**
 - **Collagen dependent uptake**
- **^{99m}Tc -MDP : 反映骨代謝速率**

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

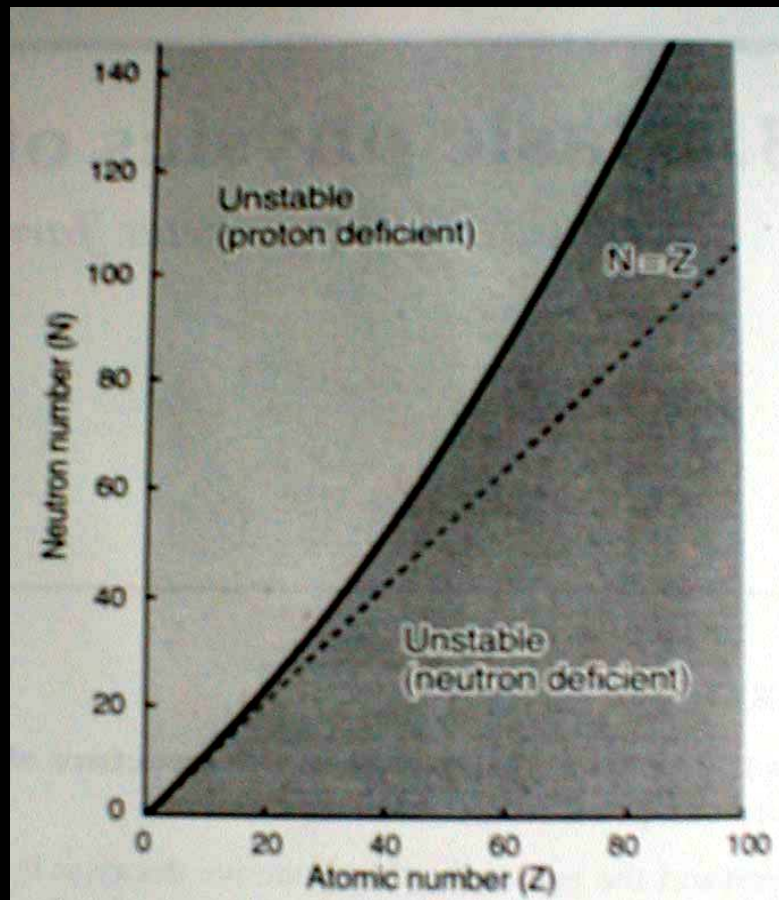
什麼是 PET ?

- **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

- 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)

原子核的中子質子比



遠離穩定區的核種皆傾向產生衰變

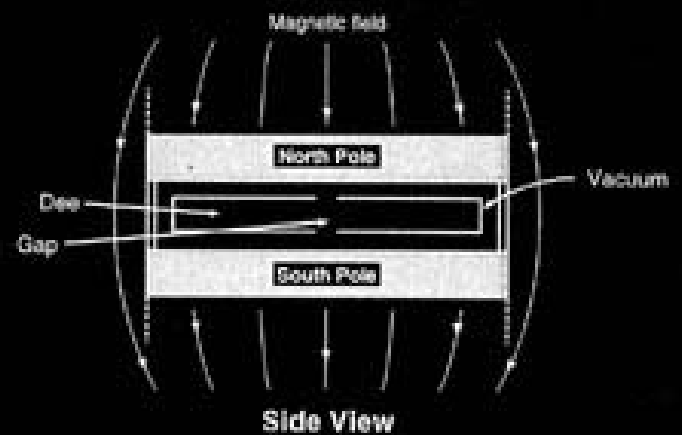
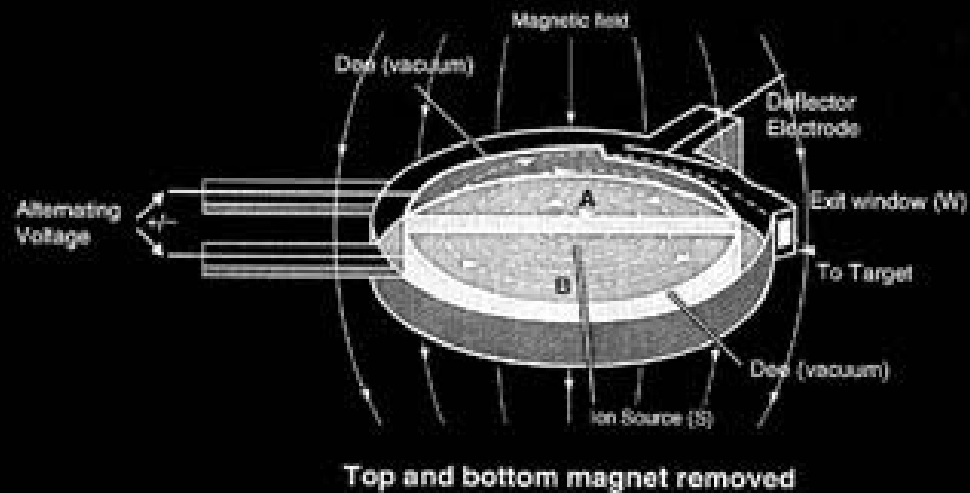
會產生 β^+ 衰變的核種

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

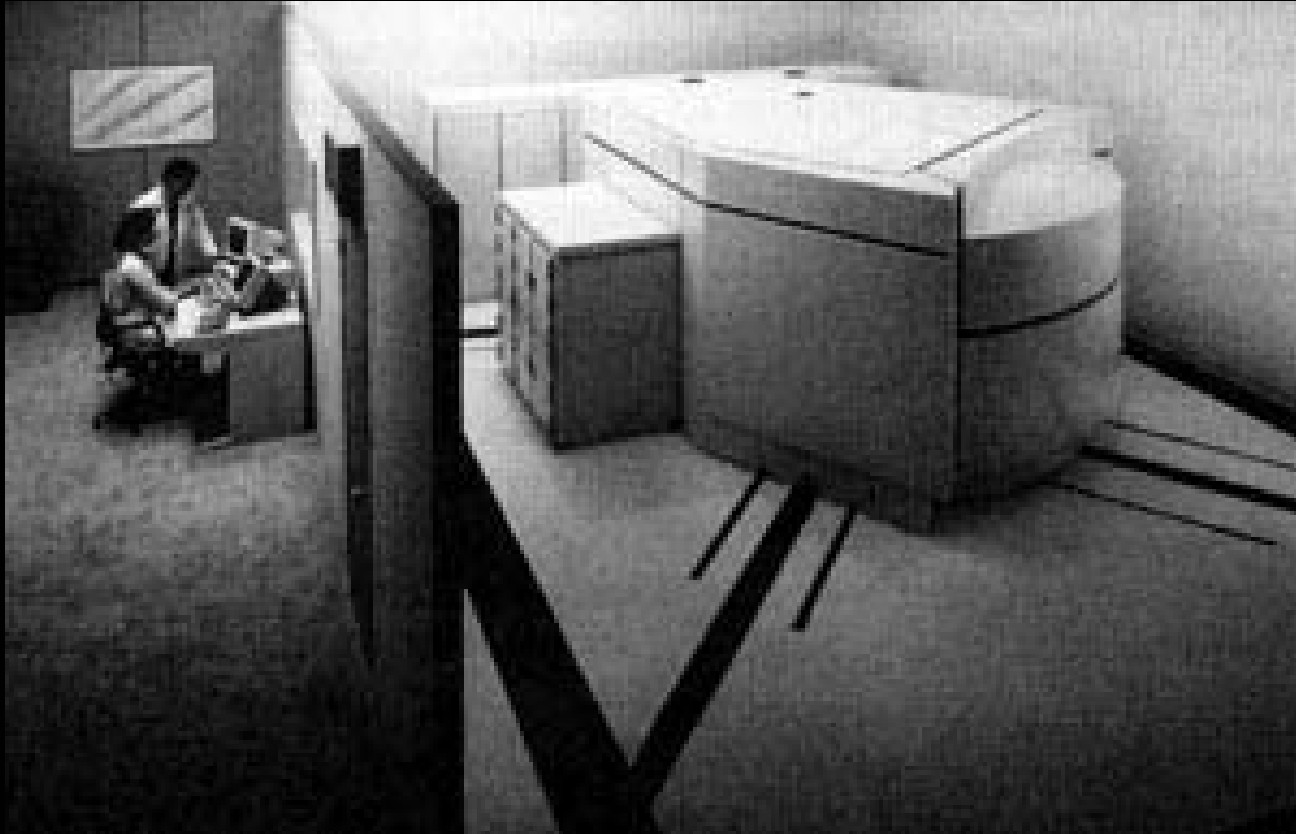
Cyclotron 原理

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

Cyclotron 原理



醫院中的 Cyclotron

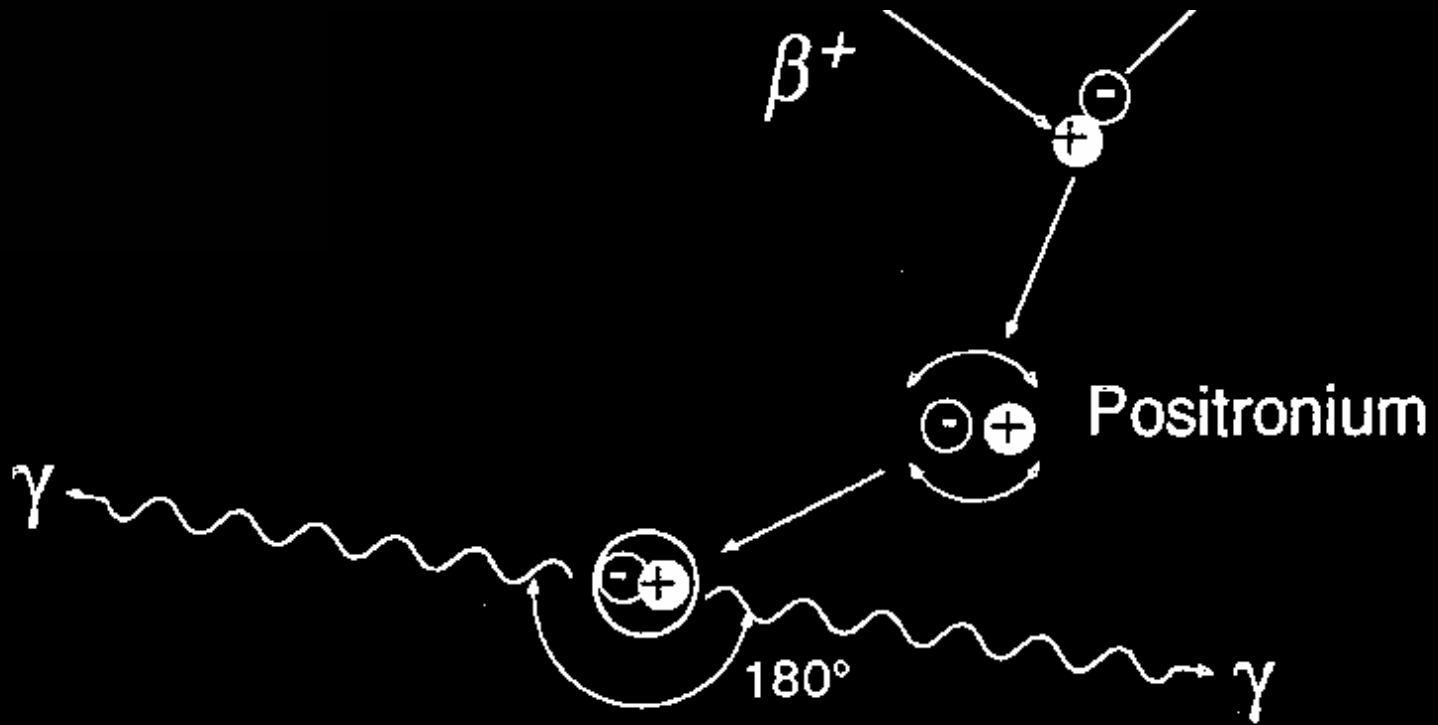


Siemens Gammasonics

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 (γ ray)

Annihilation of Positron and Electron



動量守恆 角度約呈 **180 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**

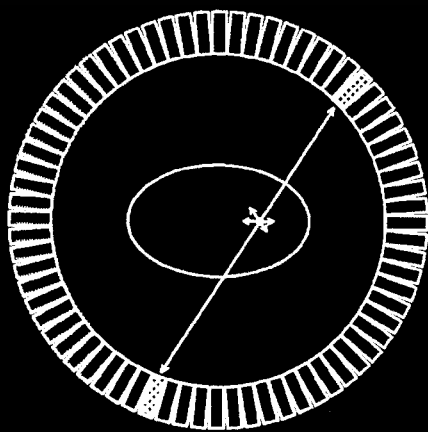
PET Signal Detection

- **$\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (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**

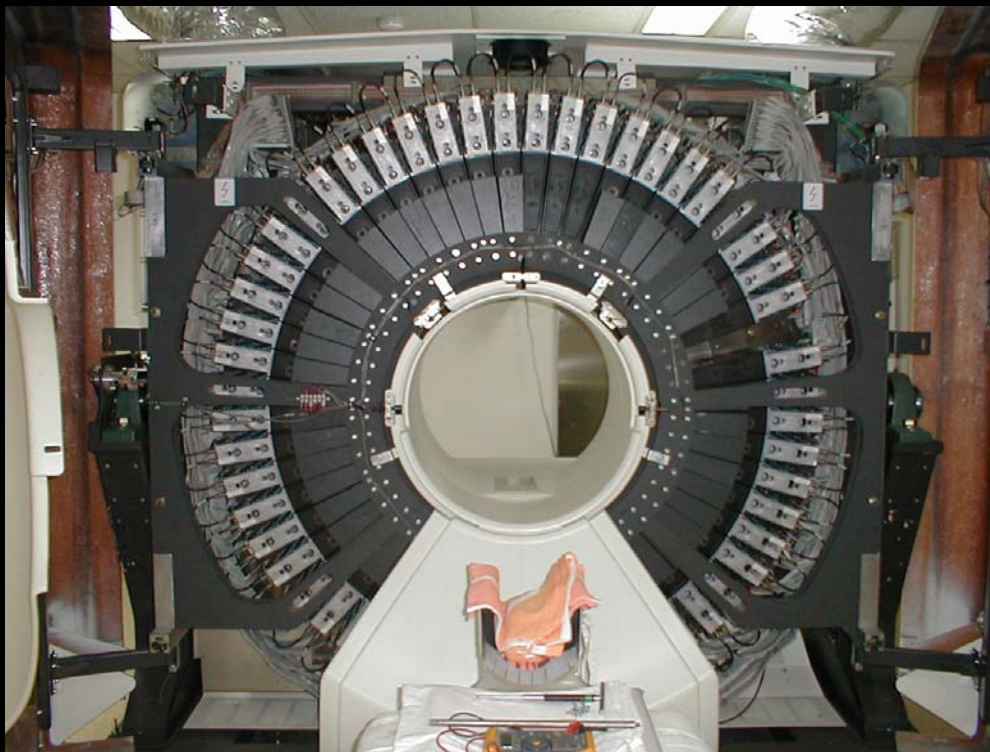
Coincidence Detection

- 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

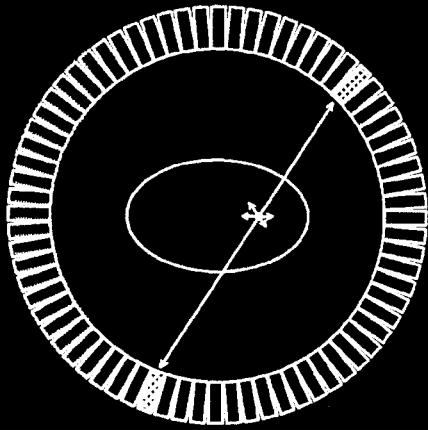


原理



PET 内部構造

PET 只有軸向需要準直儀



Coincidence detection



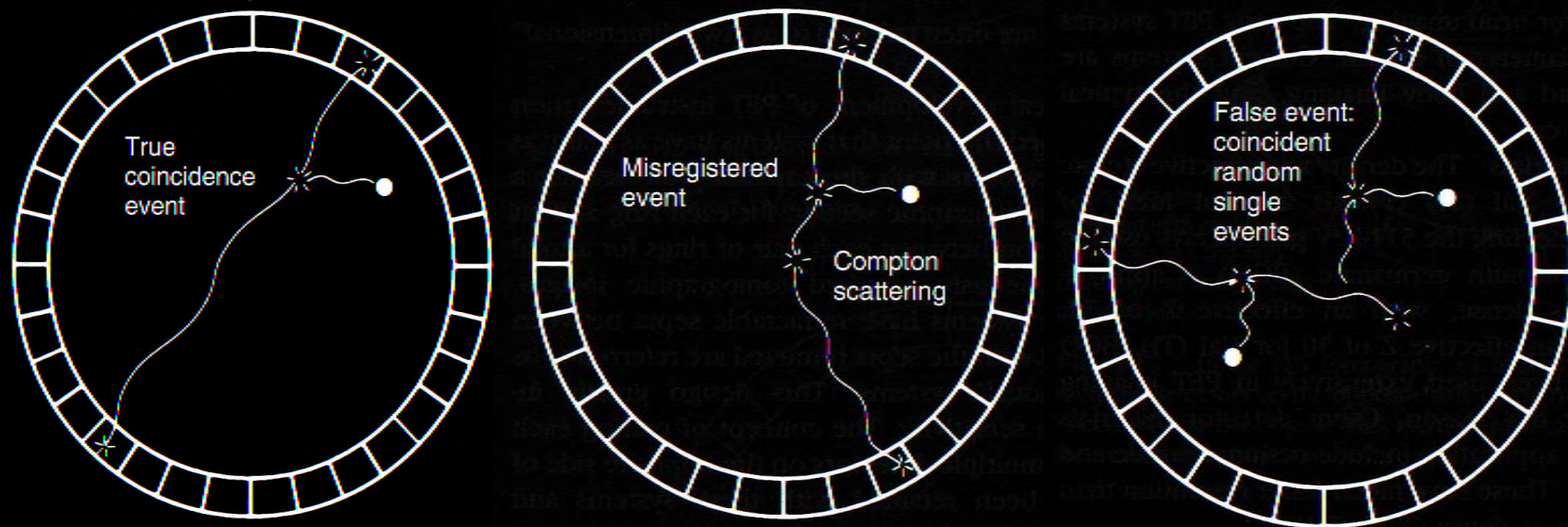
Axial collimation

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

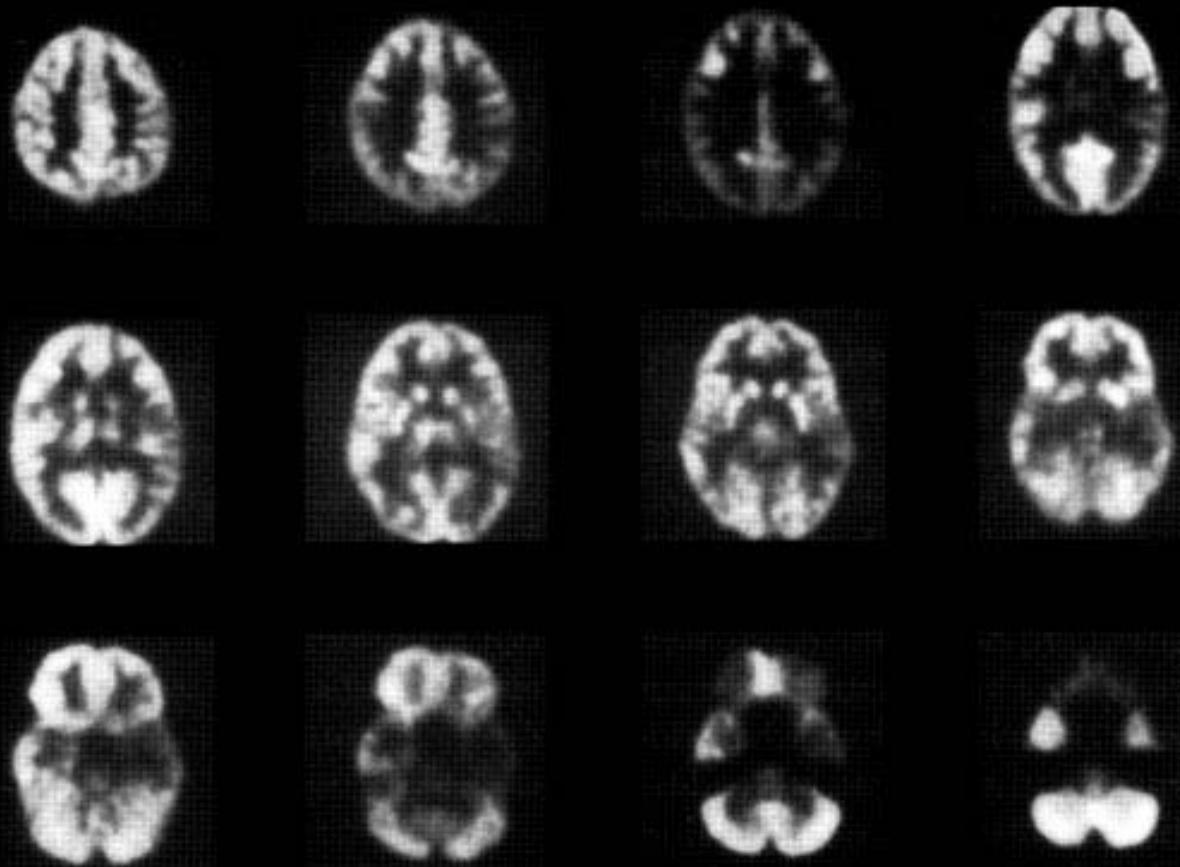
PET 的放射藥物化學標記

- ^{18}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

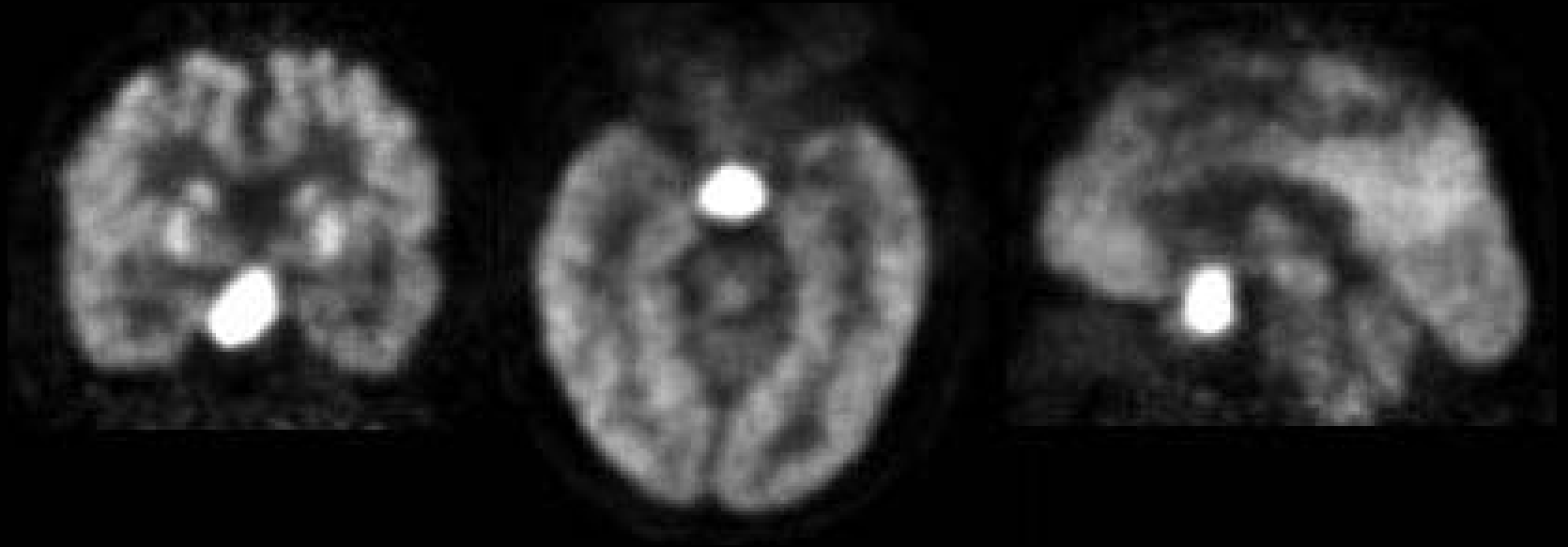
- 靜脈注射 **FDG**
- 組織 ^{18}F 活性 = 葡萄糖代謝率
- 低代謝：**epileptogenic foci**
- 高代謝：**tumor malignancy**

腦部的葡萄糖代謝率 from PET



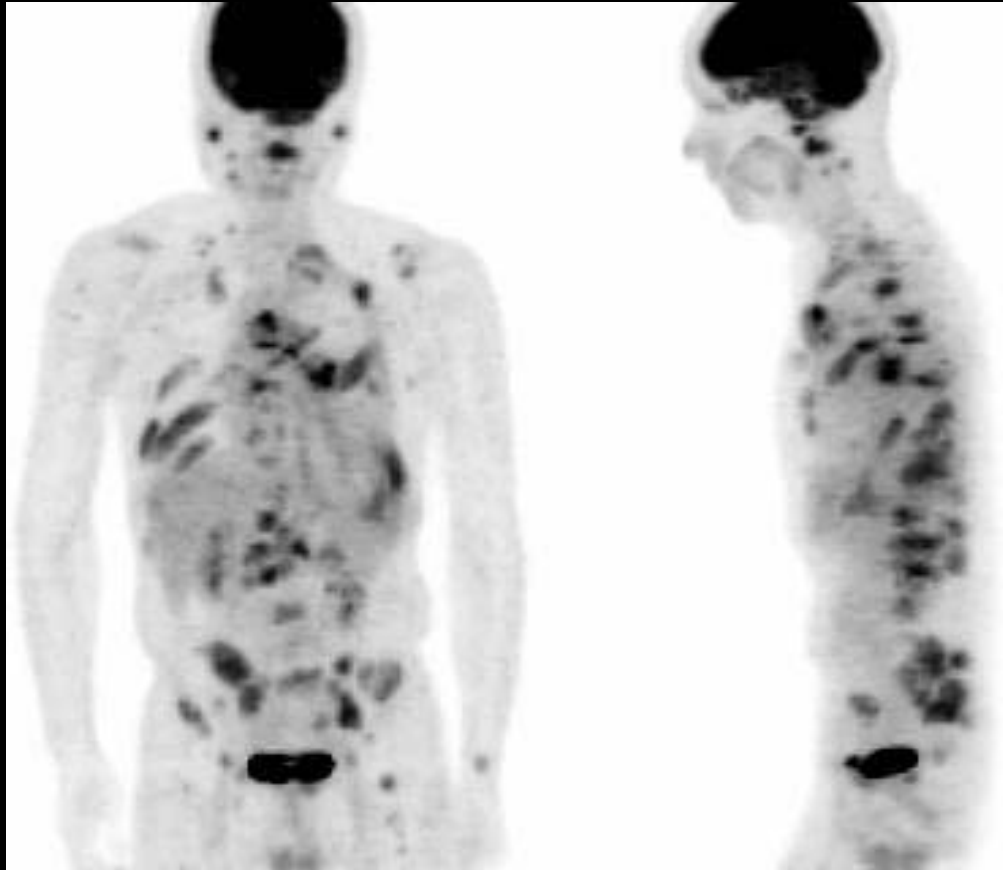
Left temporal lobe seizure focus

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}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 ...

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 ... ???

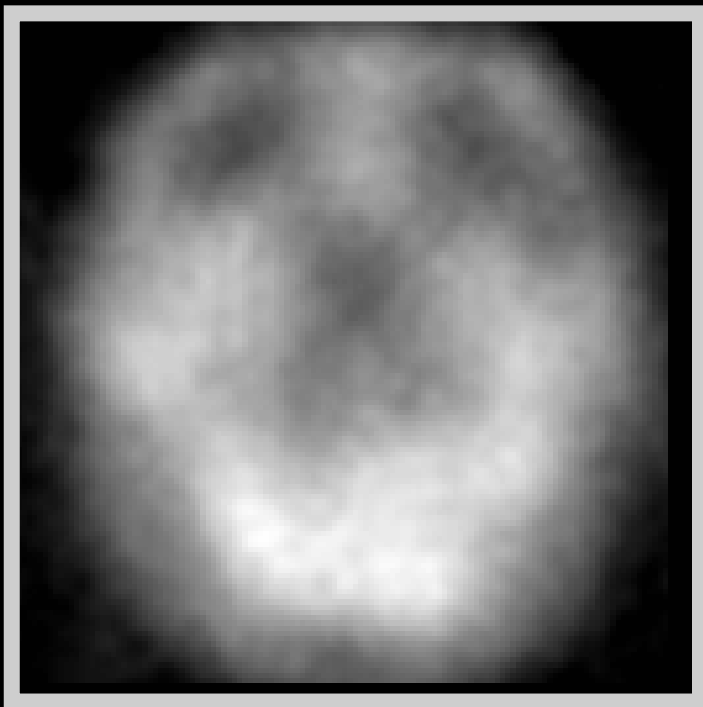
三小時上得完核醫影像嗎？

- 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？

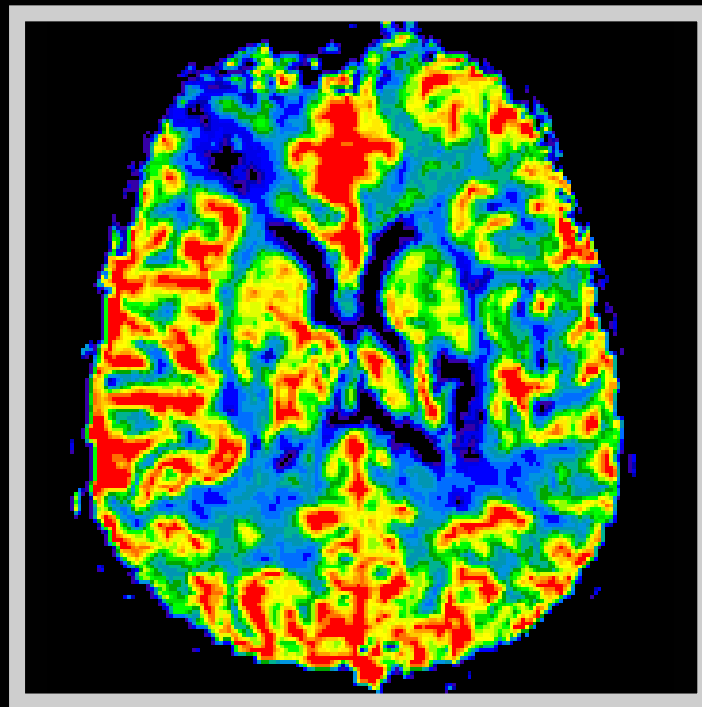
但是一定要提核醫的競爭者

- **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

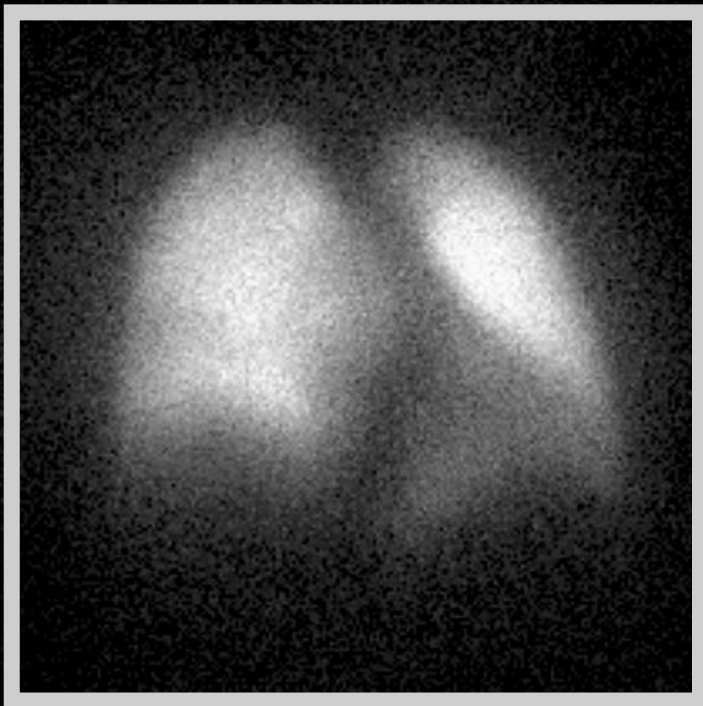


SPECT

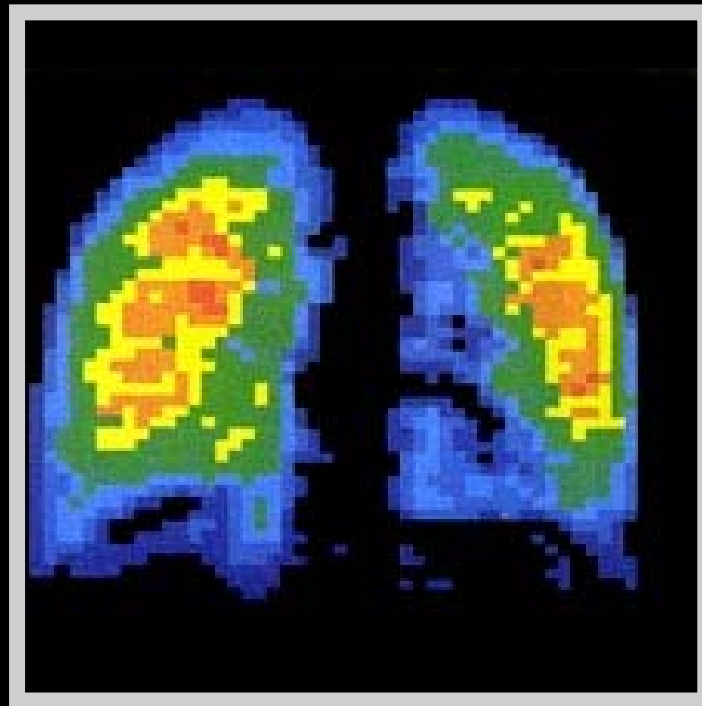


Gd MRI

肺呼吸功能影像

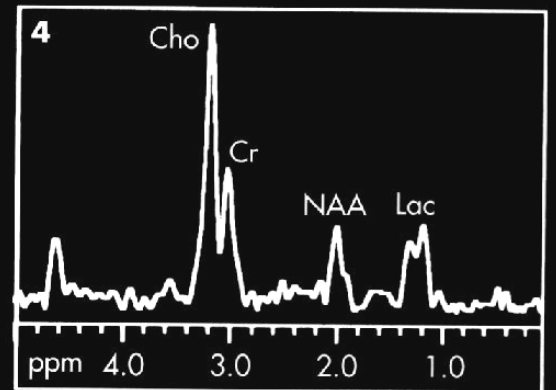
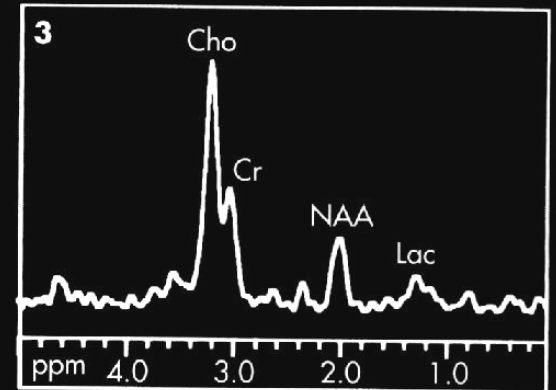
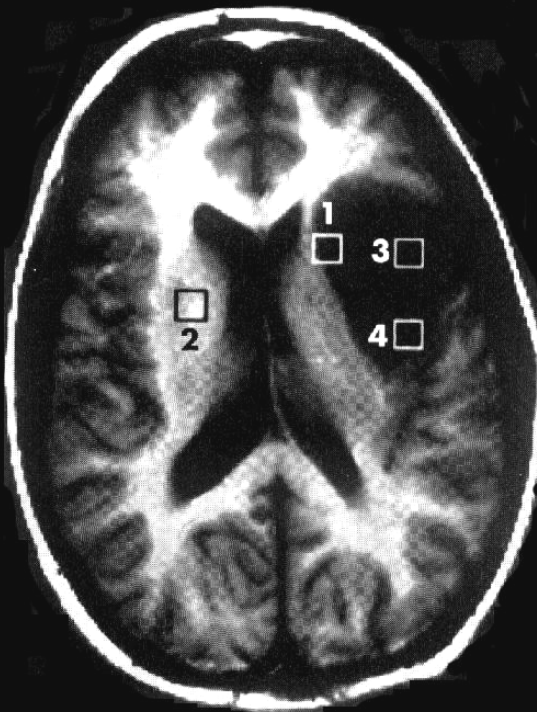
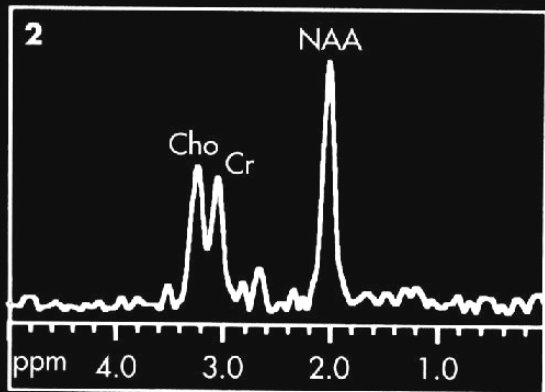
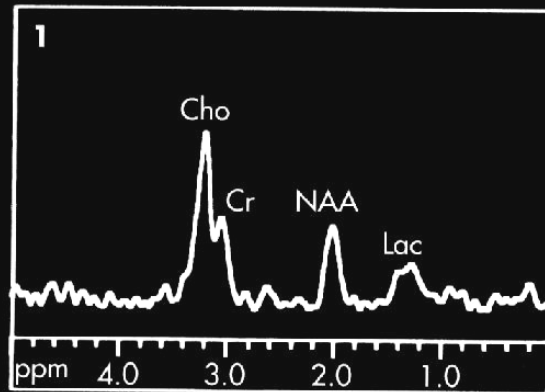


Sintigram



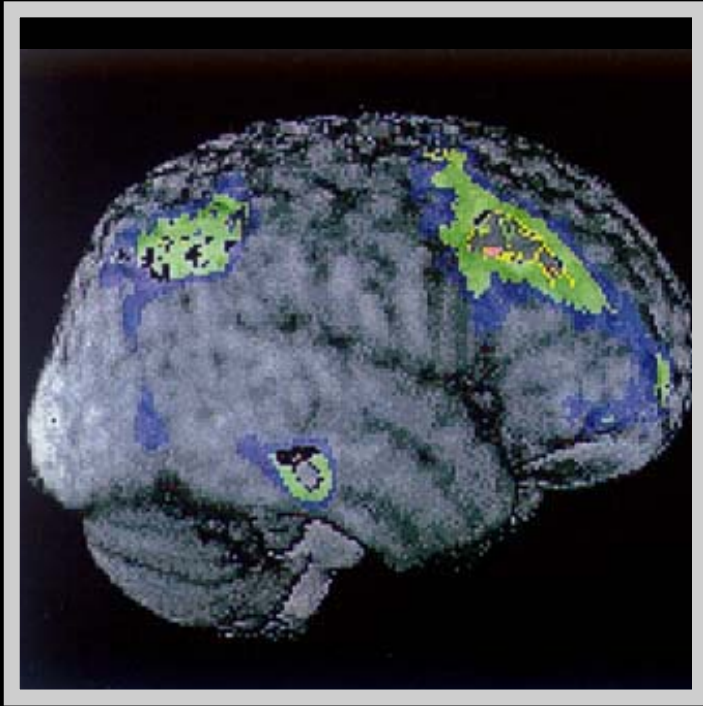
^3He MRI

代謝性影像

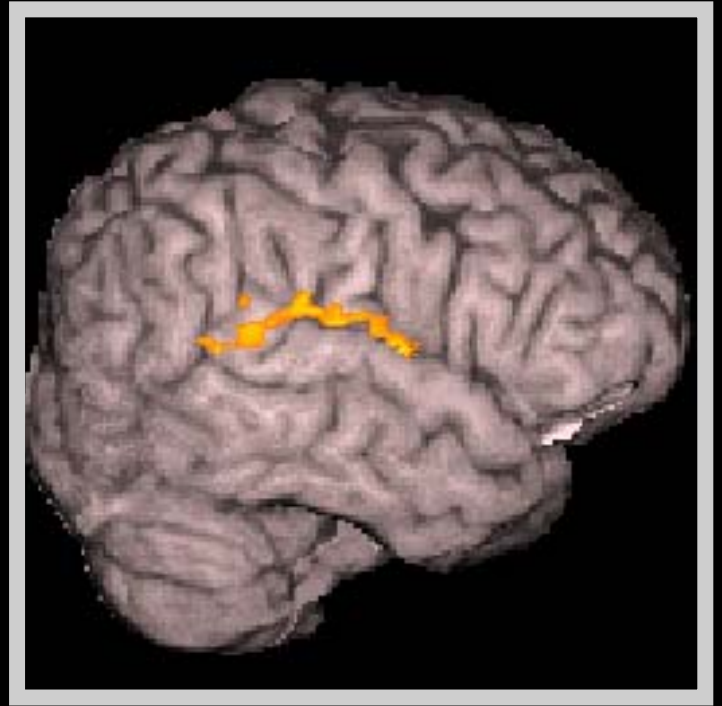


區域核磁共振頻譜

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」??

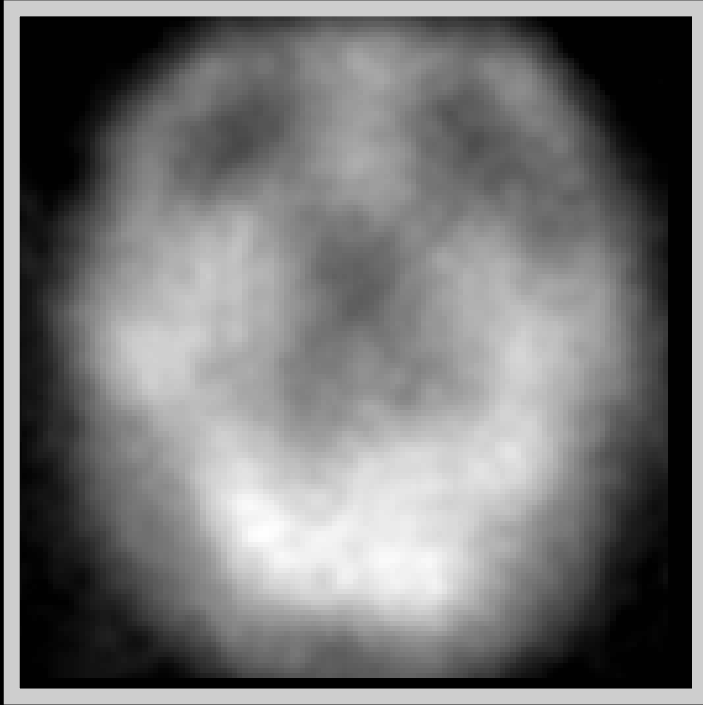
回顧核醫影像發展歷史

- **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}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

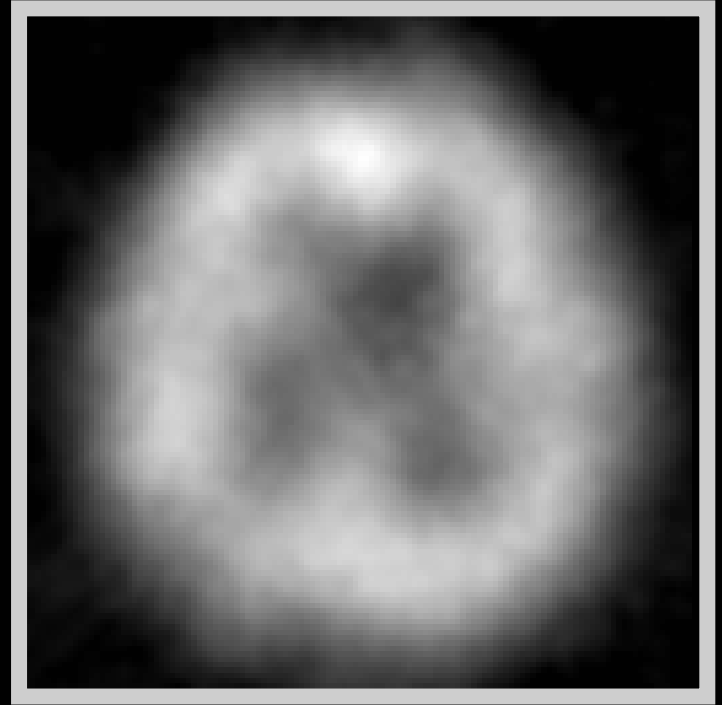


X-ray CT

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
- <http://www.mrilab.org/course>

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