

醫學影像簡介 (二)

Medical Imaging II

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

超音波影像簡介

Ultrasound Imaging

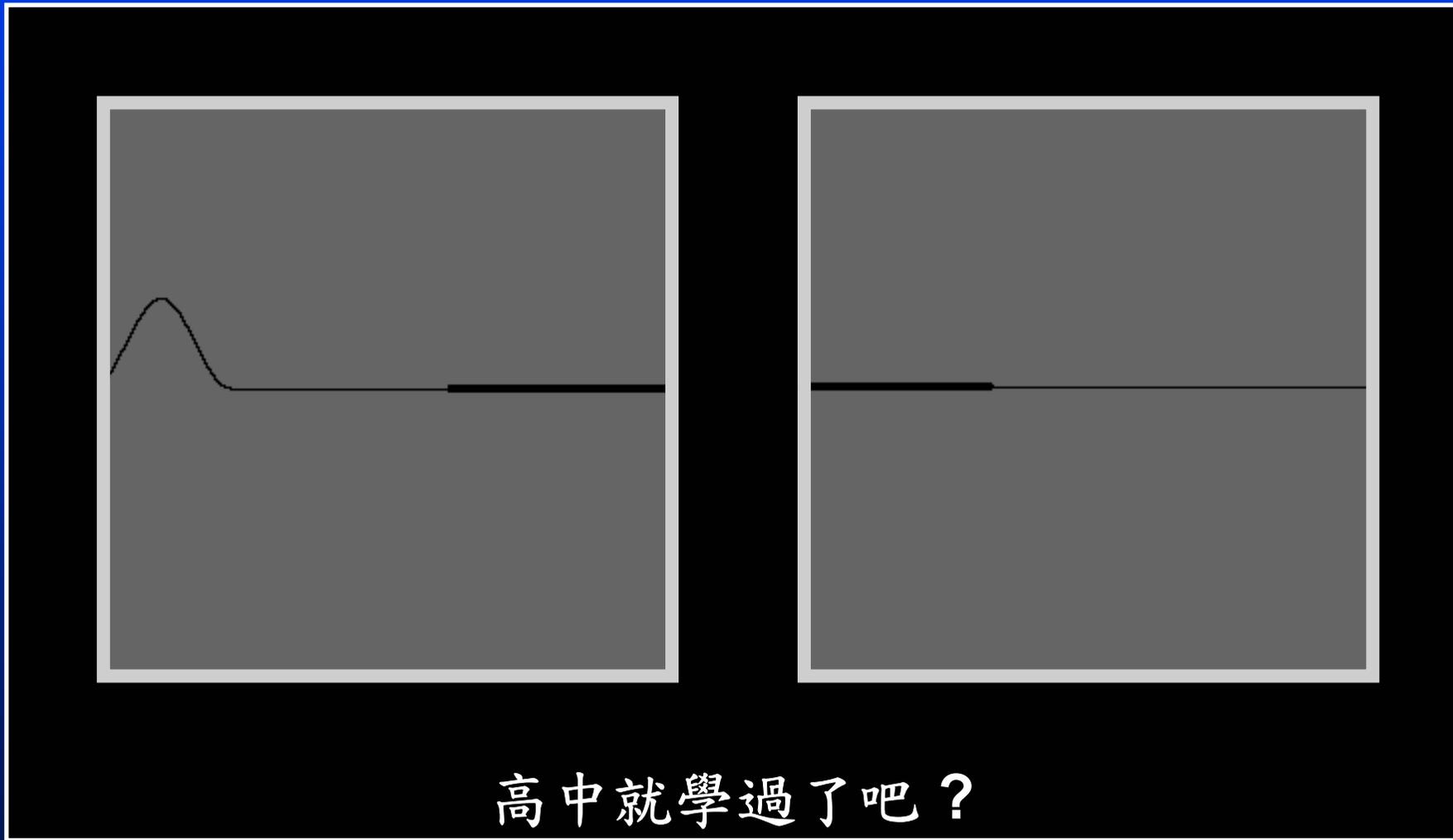
鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

超音波影像起源

- 雷達、聲納、蝙蝠 ...
 - 波的反射與接收
- 頻率高於 **20 KHz** 的機械波
- 世界大戰之後國防工業轉型

簡單的波反射示意圖



高中就學過了把？

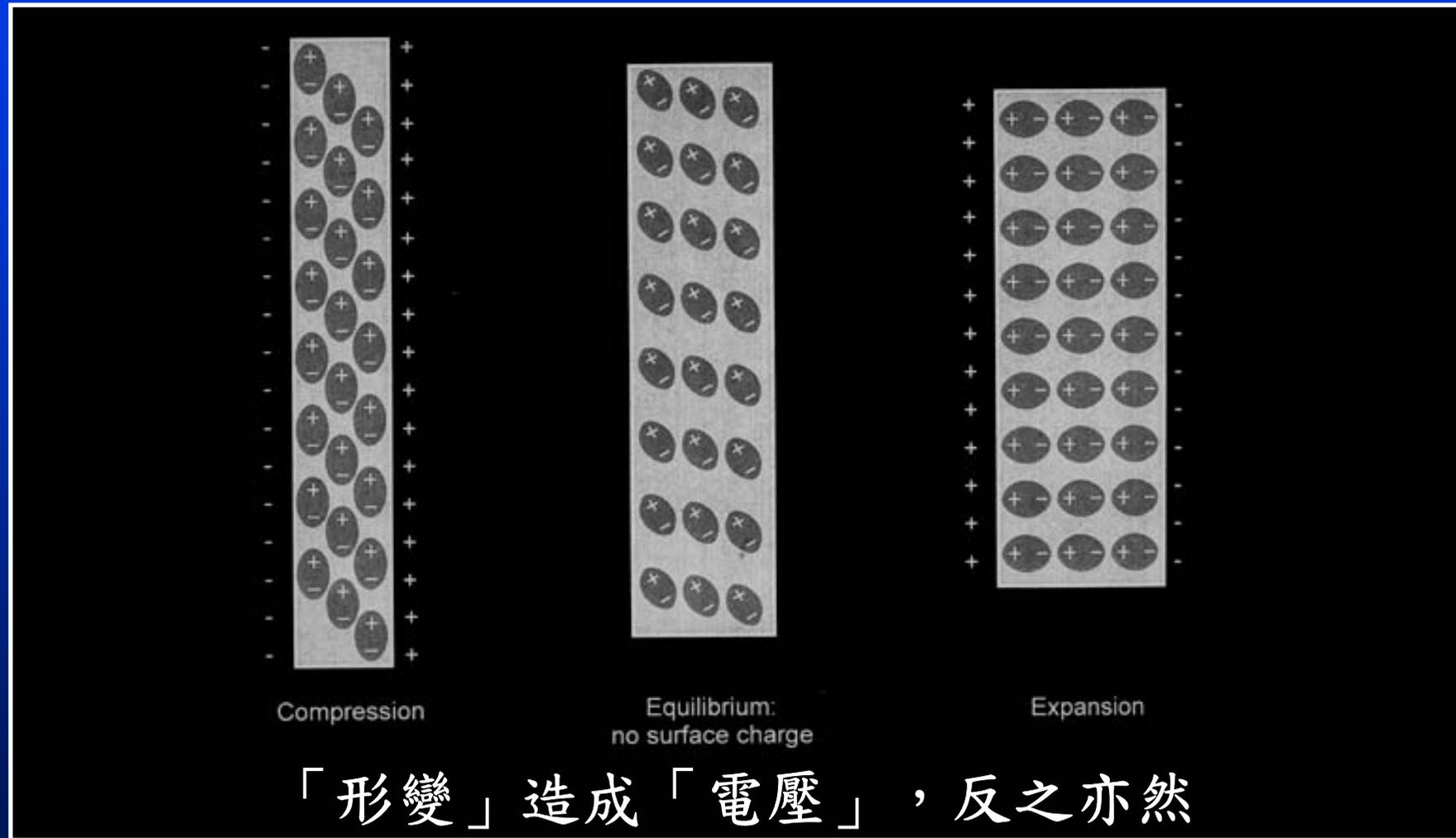
超音波影像原理

- 超音波發射源
- 組織介面形成反射
- 接收器接收反射波
- 計算距離以形成影像

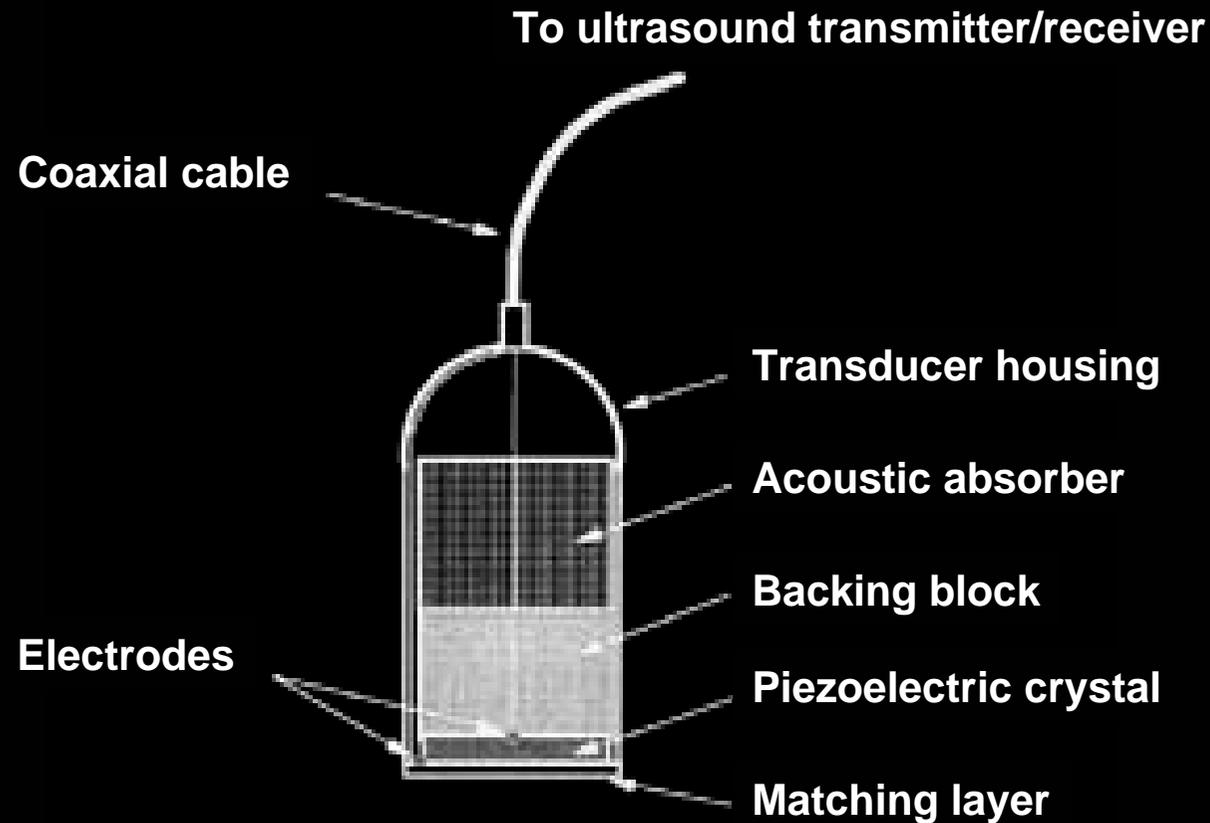
超音波發射源與接收器

- 探頭 (probe, transducer)
 - 壓電 (piezoelectric) 效應
 - 電壓 \leftrightarrow 機械波
 - 類似麥克風或揚聲器

壓電效應材料示意圖



超音波探頭原理



原理不複雜，儀器也就簡單了

超音波探頭

- 壓電效應：電壓與機械波雙向轉換
 - 所以發射器與接收器相同
 - **Pulse echo mode**
- 醫用超音波：**0.1~500 MHz**

超音波探頭



超音波影像原理

- 超音波發射源
- 組織介面形成反射
- 接收器接收反射波
- 計算距離以形成影像

超音波的特性

- 機械波 (類似聲波)
 - 靠介質的密度變化傳輸 (縱波)
- 骨骼空氣與軟組織特性迥異
- 透過介面的波過少，儘量避免

Acoustic Impedance (相對值) 與波速

水	1.48	1484 (m/sec)
血液	1.61	1550
心肌	1.62	1550
脂肪	1.38	1450
肝臟	1.65	1570
腎臟	1.62	1560
骨骼	6.0	3360
鋁	17.0	6420
空氣	0.0004	343

超音波檢測都需要先塗抹乳膠



避免形成空氣介面

超音波影像原理

- 超音波發射源
- 組織介面形成反射
- 接收器接收反射波
- 計算距離以形成影像

典型超音波系統與影像



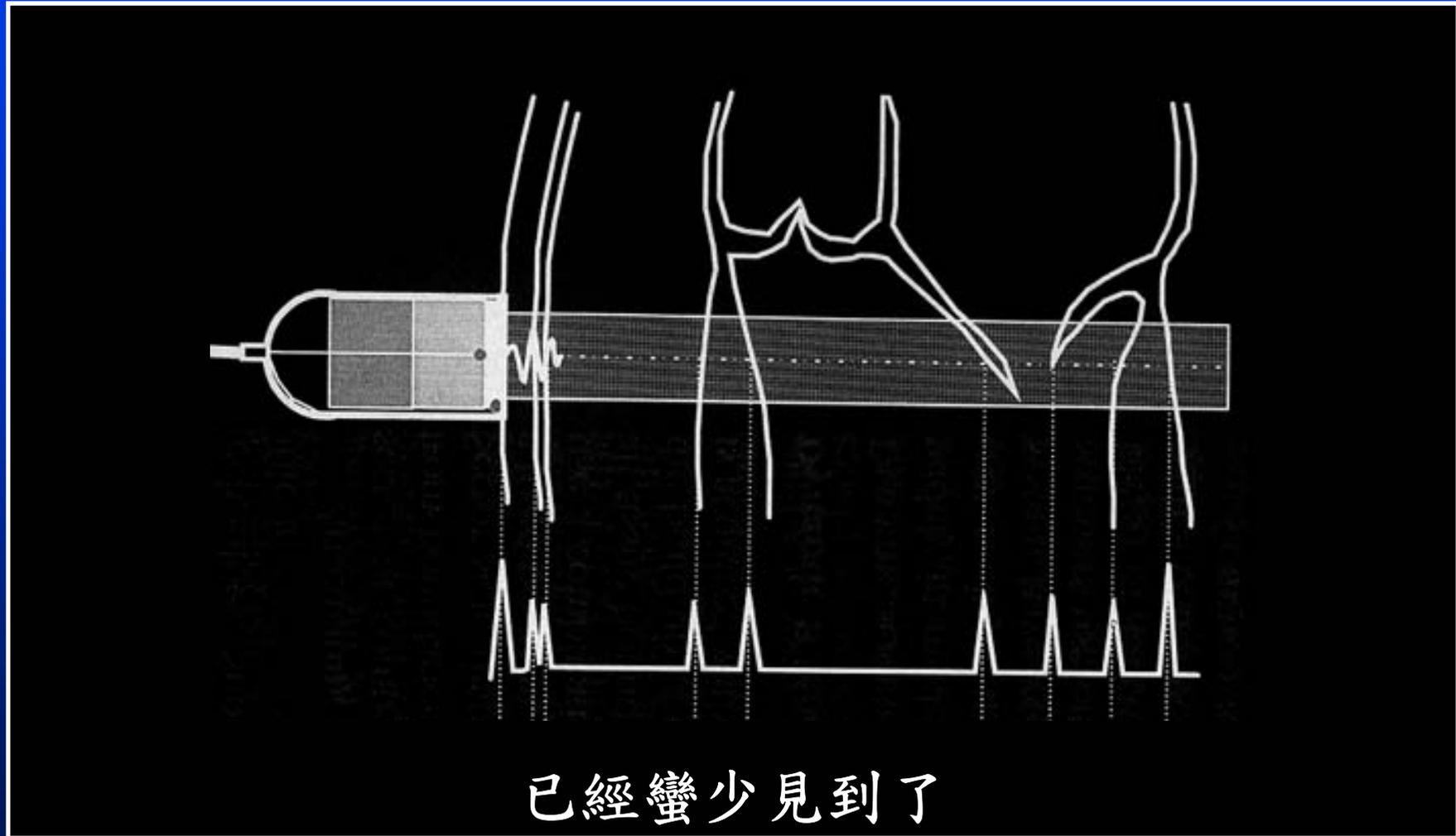
超音波影像形成與應用

- **Amplitude (A) mode**
- **Brightness (B) mode**
- **Motion (M) mode**
- **Color Doppler 血流測定 ...**

A Mode 超音波影像

- 單方向發射超音波
- 接收反射波的時間換算成距離
- 反射波強度以振幅顯示
- 二維圖形 = 一維影像

A Mode Ultrasound

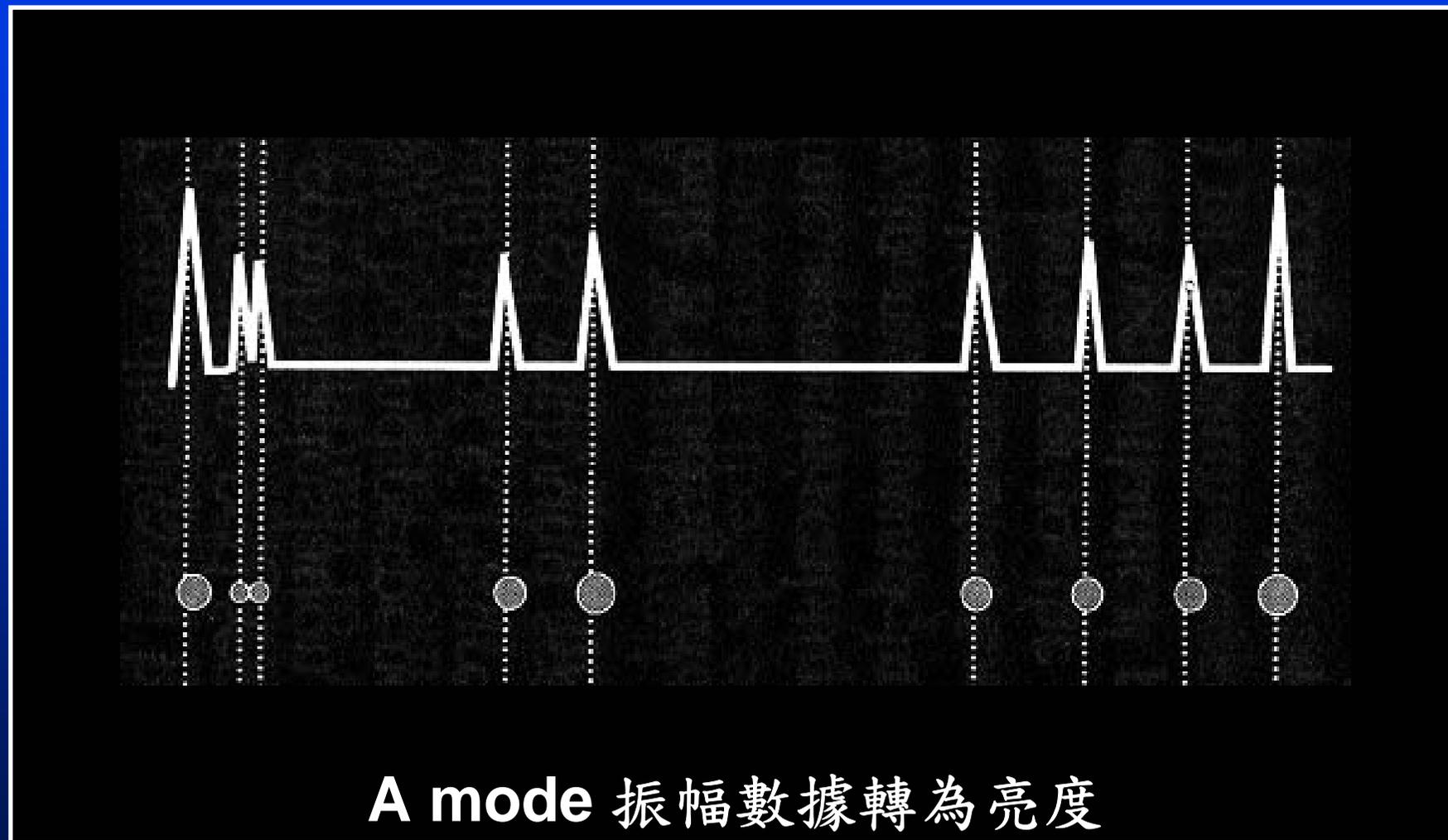


已經蠻少見到了

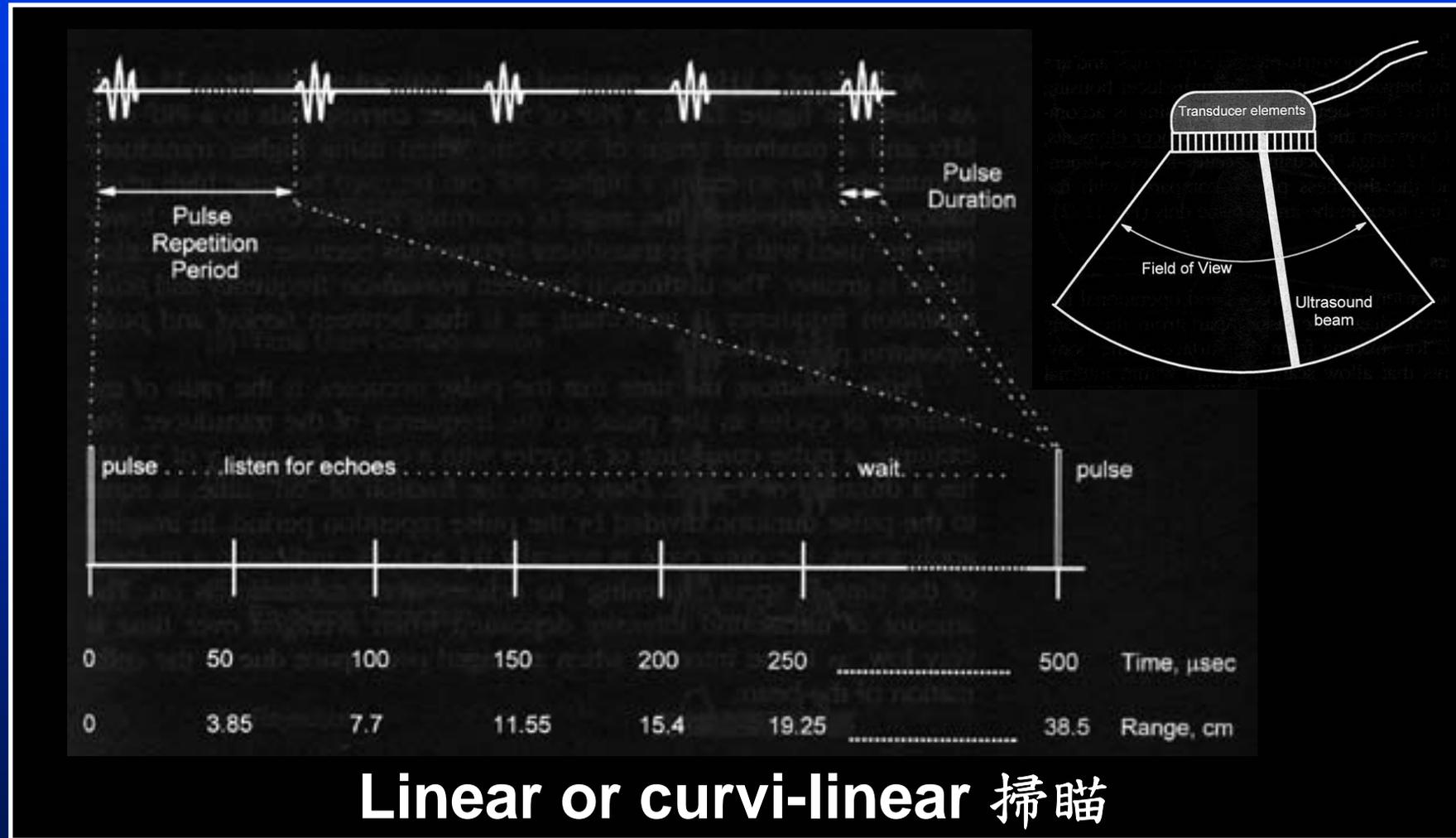
B Mode 超音波影像

- 只是把振幅改用亮度顯示
 - 從一個圖改為一條線
- 多條線掃描 → 二維影像
- 最常見到的臨床使用方式

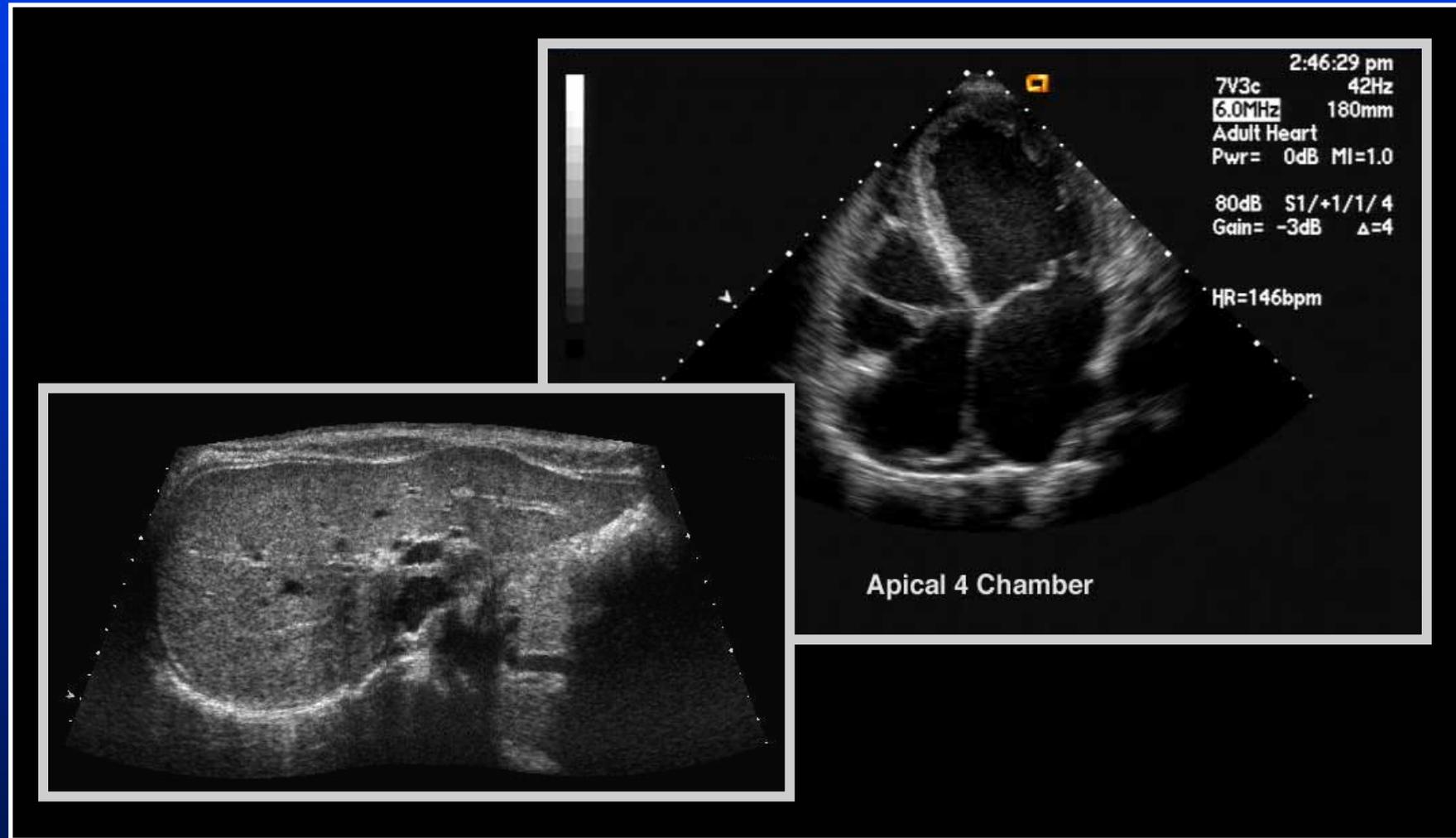
B Mode Ultrasound 原理



B Mode Ultrasound 原理



B Mode Ultrasound



B Mode 掃瞄時間

- 每條掃瞄線 = $2 \times \text{距離} / \text{波速}$
 - 40 cm ~ 0.5 msec
 - 視覺暫留 ~ 1/16 sec
- 基本上是 real time imaging

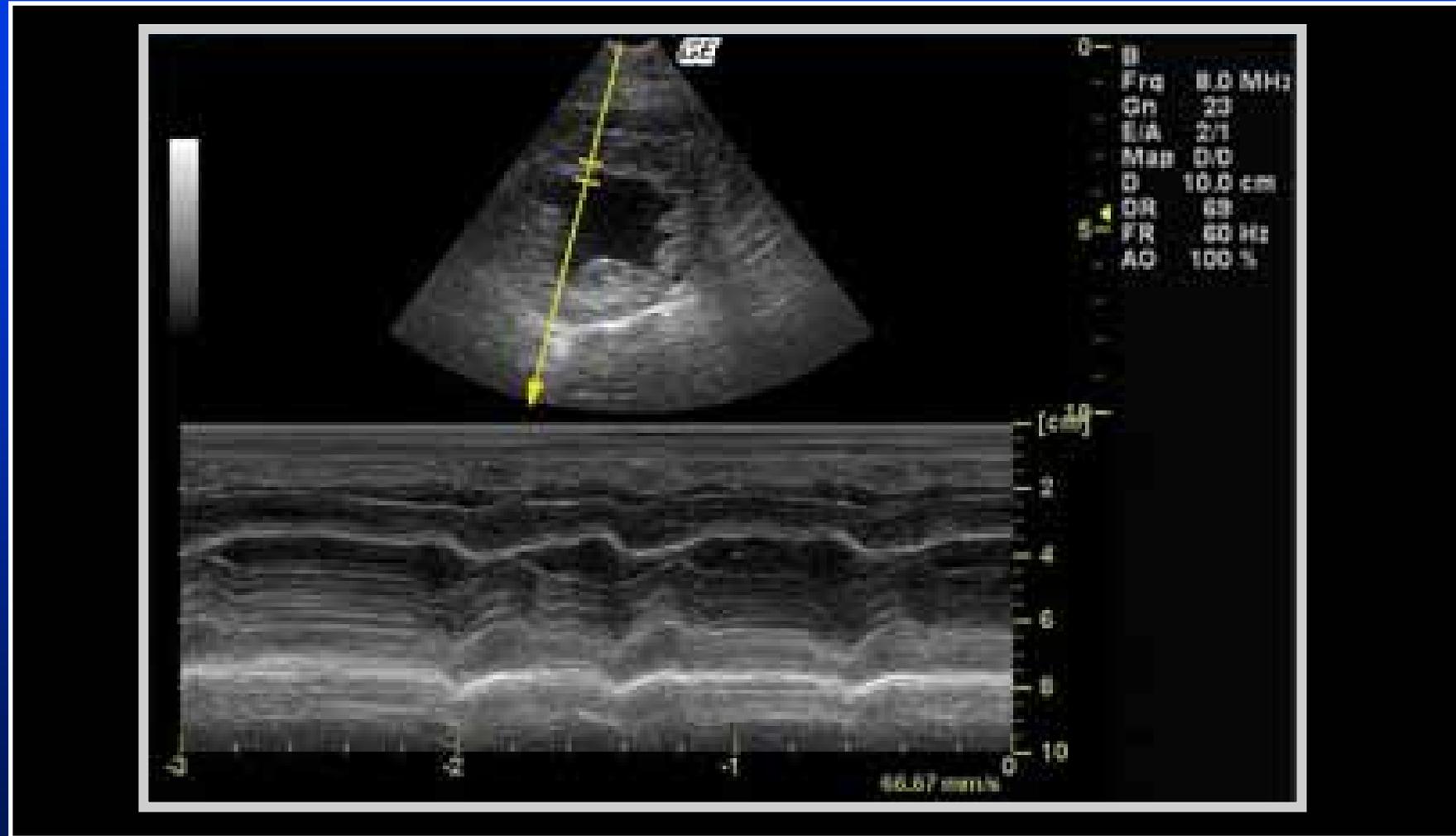
Real Time Imaging 重要性

- **Interactive** (一邊看一邊移動)
- 目視判斷彌補影像品質的不足
- 不受器官運動的影響
 - 心跳、胎兒 ...

M Mode 超音波影像

- 單方向發射超音波 + 亮度顯示
 - 一維影像
- 隨時間做追蹤以檢視器官運動
 - 二維 = 空間軸 **VS.** 時間軸

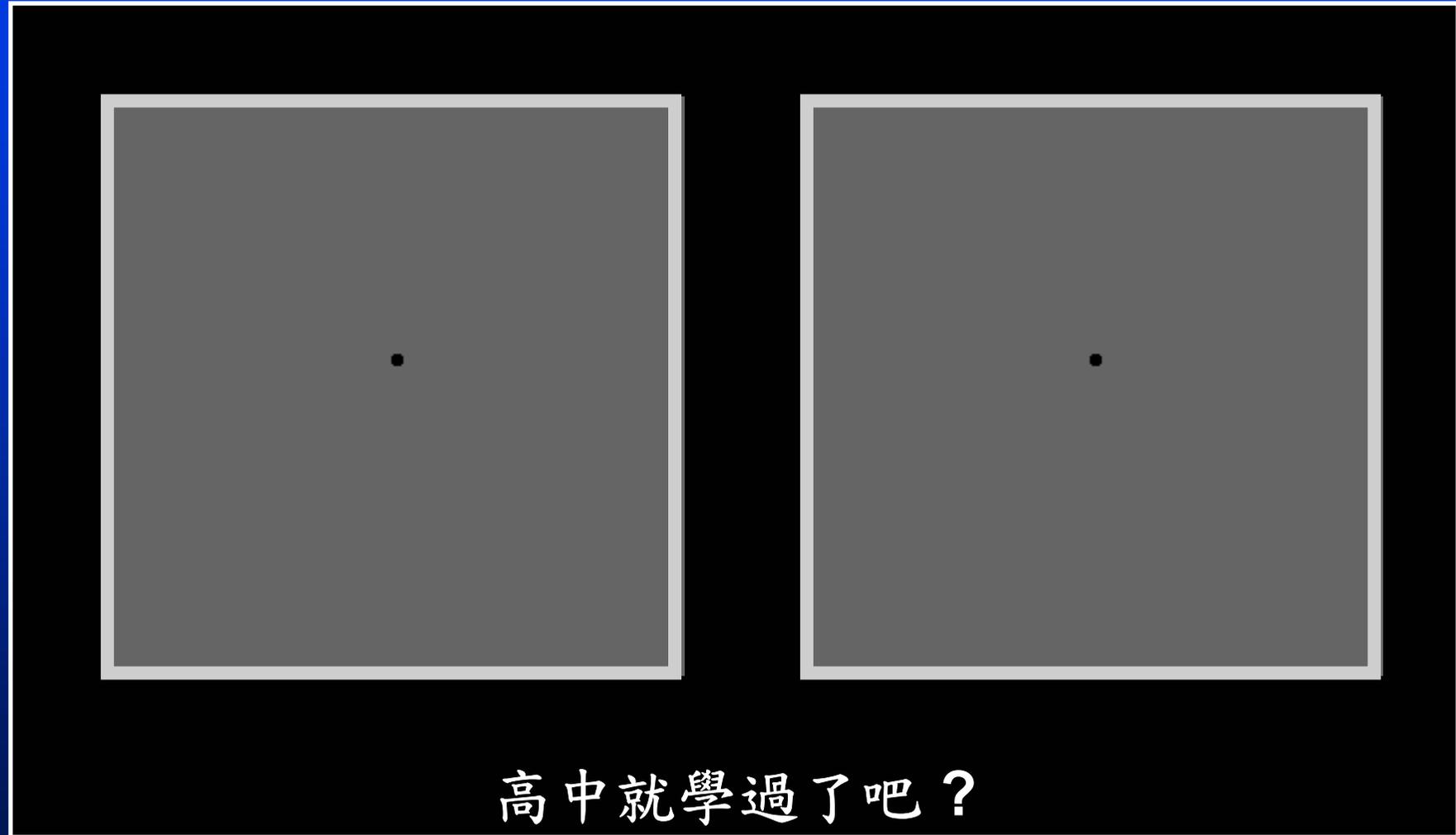
M Mode Ultrasound



Color Doppler Ultrasound

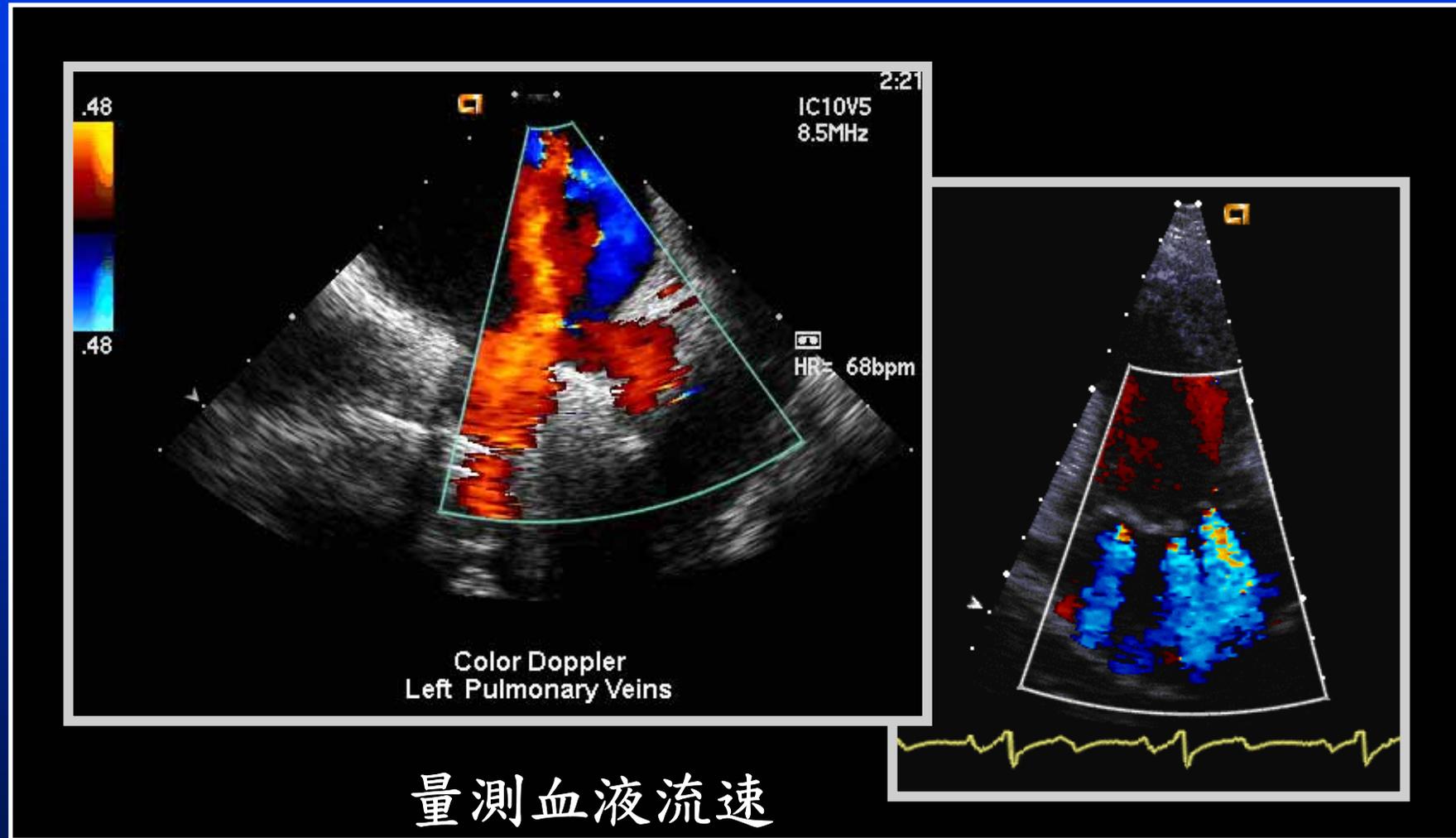
- 利用杜卜勒效應檢視流速
 - 介質速度改變超音波頻率 (波長)
 - 假設角度已知
- 以彩色顯示頻率所換算的流速

杜卜勒效應示意圖



高中就學過了把？

Doppler Ultrasound



超音波的優劣勢

- 價廉、portable、即時顯像、無放射性、合併治療潛力
- 缺點：組織不均勻度導致 **body-type dependent image quality**

磁共振影像

Magnetic Resonance

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部

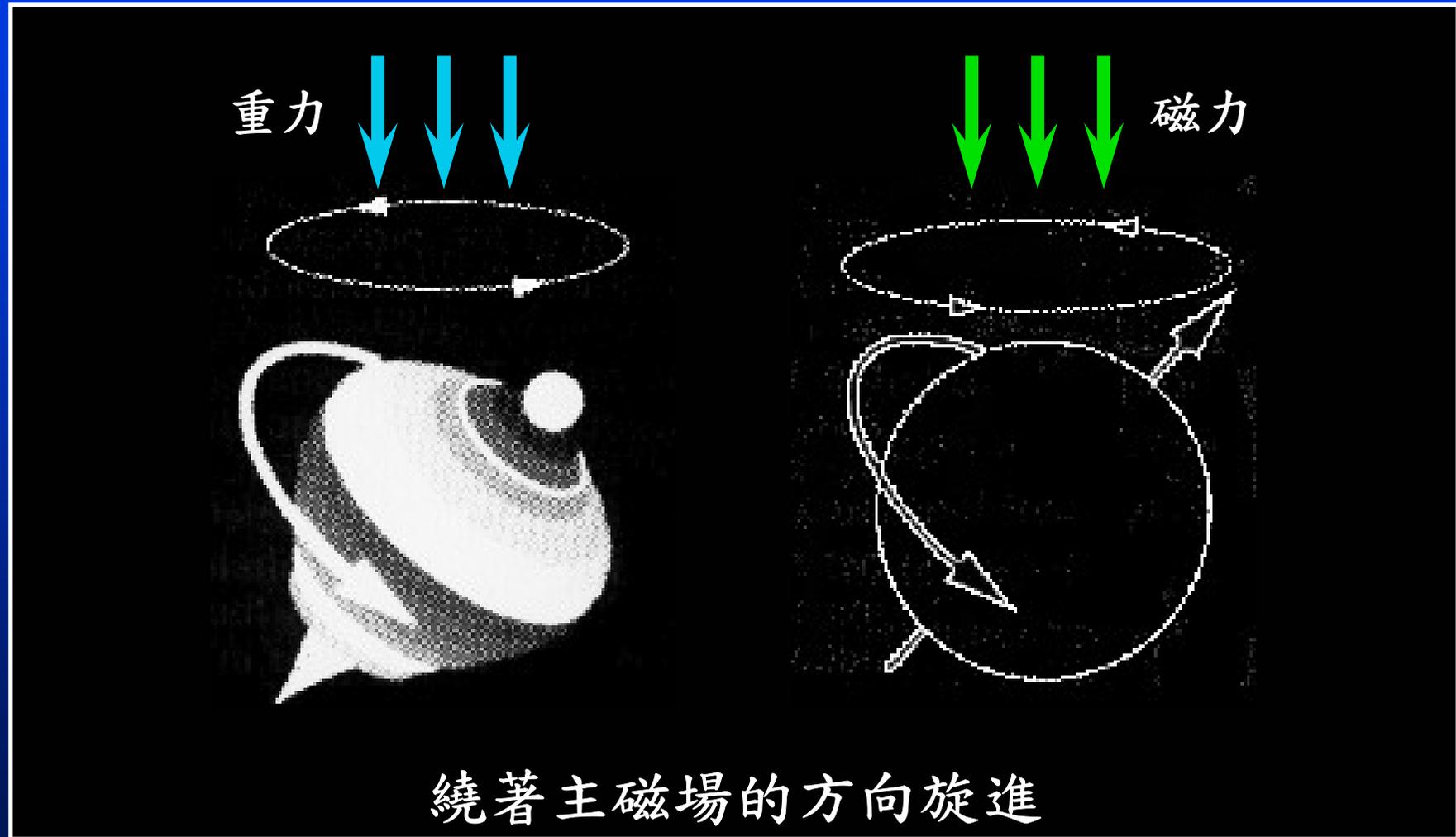
事先預告

- 一個禮拜對 MRI 而言實在太短
- 研究所整學期課程 (三學分)
 - 據說相當於九到十二學分重量
- 絕對不要預期今天能學到任何東西

核磁共振：物理現象

- Nuclear magnetic resonance
- 起源：具有質量與電荷的旋轉粒子
 - 質量 + 旋轉 = 角動量 (陀螺)
 - 電荷 + 旋轉 = 磁矩 (磁鐵)

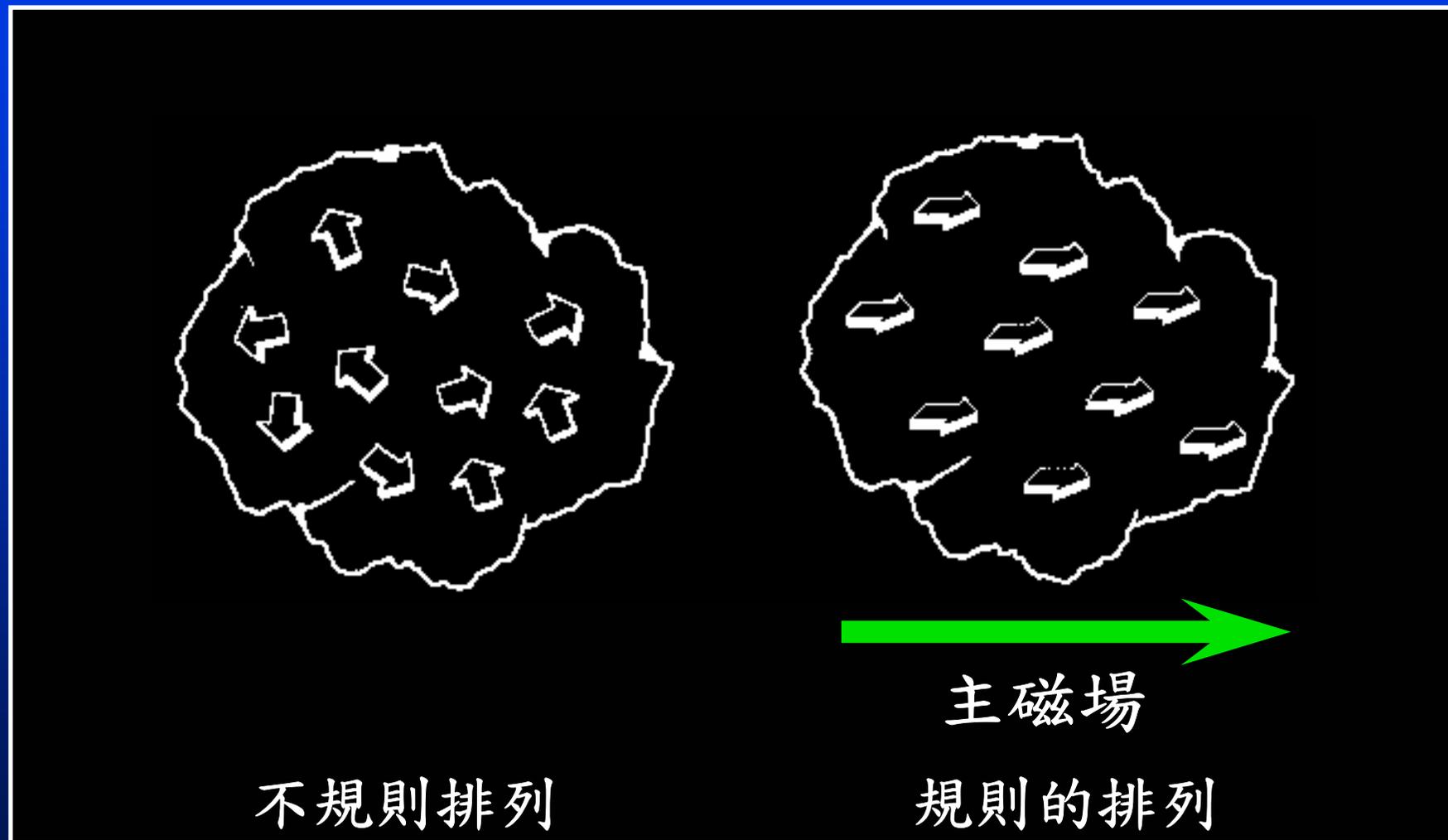
磁場中的氫原子核旋進現象



人體內氫原子的來源

- 水 (H_2O)、脂肪、蛋白質...
- 每 18 公克的水含有 $2 \times 6 \times 10^{23}$ 個氫原子！
- 全部加起來，人體就可以吸鐵釘囉？

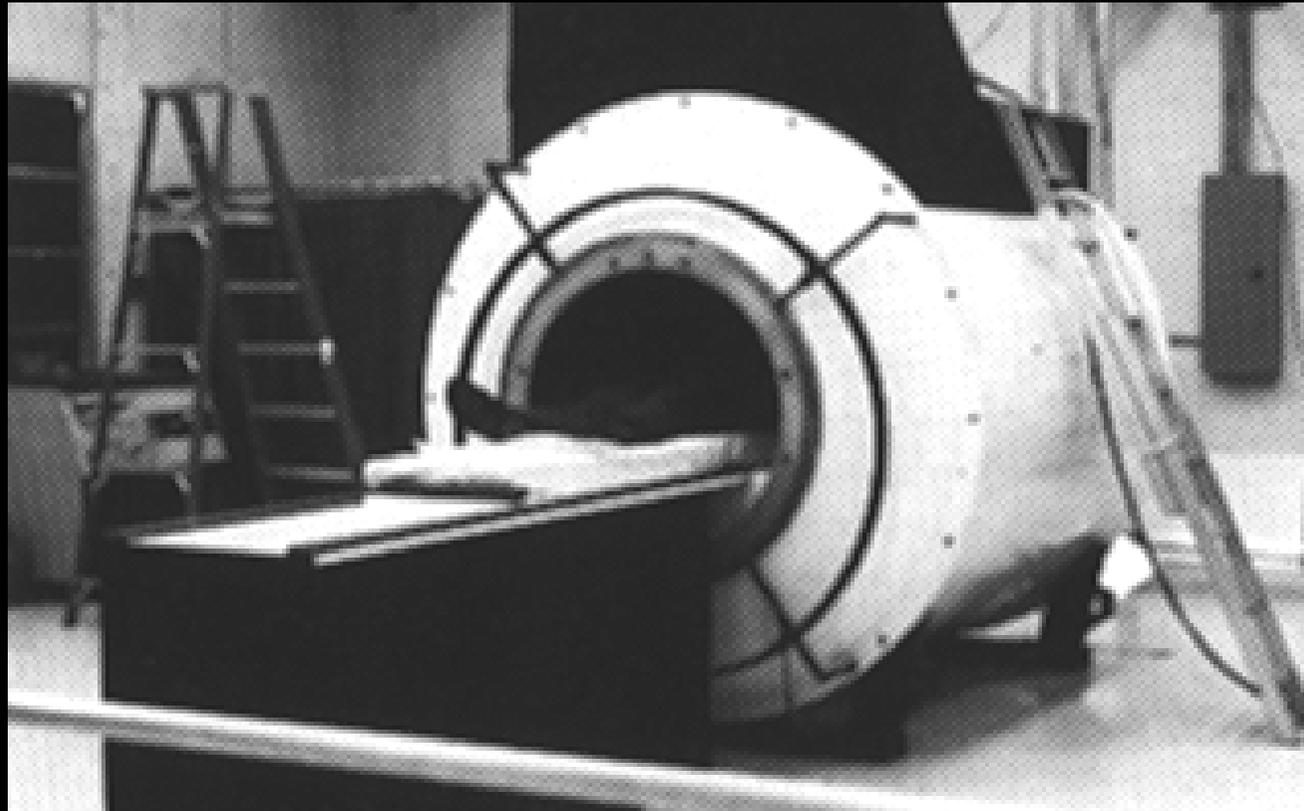
外加磁場對氫原子核小磁鐵的影響



既然是觀察原子核的磁性

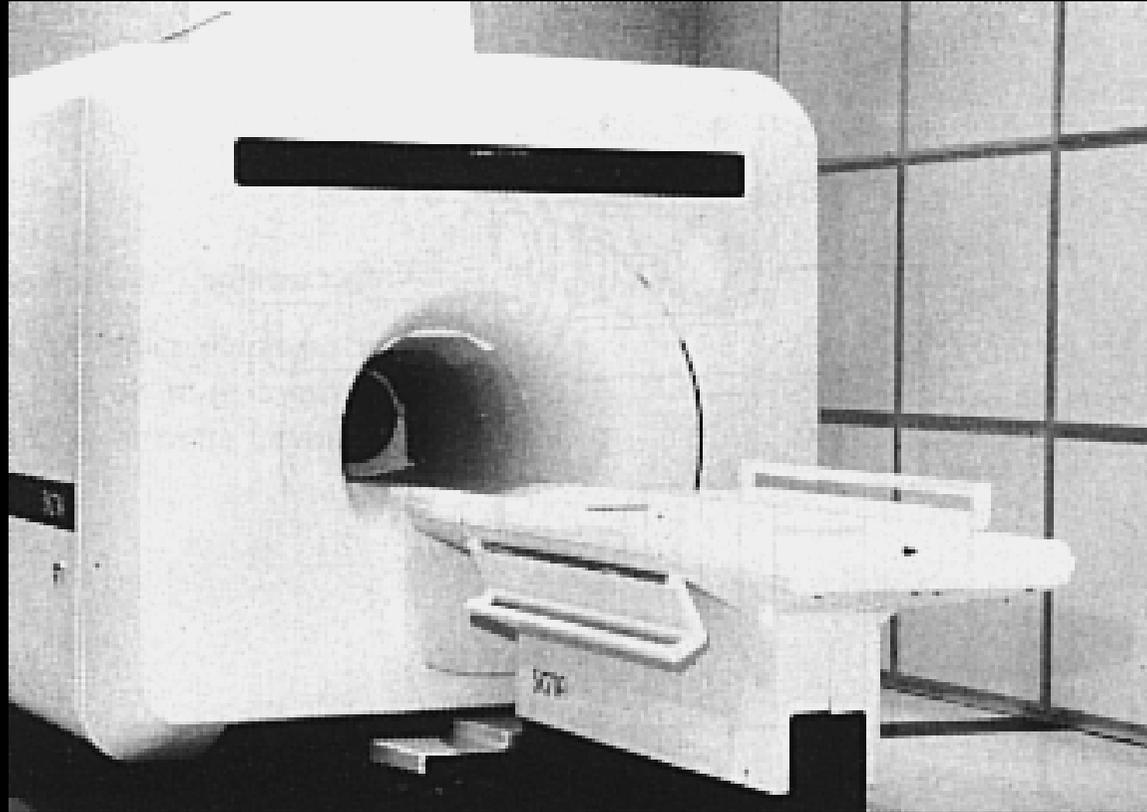
- 當然就需要外加磁場了
- **Bloch & Purcell**：外加磁場後測得原子核之磁性 (1952 Nobel prize)
- **MRI** 的基本工具之一：磁鐵

MRI 超導體電磁鐵實體圖



還沒有經過漂亮的封裝

超導體磁共振影像儀



GE Signa 1.5 Tesla

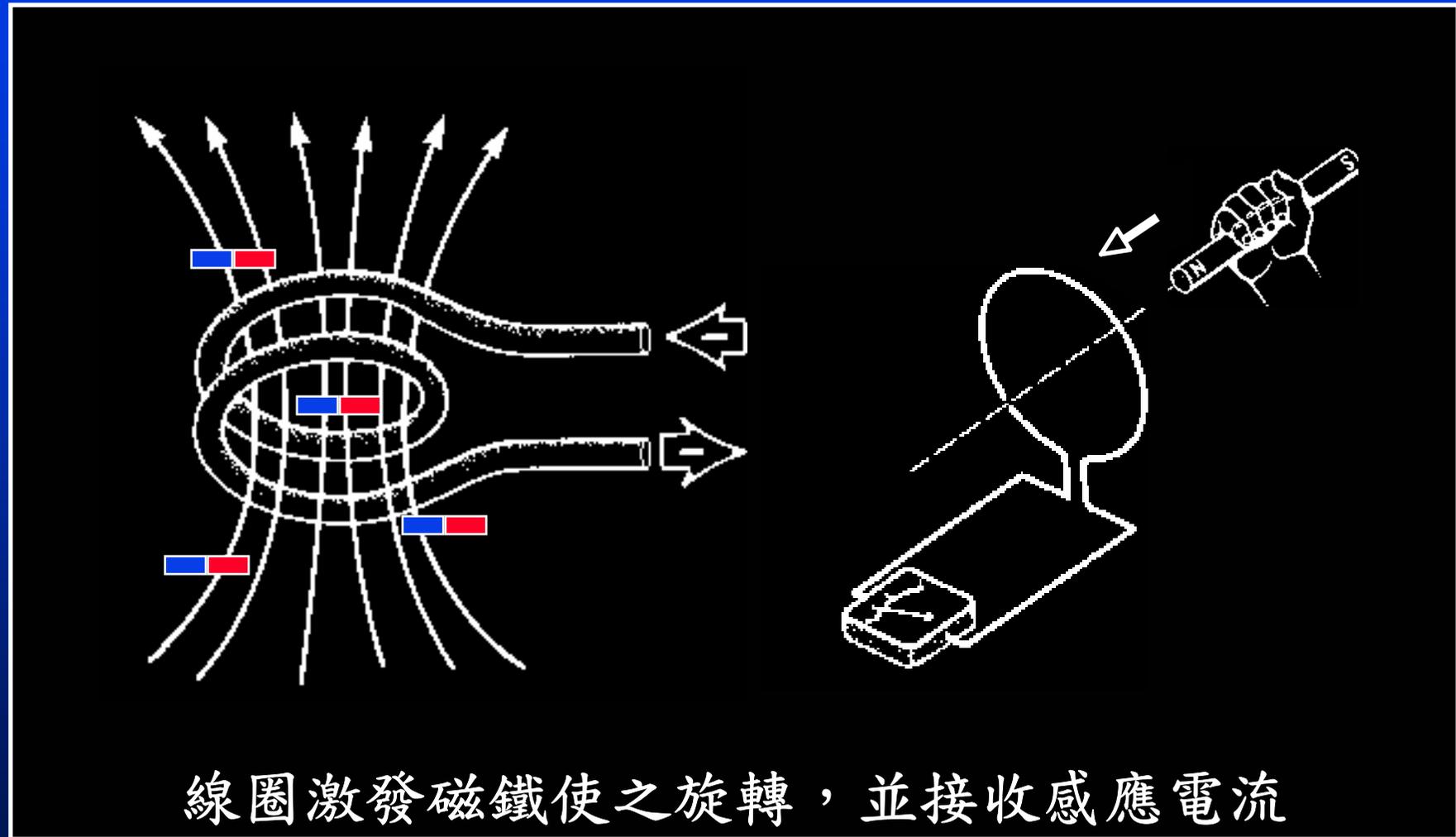
磁性存在還不夠

- 經過適當的激發以利信號偵測
- Ernst : Pulsed & FT-NMR (1992 Nobel prize)
- MRI 的基本工具之二：射頻線圈

基本原理

- 磁鐵運動可以產生感應電流
 - Faraday's law
- 迫使磁性運動 = **excitation**
- 偵測磁性運動方式 = **detection**

射頻激發與信號接收

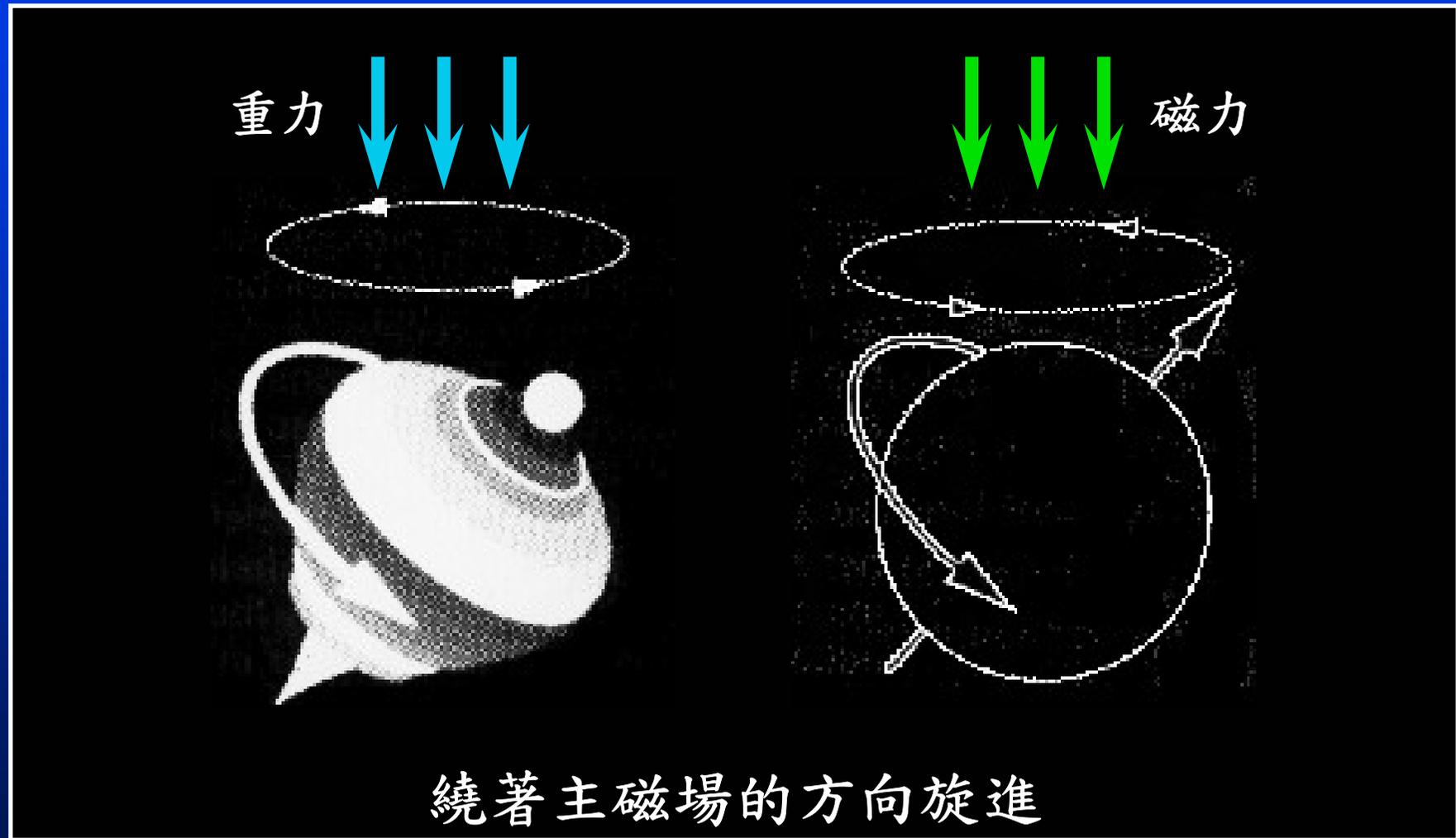


線圈激發磁鐵使之旋轉，並接收感應電流

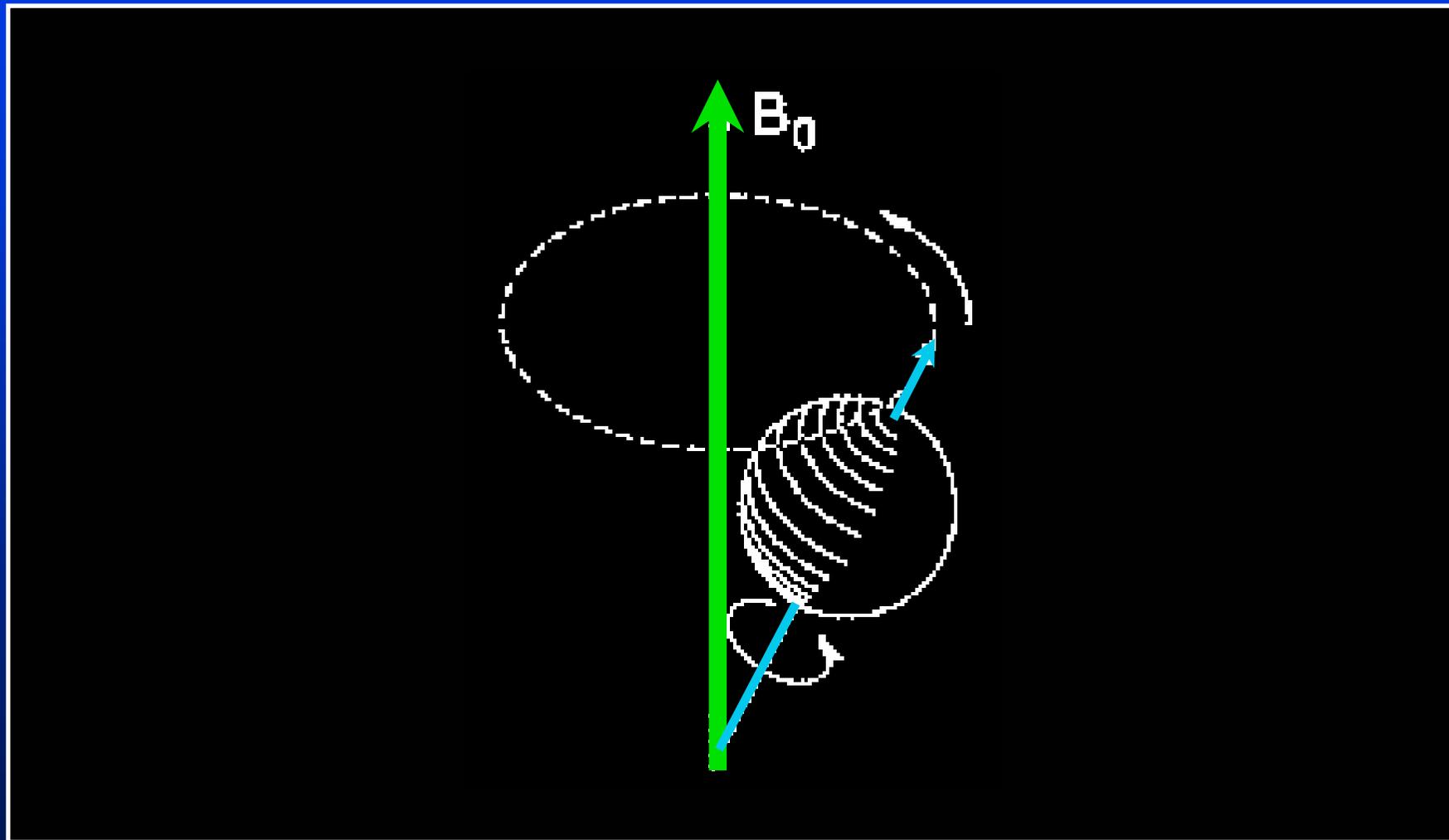
氫原子核的自轉

- 自轉運動導致：
 - 電荷旋轉：磁化 (受磁力吸引)
 - 質量旋轉：慣性 (抗拒磁力吸引)
- 同時作用 = 因磁場引起之旋進

磁場中的氫原子核旋進現象



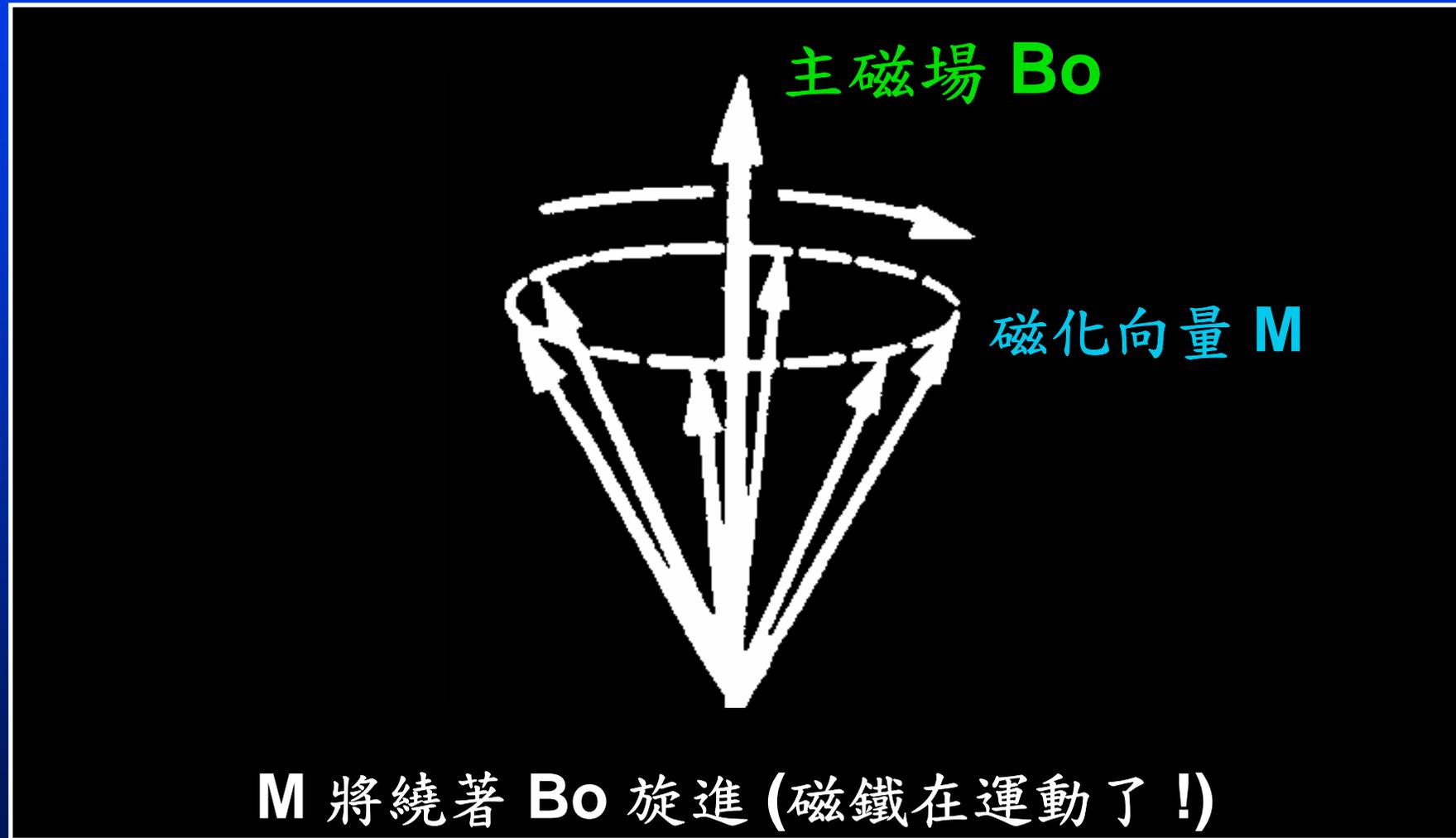
繞著主磁場旋進



旋進的快慢

- 與磁場成正比 (Larmor equation)
 - ω (頻率) = γ (比例常數) B_0 (磁場)
- 磁性旋進 = 感應電流
- 63.87 MHz @ 1.5 Tesla

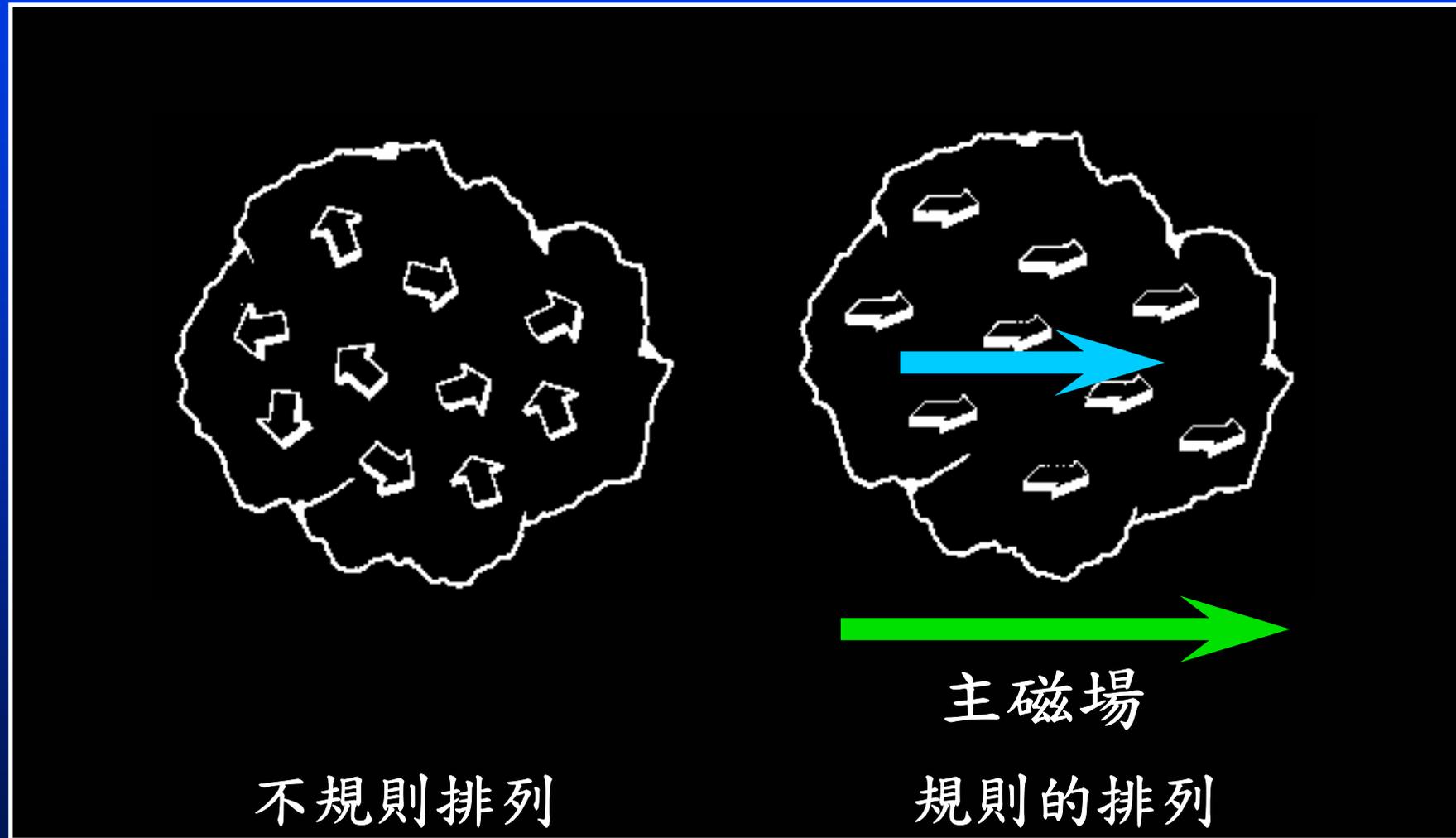
如果 M 磁鐵與 B_0 磁場不平行



但是 ...

- 外加磁場，才造成整齊排列
 - 磁性方向顯然一致
- 1.5T 主磁場只負責強化人體磁性，並不提供激發功能

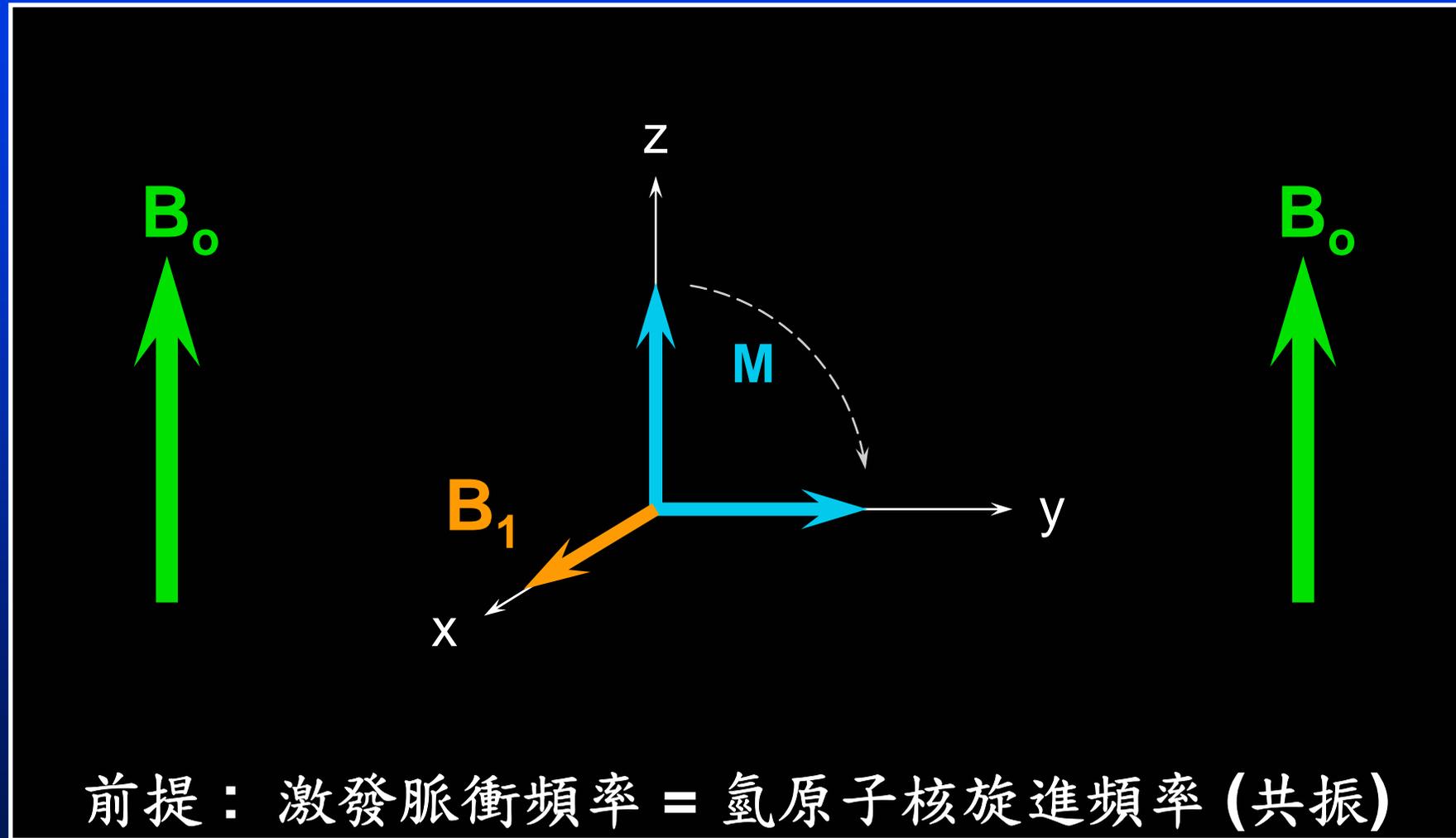
外加磁場 與 引發磁矩向量平行



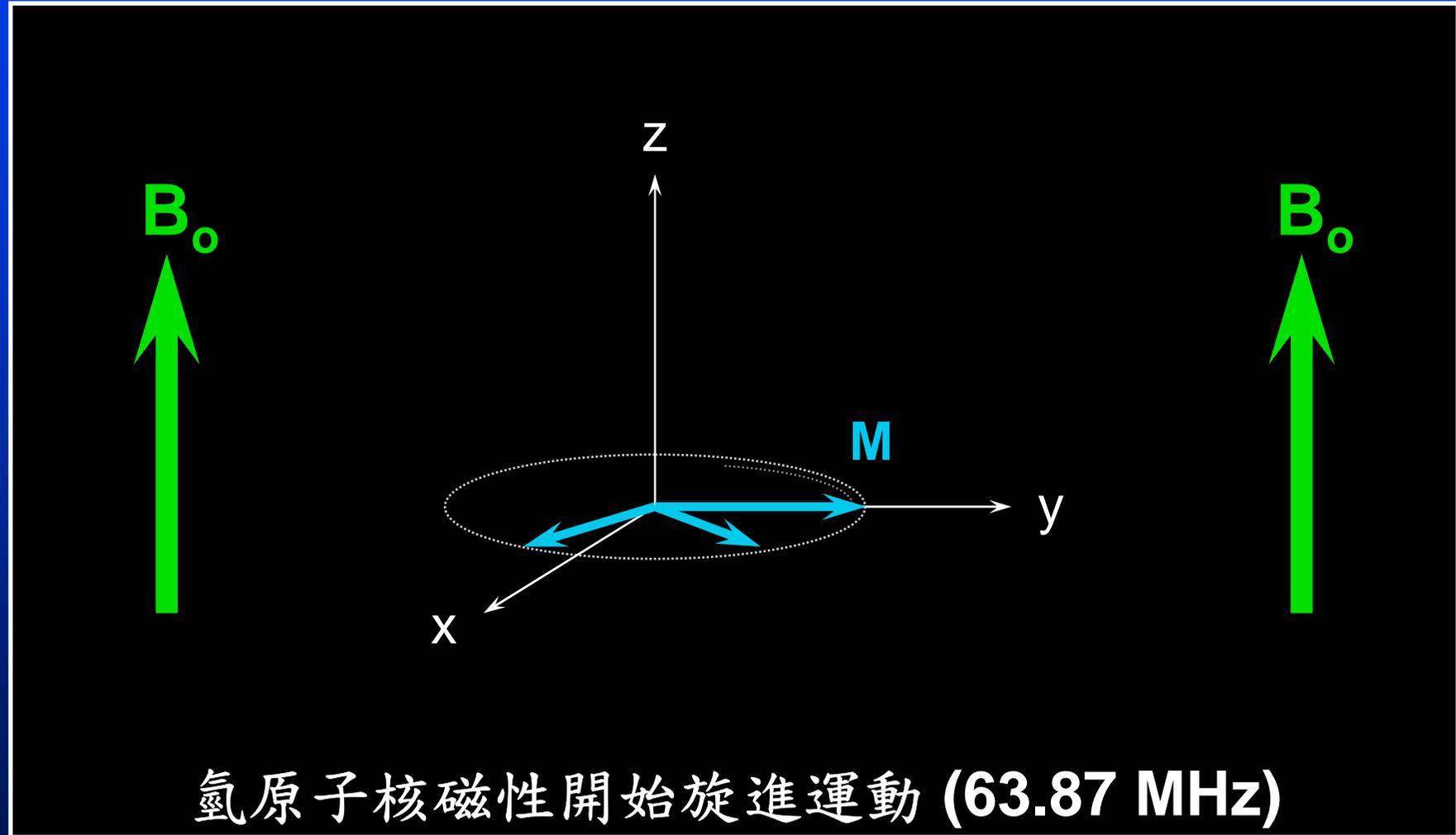
換句話說 ...

- “人體磁鐵”會產生，但不會運動
- 若要產生運動，須靠外力激發

MRI 中的信號激發 (B_1 : 激發磁場)



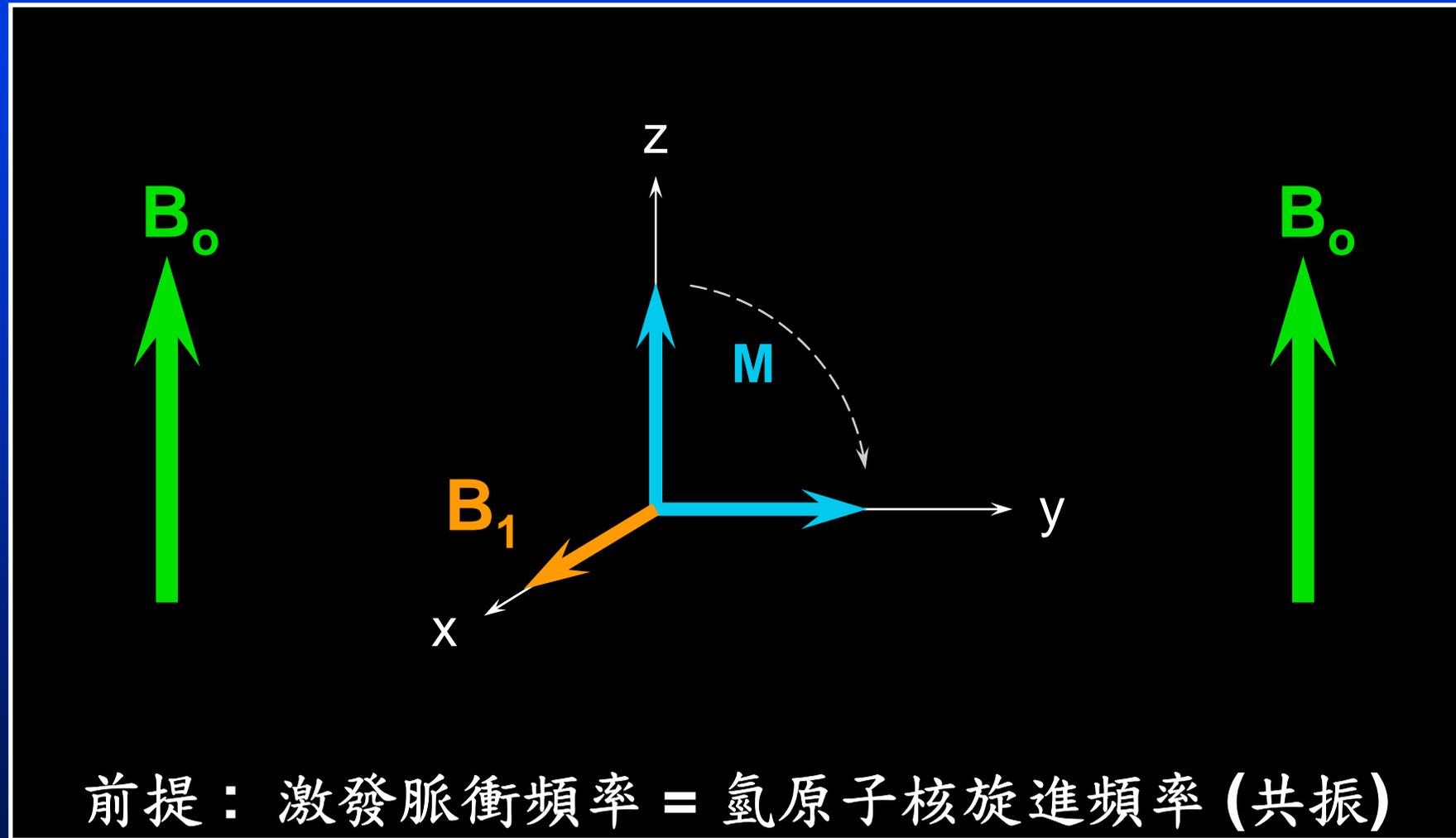
激發脈衝關閉



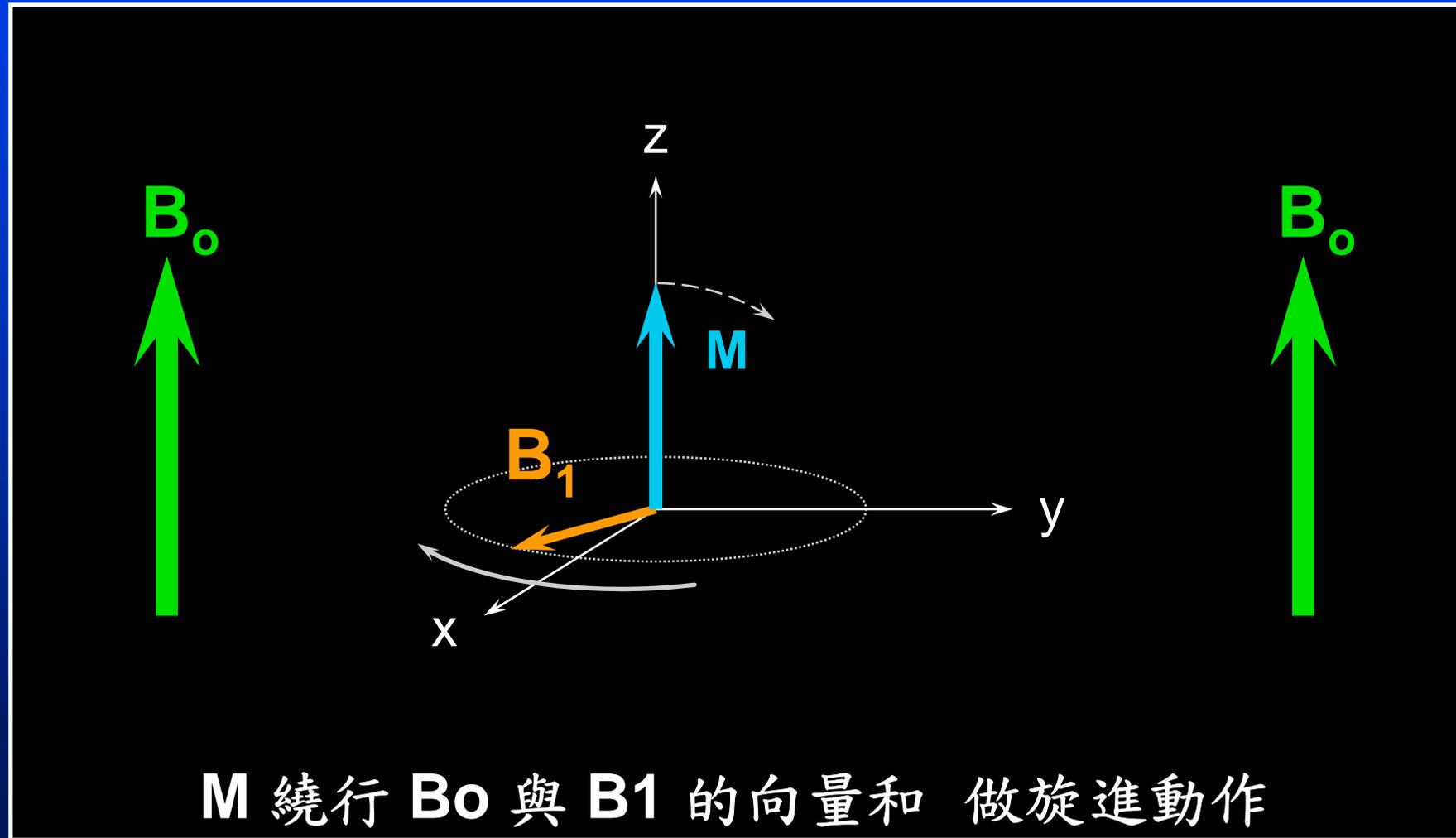
信號激發的原理

- 呃 ... 說來話長 ...
- 激發磁場 **B1** 條件
 - 以 Larmor freq 旋轉 (RF)
 - 磁場方向垂直於主磁場 **B₀**

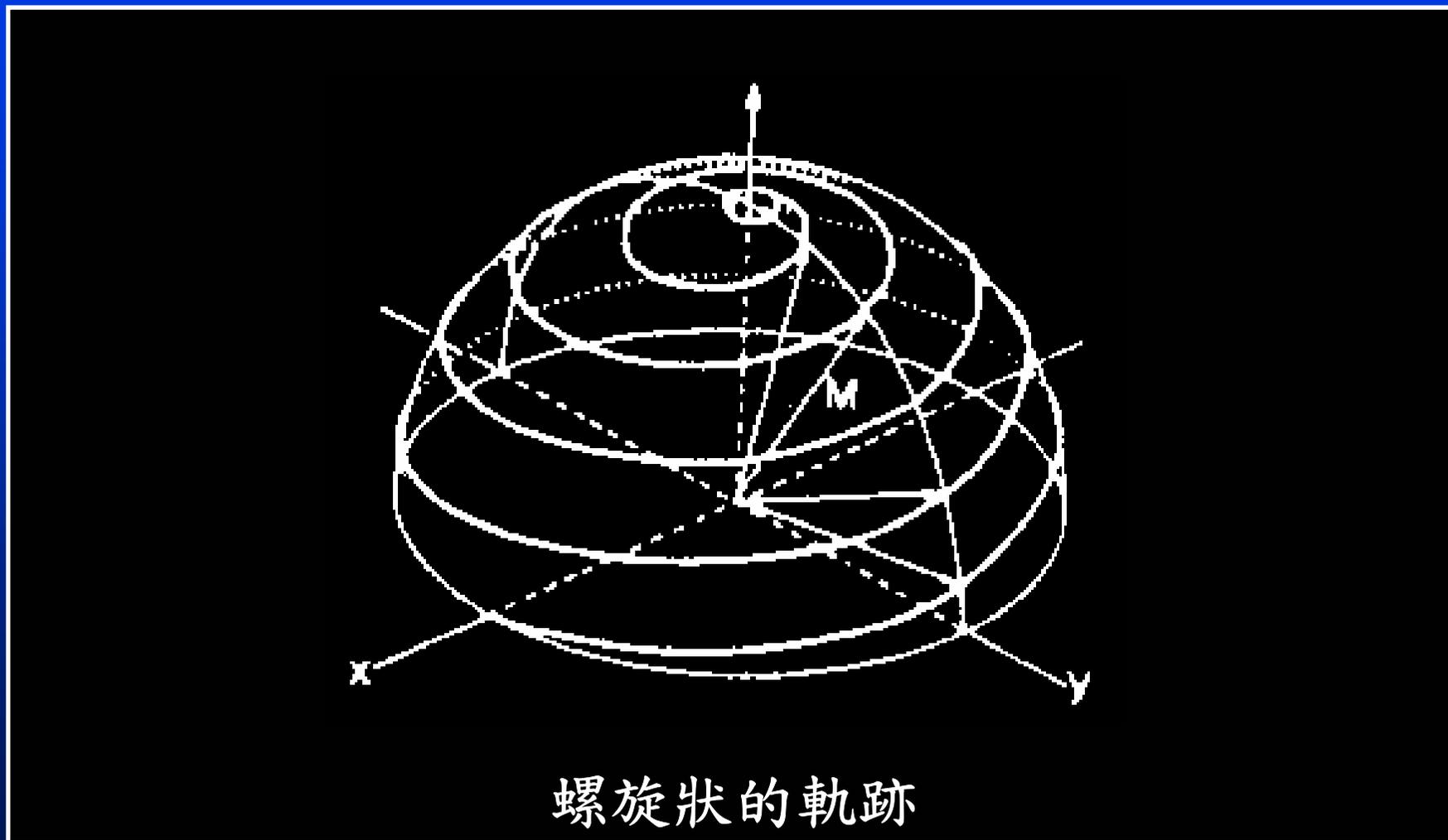
MRI 中的信號激發 (B_1 : 激發磁場)



實際上大致是這樣的 ...



磁向量 M 經射頻激發後的運動路徑



信號激發的儀器 (RF Coil)

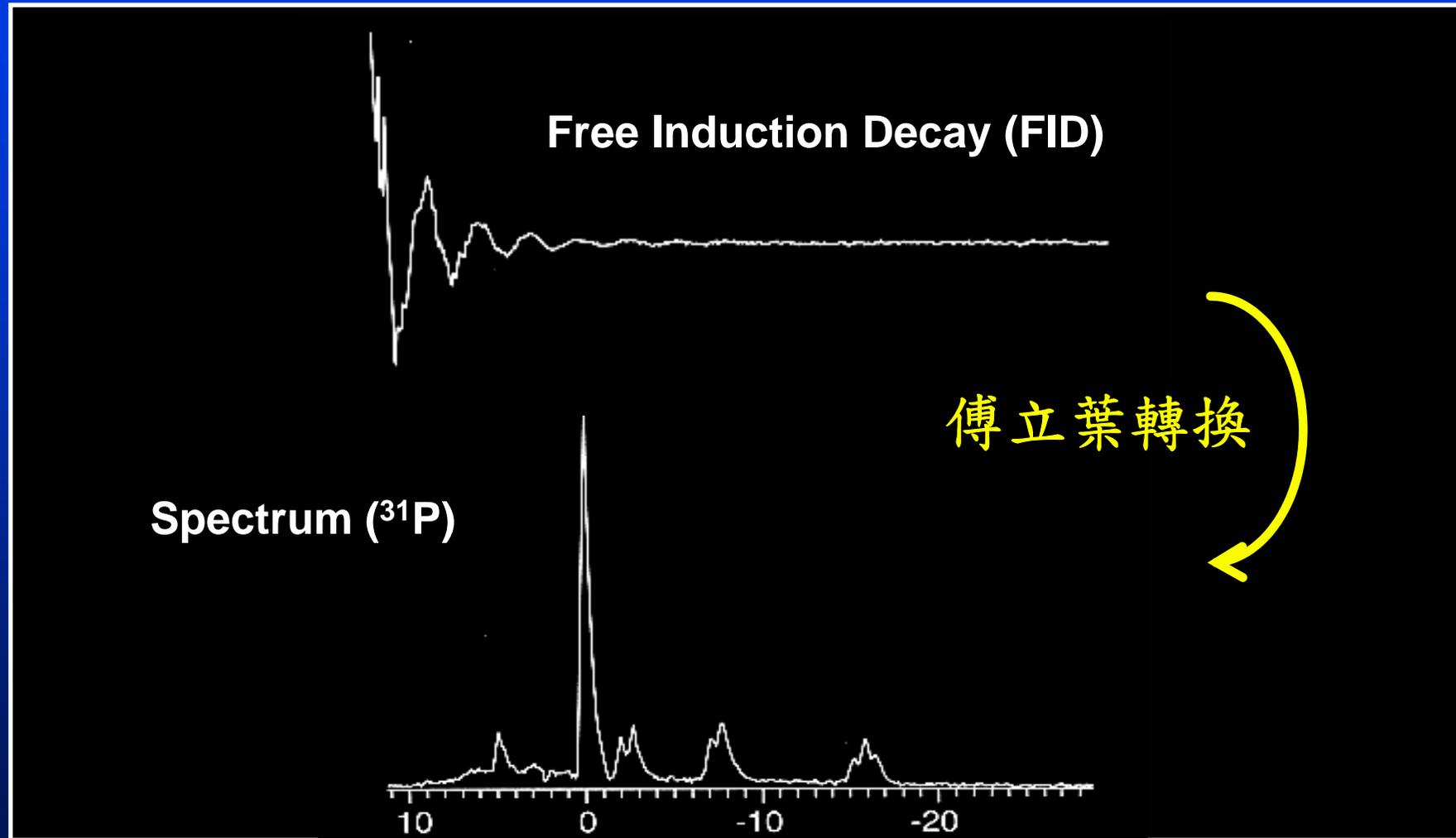
- 垂直於 B_0 的高頻率旋轉磁場
- 產生方式：高頻電流通入線圈
 - 只要是繞線線圈都行
 - 在 Larmor freq 範圍需高效率

表面線圈 (Surface Coils)

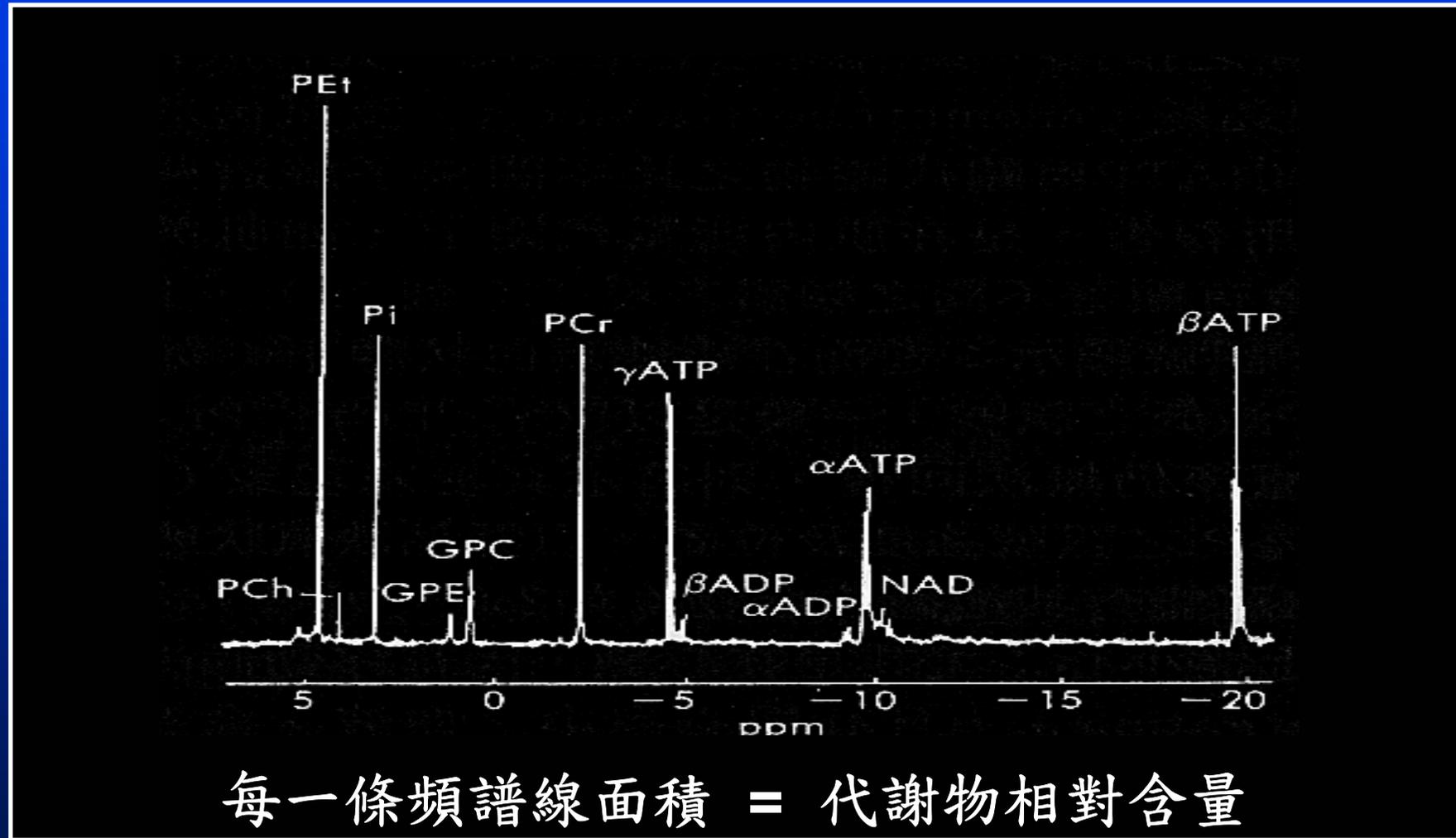


3", 5", 5"x11" lumbar

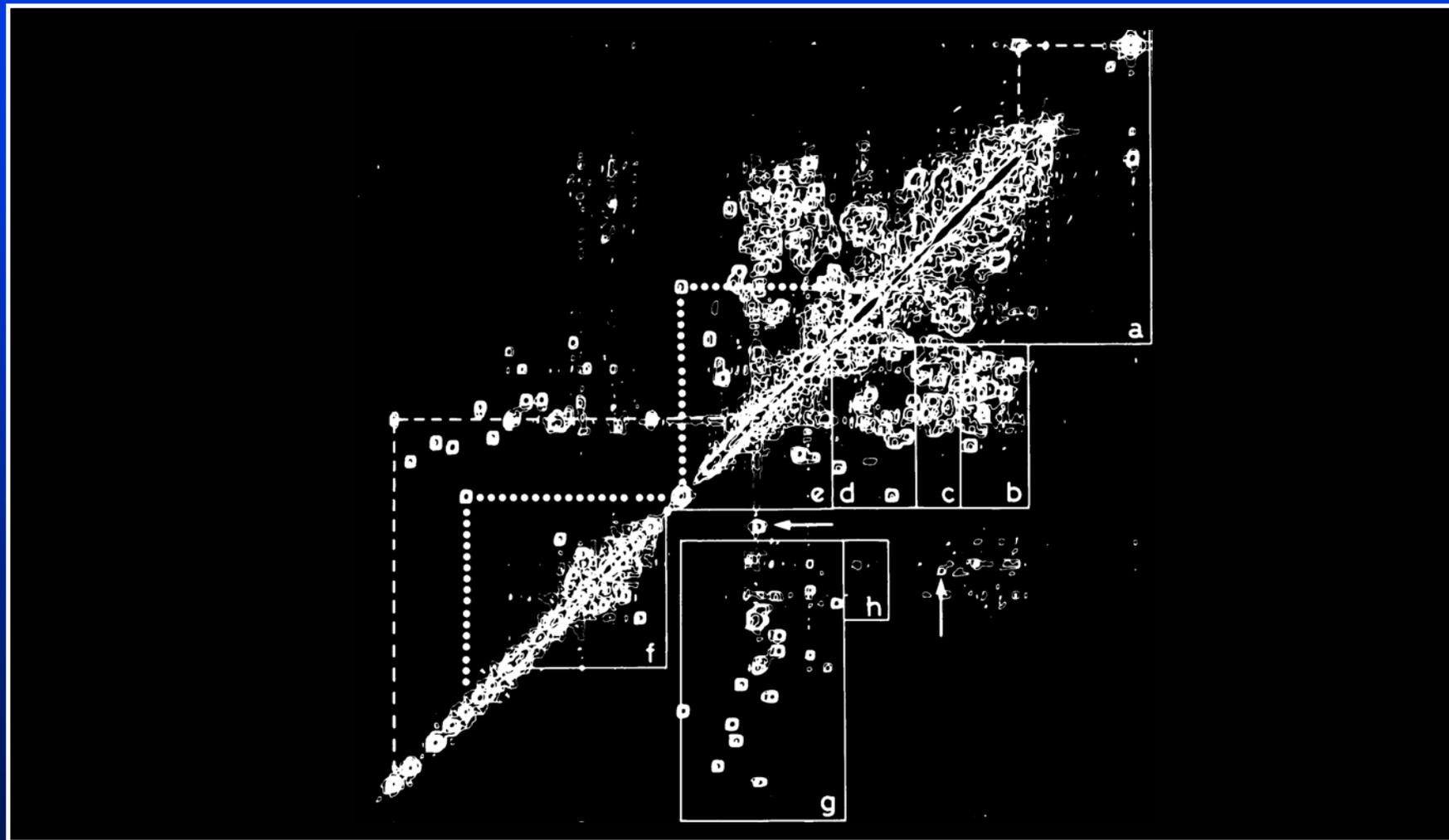
核磁共振信號 與 核磁共振頻譜



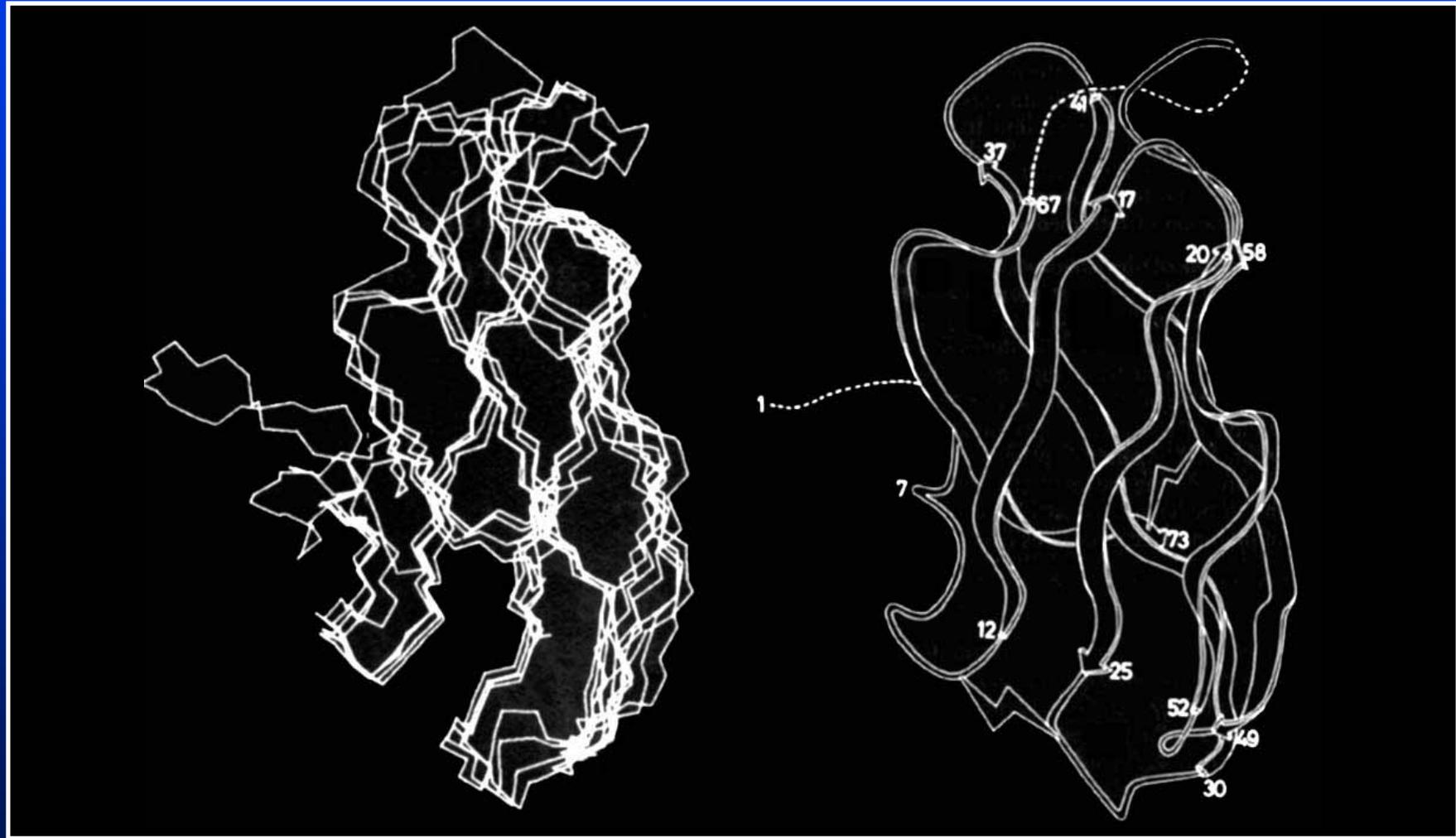
1-D 磷-31 高解析度核磁共振頻譜



2-D ^1H COSY 核磁共振頻譜一例



蛋白質結構分析一例



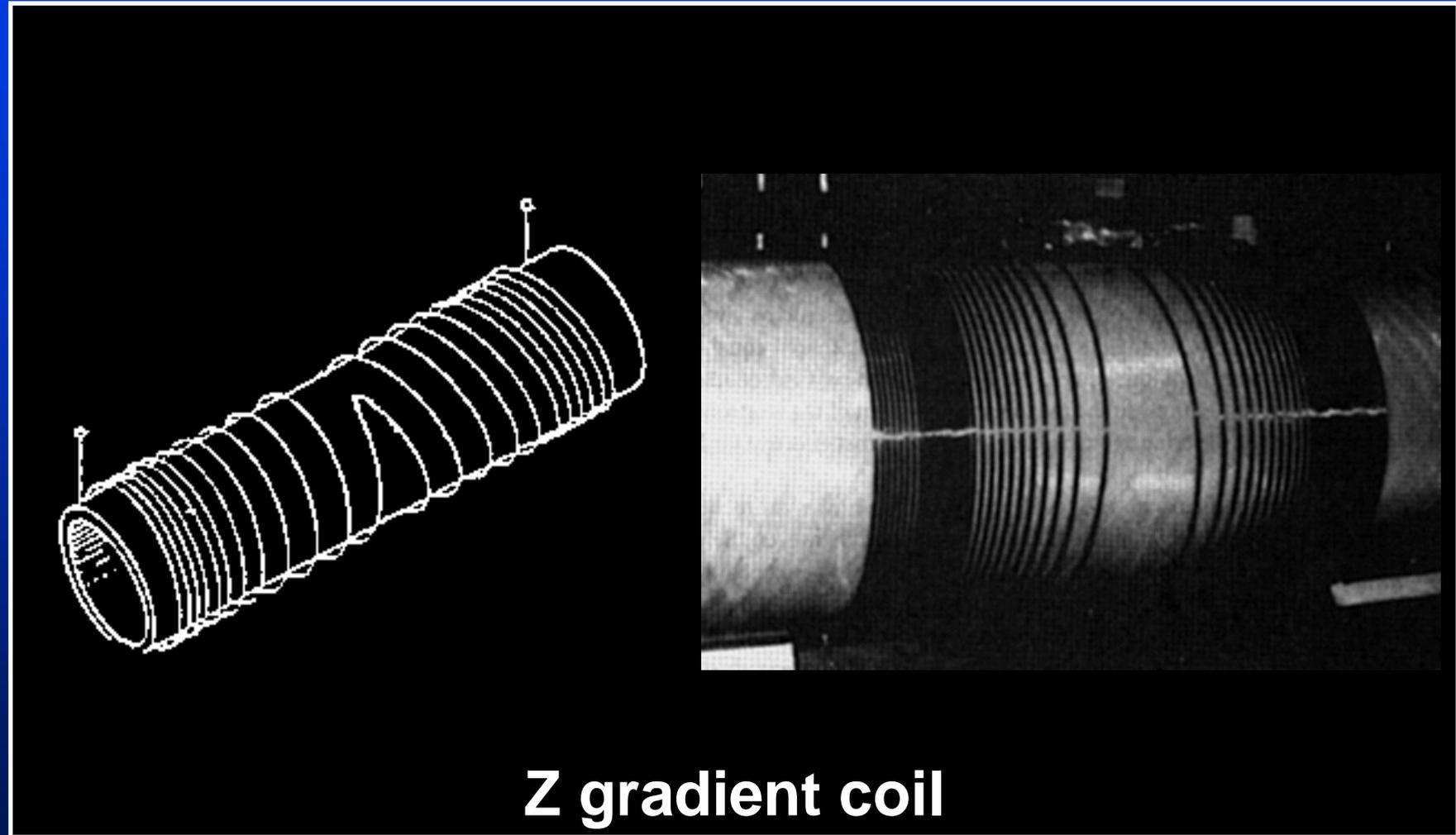
核磁共振的衍生

- **NMR** 被用來作蛋白質結構分析
- 物理至此進入了化學 (有機、生化)

如果局部變化磁場強度

- 原子核的反應也各處不同
- **Lauterbur**：以局部磁場變化，分辨含水試管的位置 (2003 Nobel prize)
- **MRI** 的基本工具之三：梯度線圈

梯度線圈繞線 與 梯度線圈實體圖



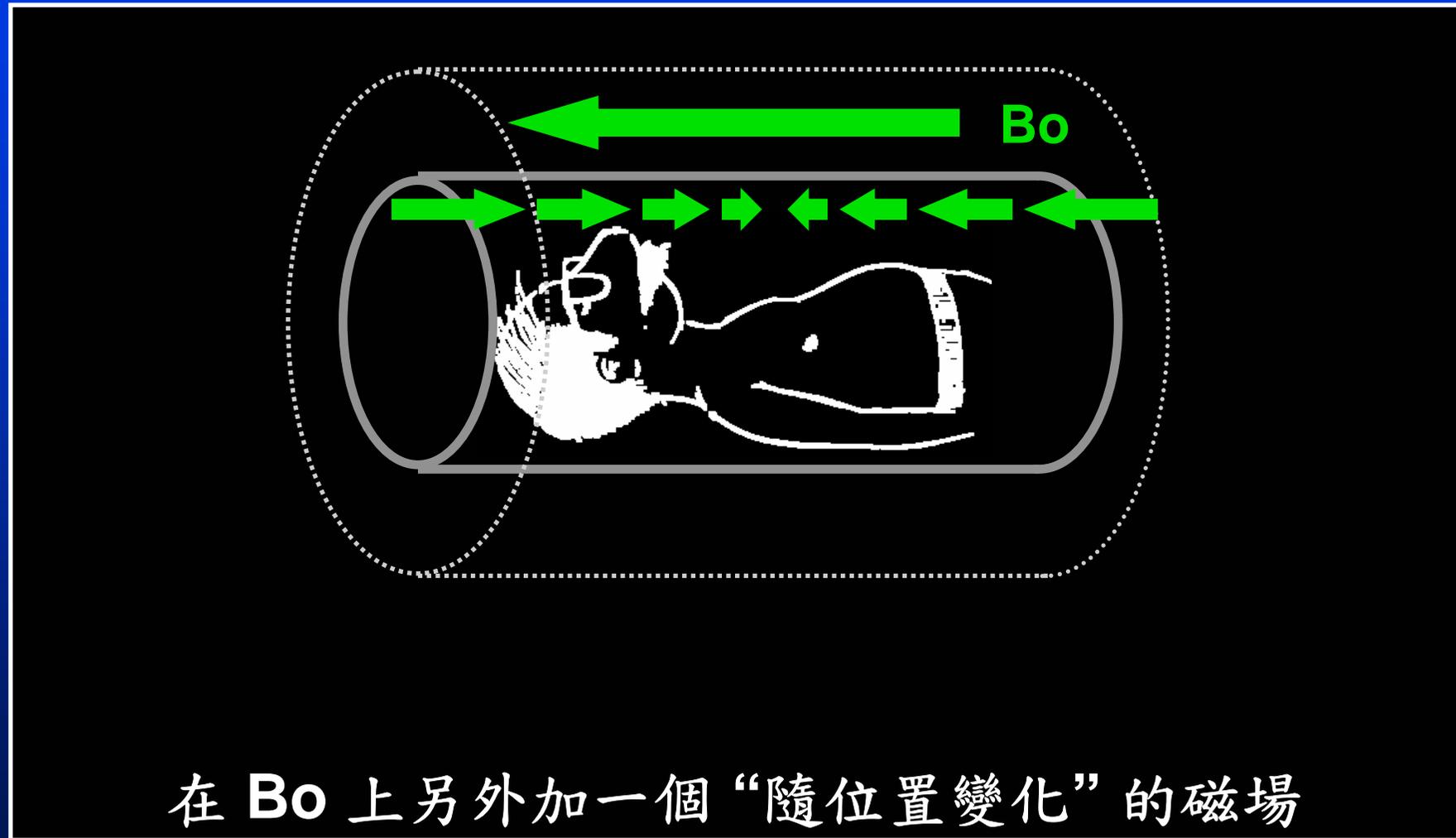
局部變化磁場的目的

- 旋進頻率正比於磁場強度
- 選擇性激發單一切面 (斷層掃描)
- 接收信號時，讓頻率隨位置變化
 - 計算頻譜 = 計算影像

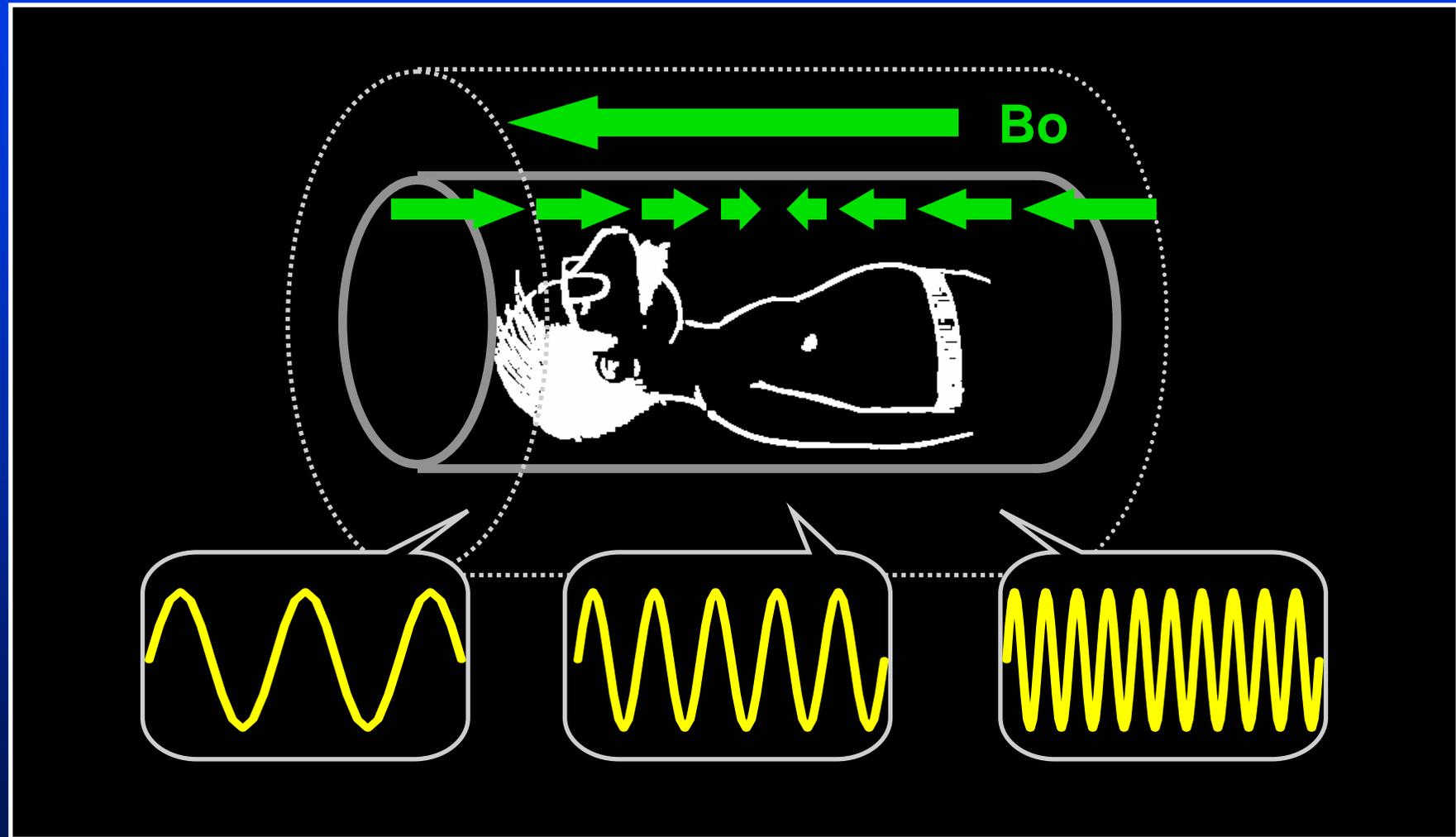
選擇性激發單一切面

- 信號激發前提：
 - **B1 旋轉磁場頻率 = Larmor freq**
- 磁場強度隨位置變化時，**Larmor freq** 處處不同

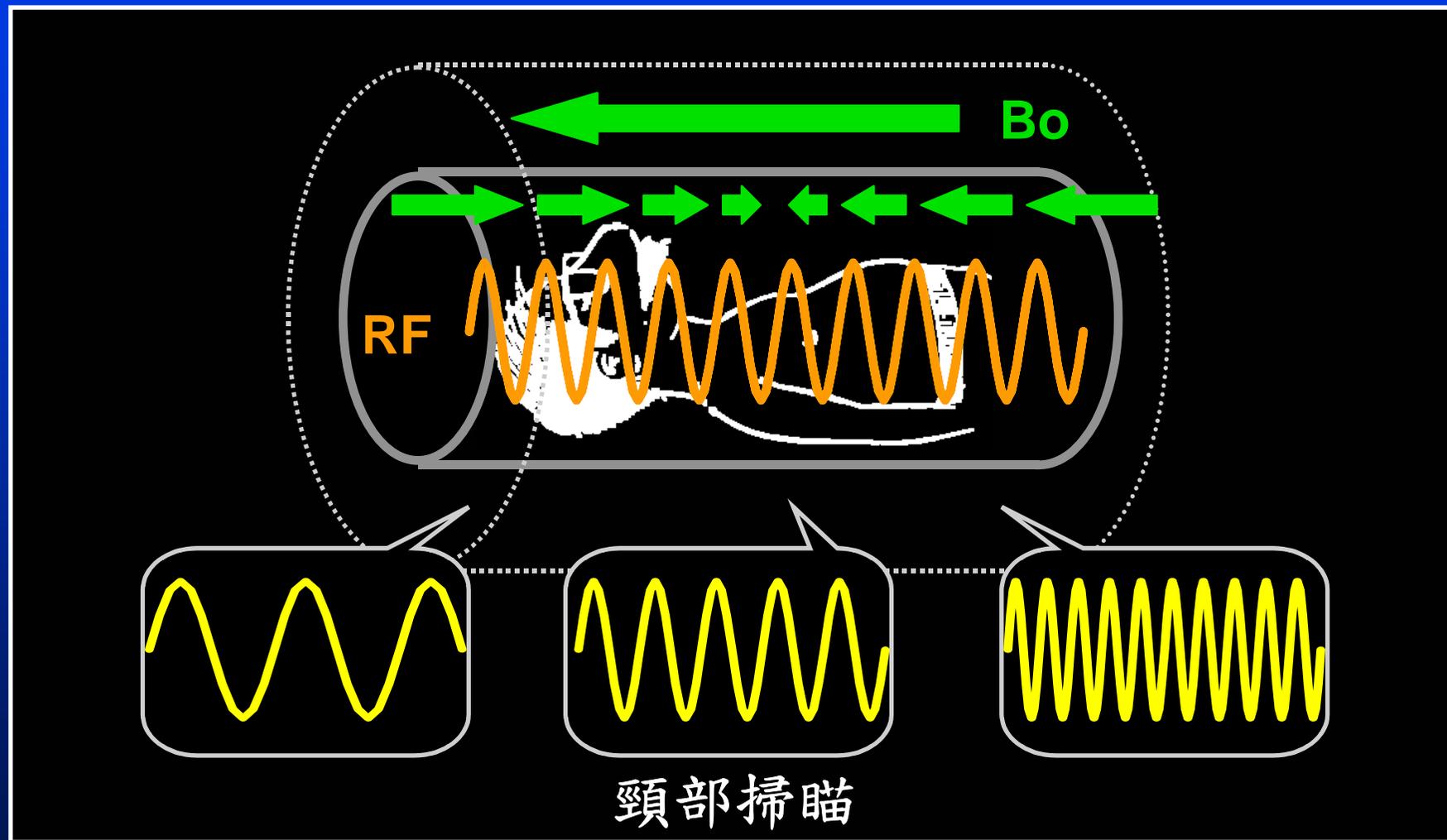
製造“隨位置改變”的磁場



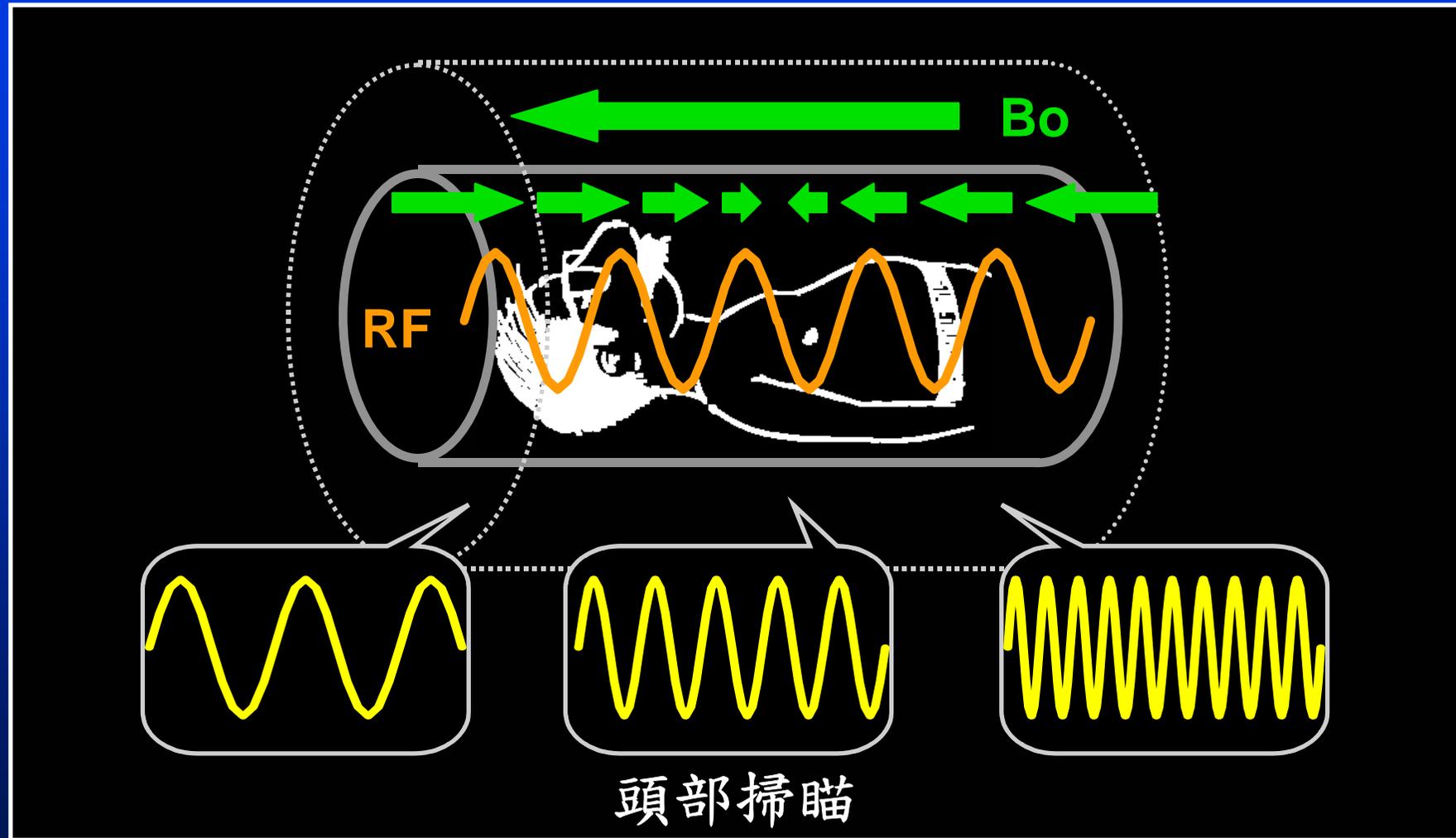
共振頻率因而亦“隨位置改變”



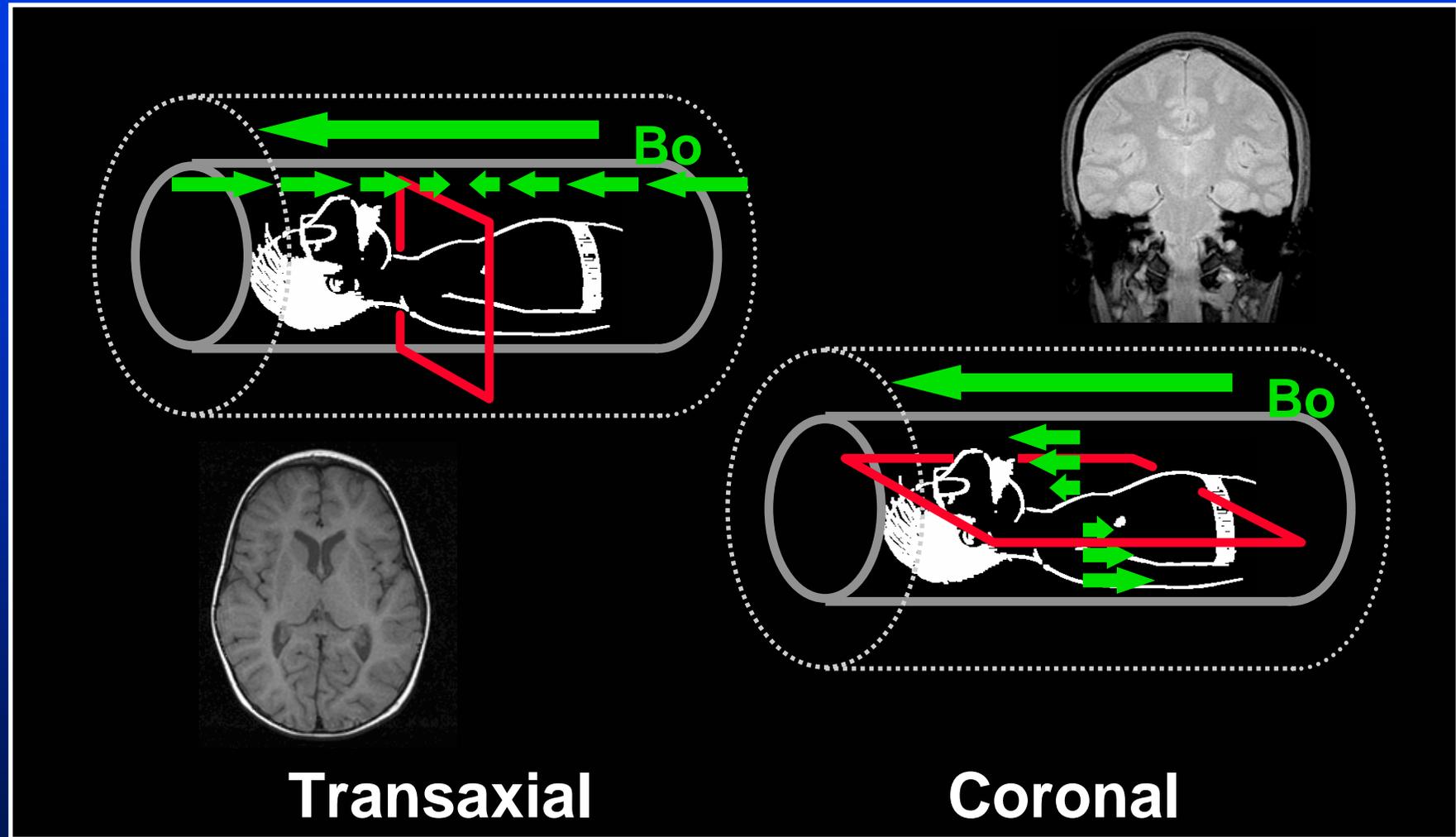
射頻脈衝只激發頻率相同的氫原子核



調整射頻脈衝頻率 選擇欲激發的切面



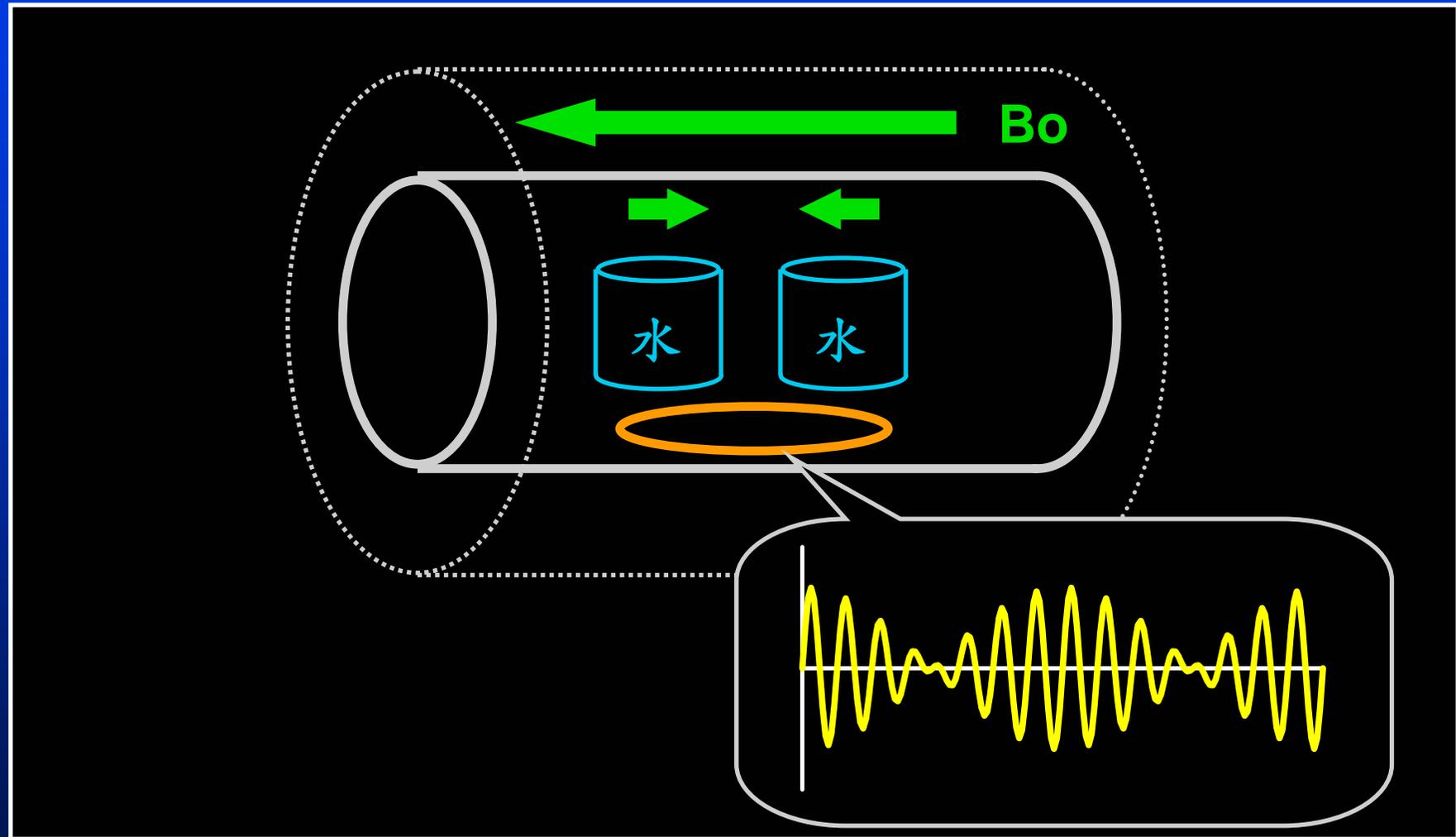
切面方向彈性也大



信號接收的空間編碼

- 所接收信號的頻率 = 磁鐵旋進頻率
- 磁場強度隨位置變化時，旋進頻率也處處不同
- 位置訊息融入頻率中

線圈收到的 MRI 信號



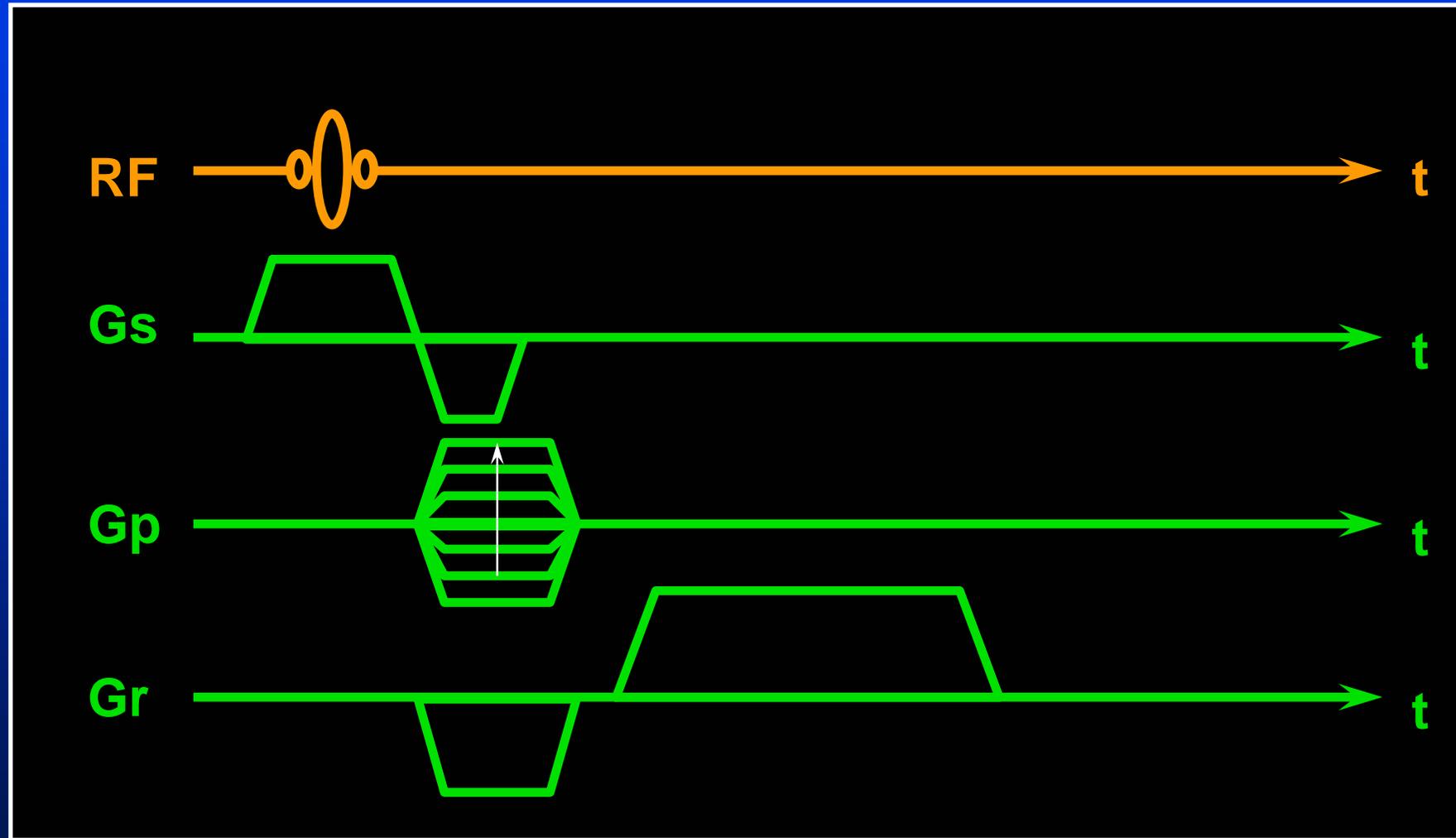
如何計算 MR 影像？

- 頻率 = 位置
- 計算頻譜 = 計算影像
- 傅立葉轉換 **Fourier transform**
- 一般使用 **array processor**

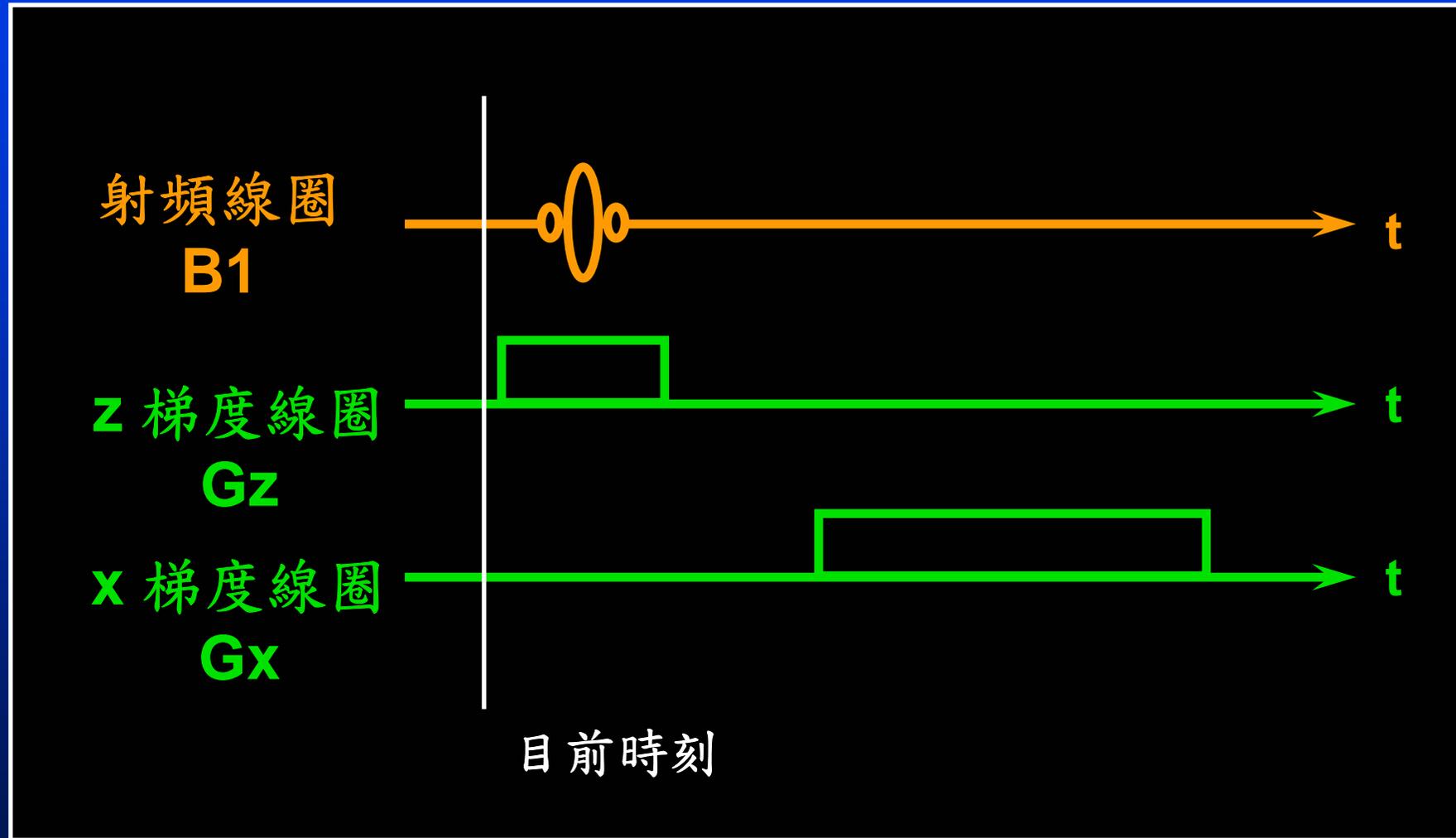
激發與接收之間的配合

- 激發與接收同樣利用局部變化磁場，如何加以區隔？
- 別急，不同時間開啟關閉就好了
- **Pulse sequence (脈衝序列)**

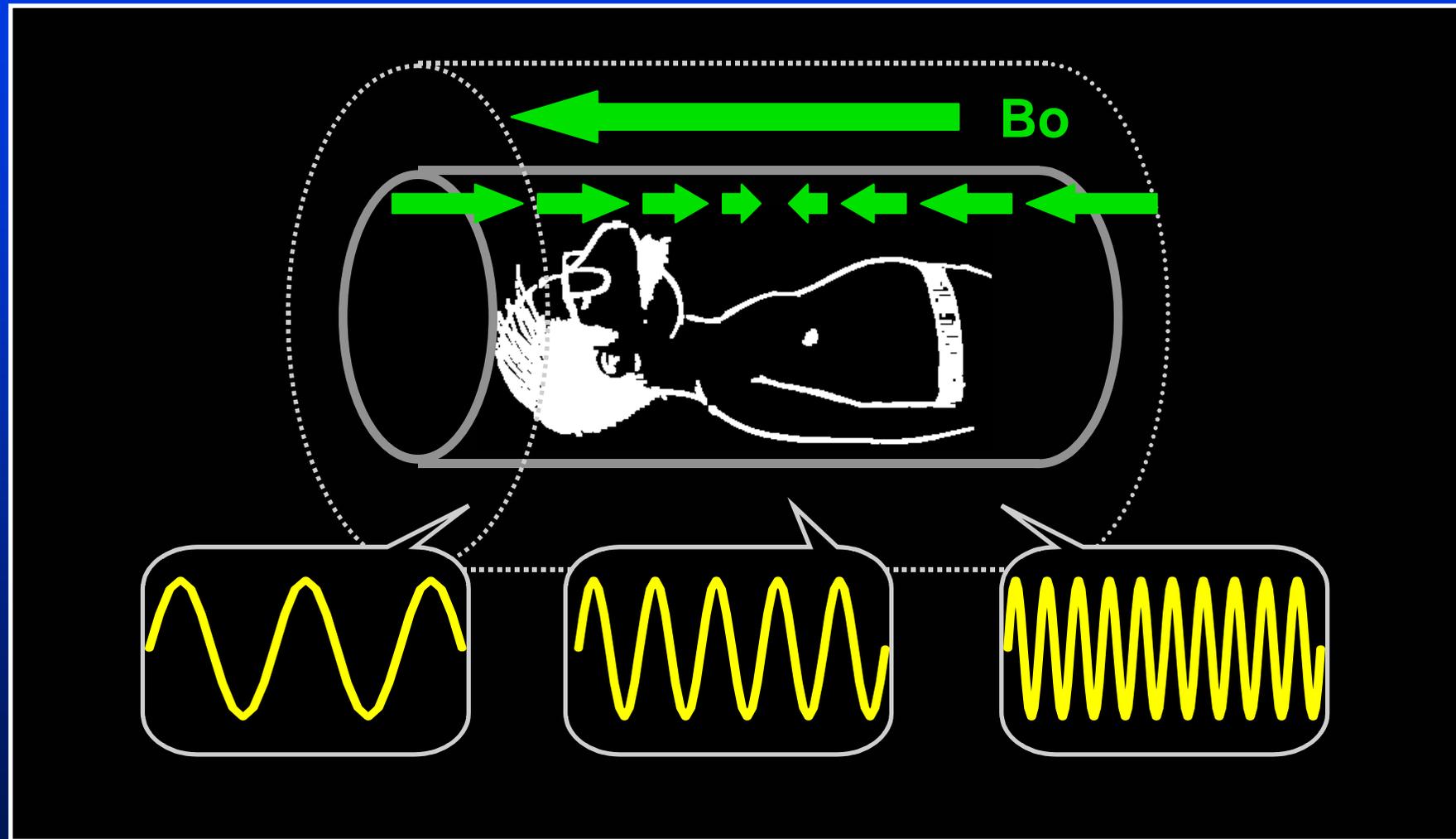
梯度迴訊 (Gradient Echo)



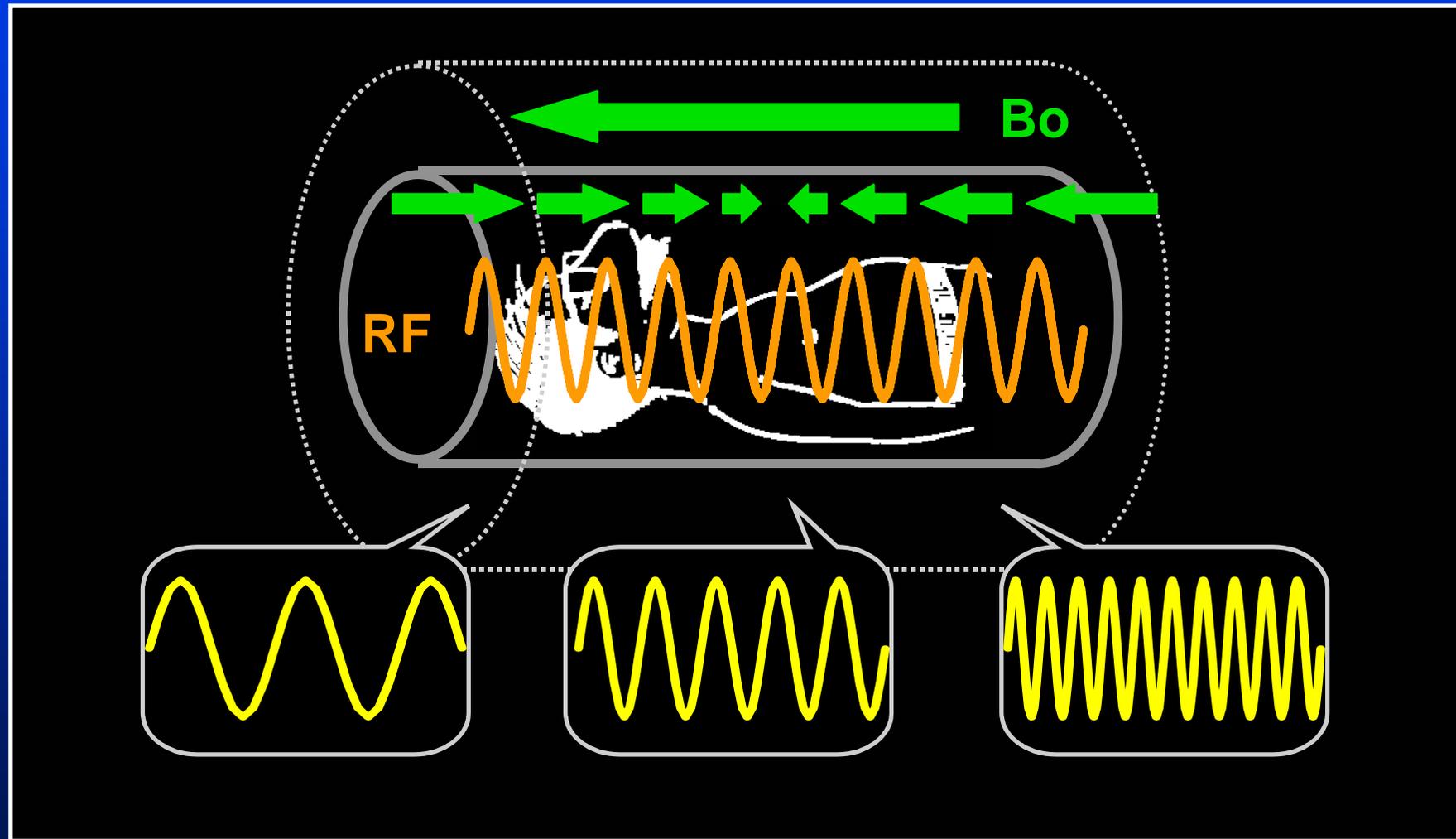
稍微簡化一下



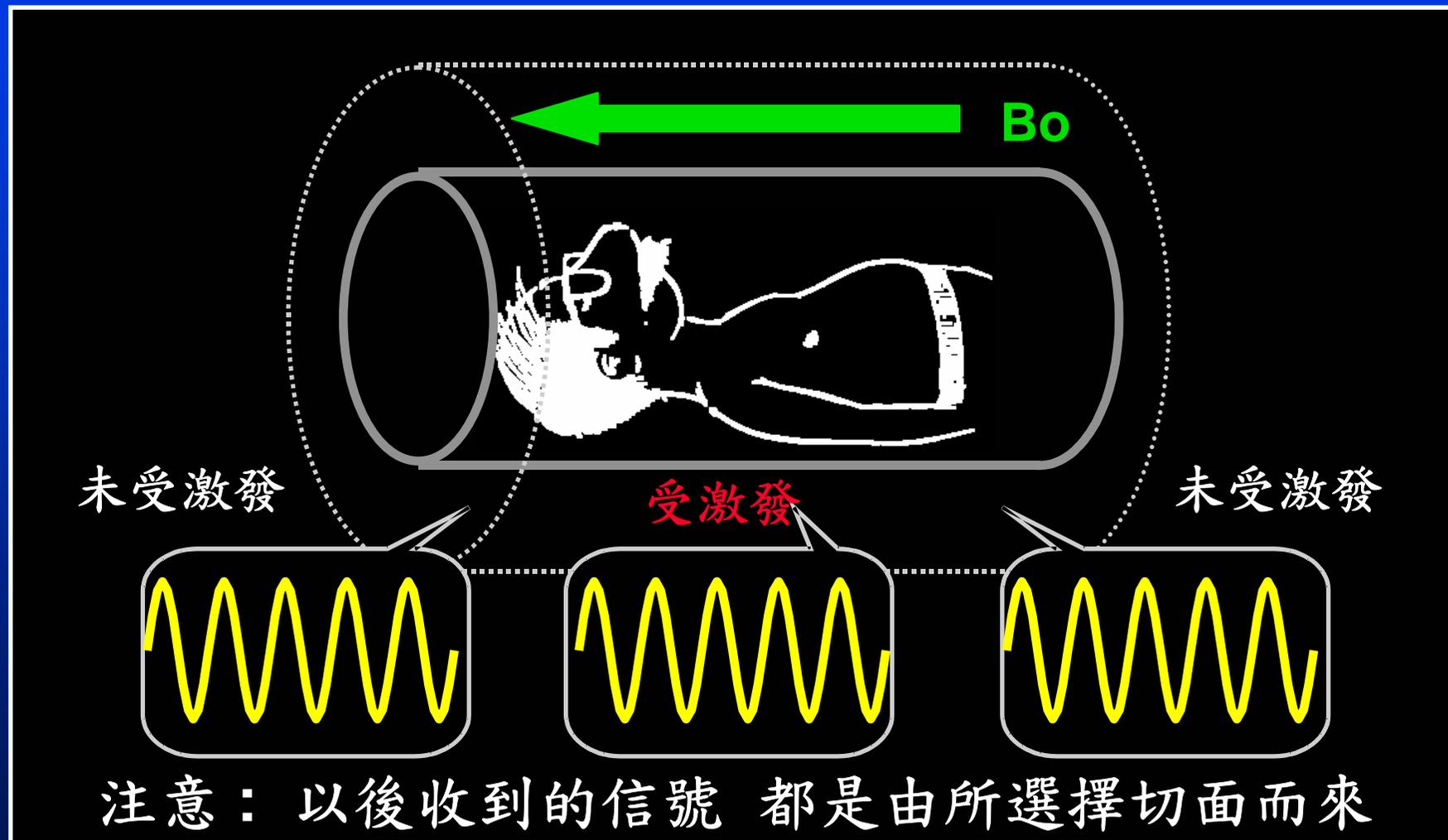
共振頻率隨 z 位置而變化



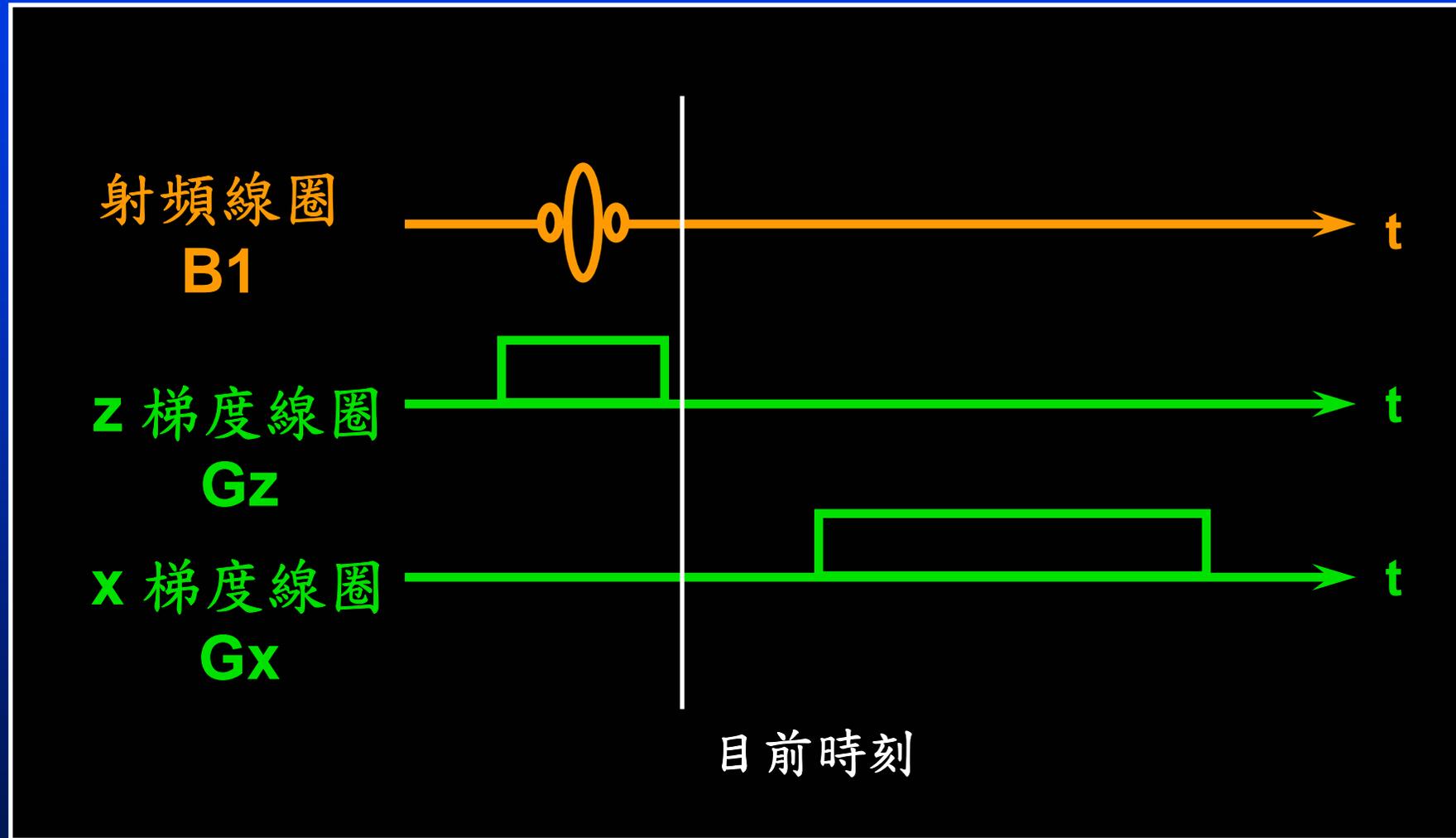
射頻激發 Axial 切面



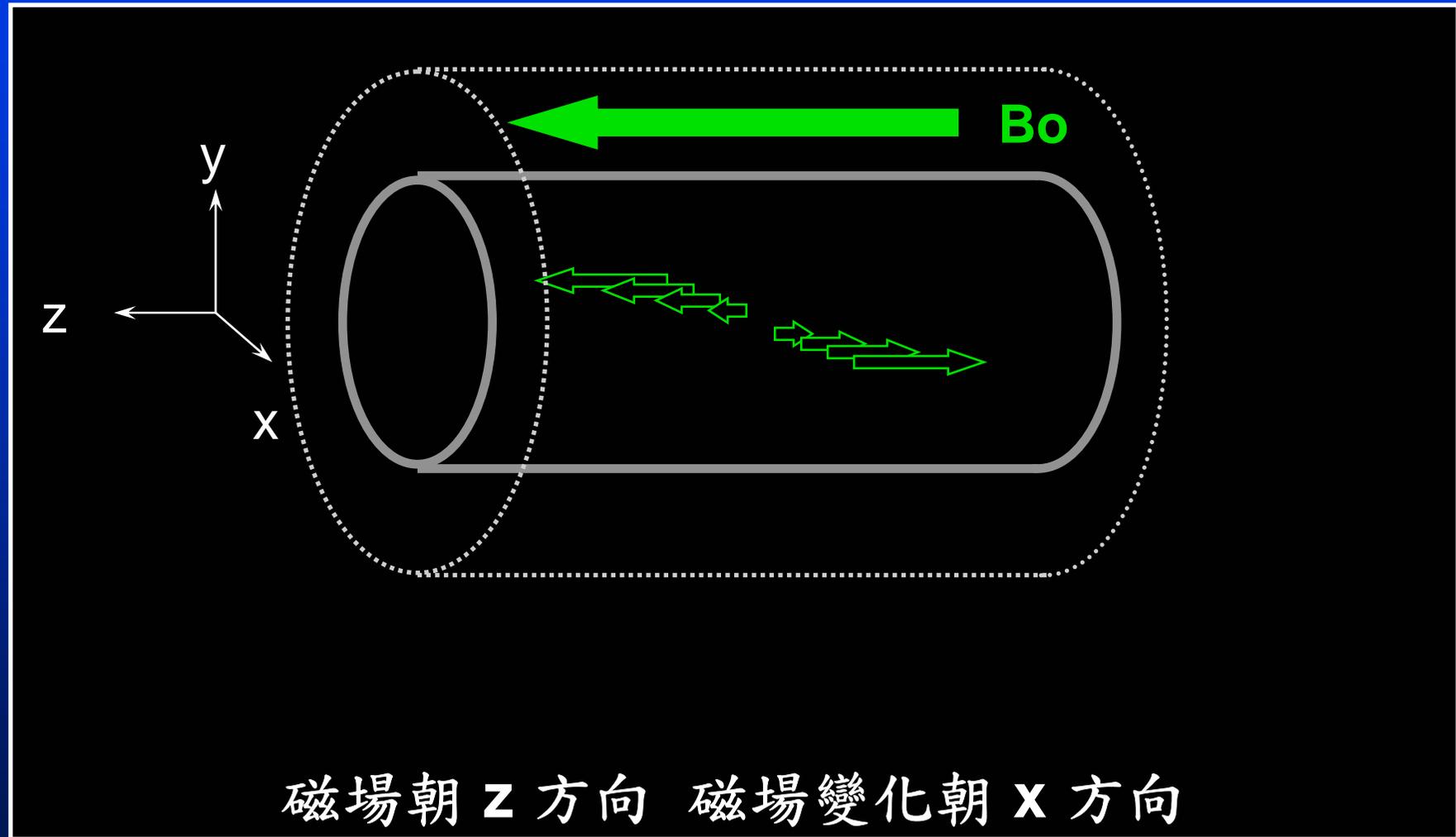
z 梯度關閉，共振頻率回歸統一



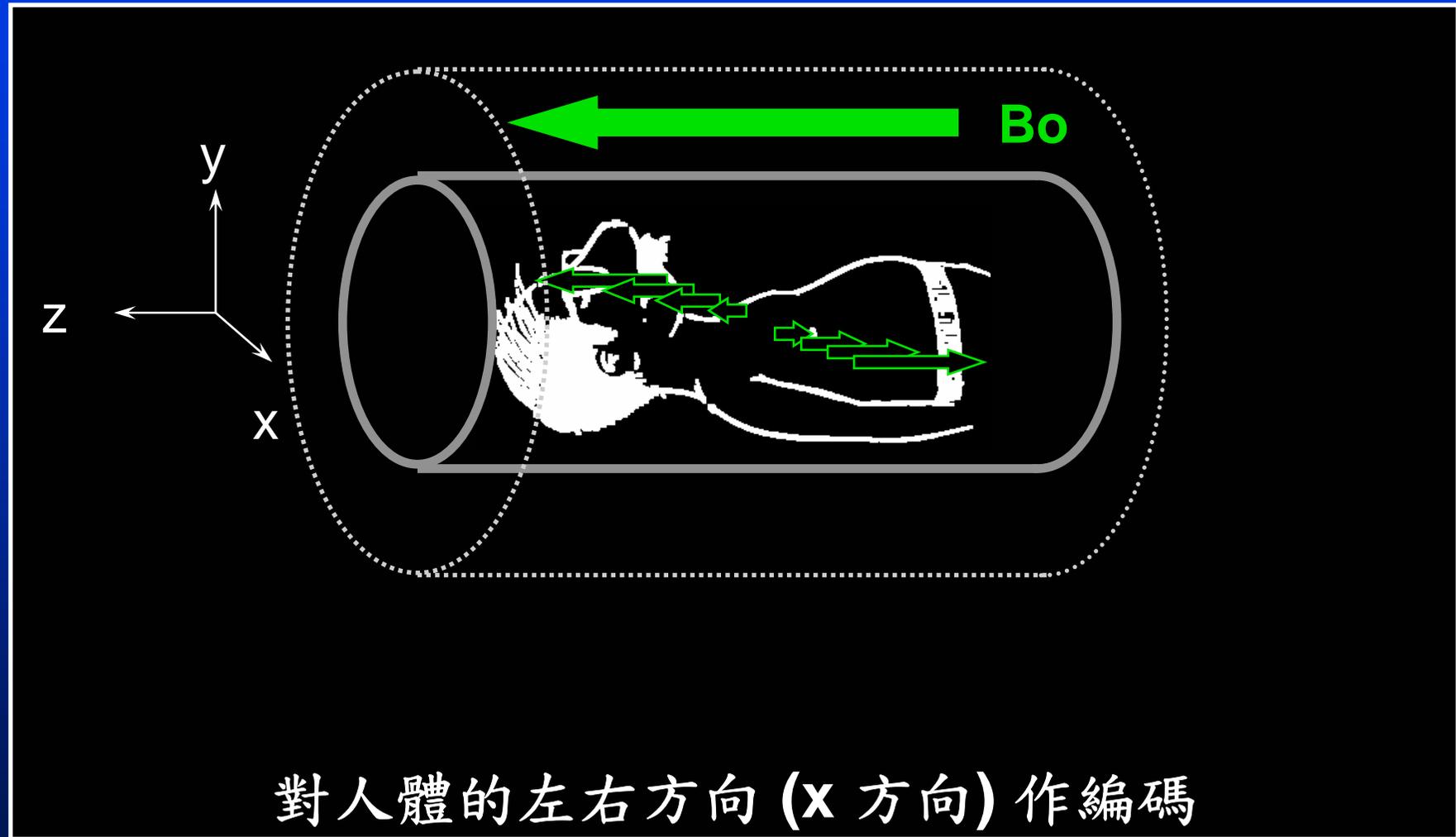
脈衝序列



開 X 梯度

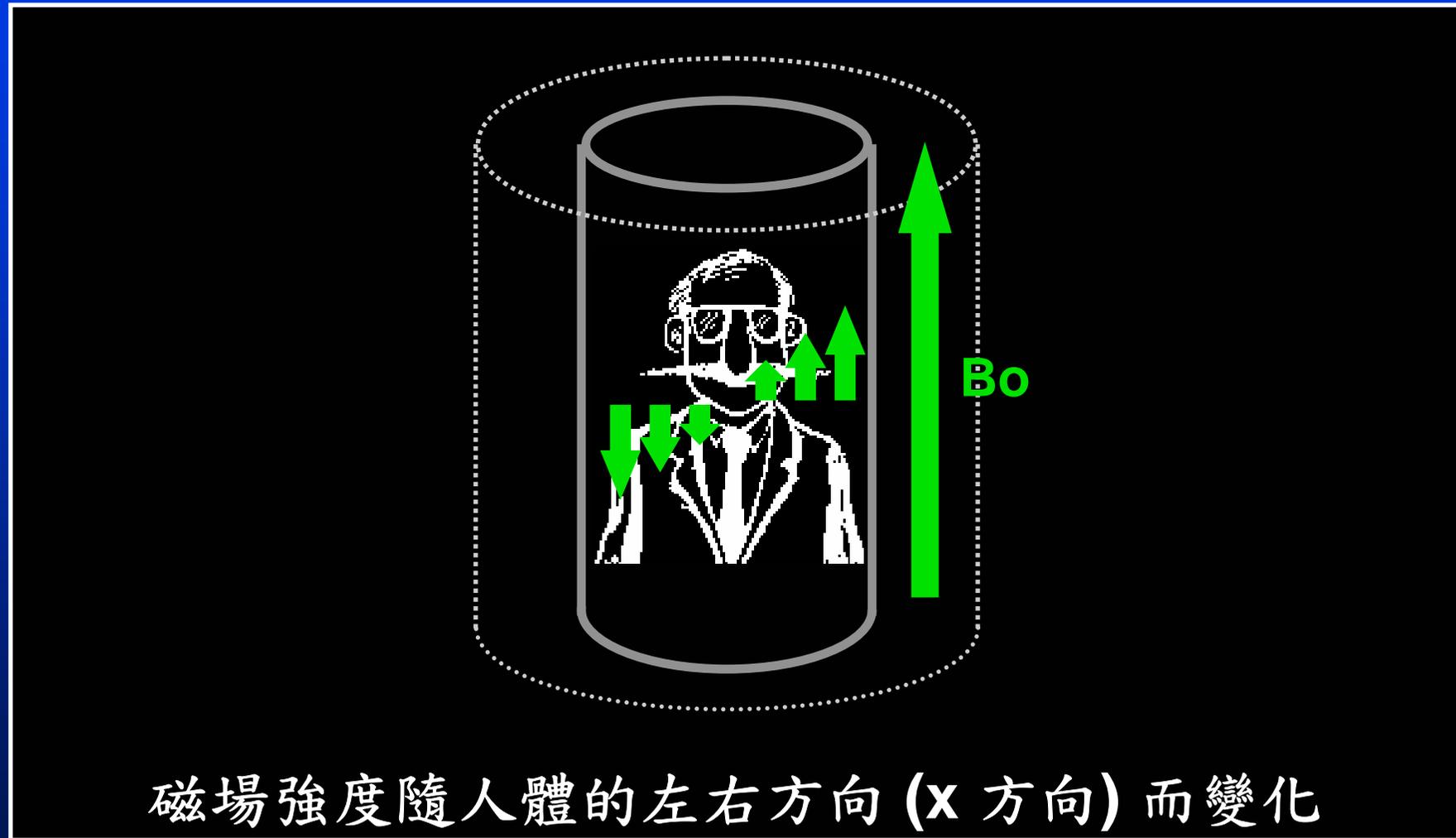


開 X 梯度

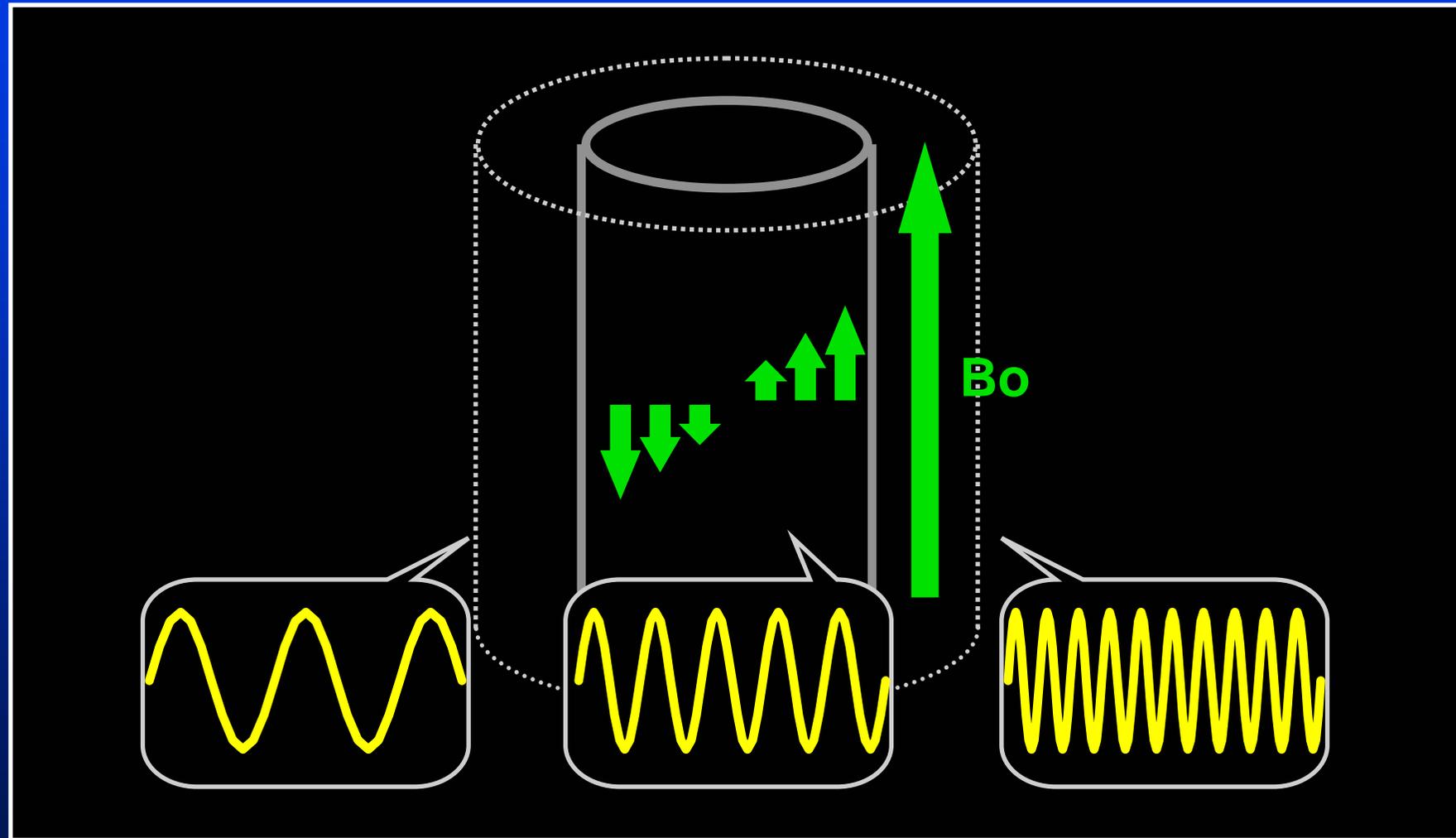


對人體的左右方向 (X 方向) 作編碼

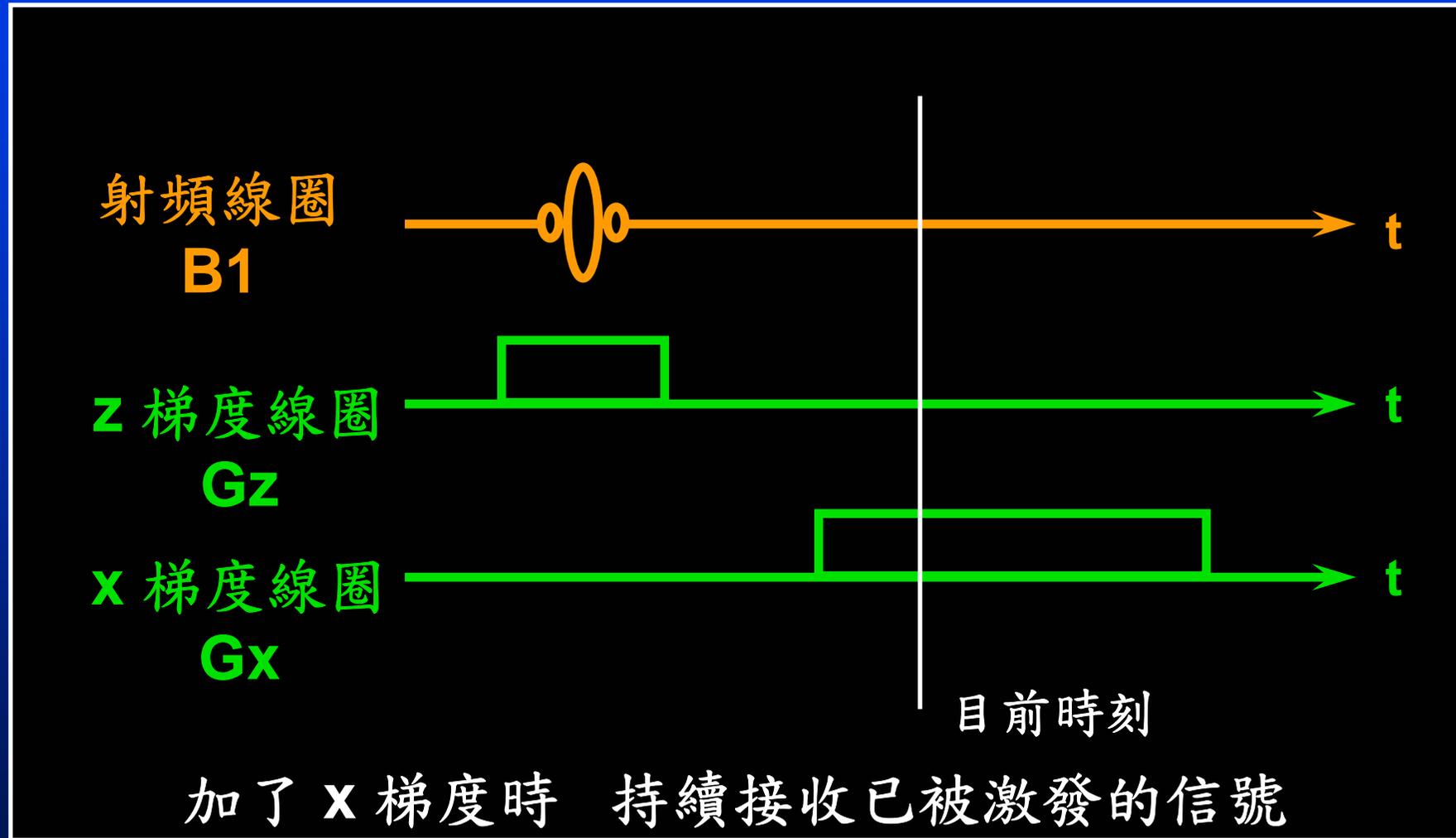
轉個方向來看



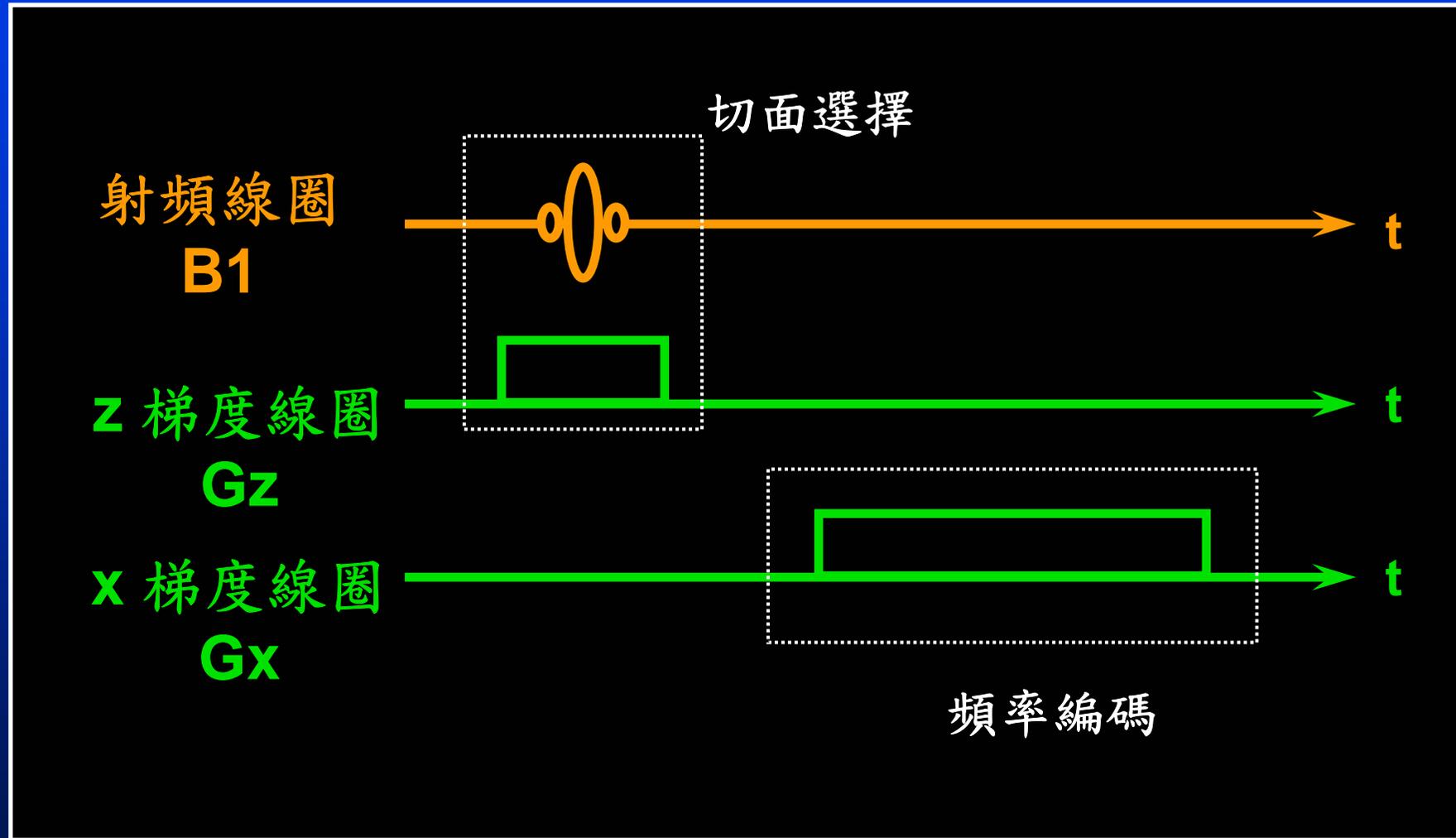
氫原子核旋進頻率隨 x 位置而變化



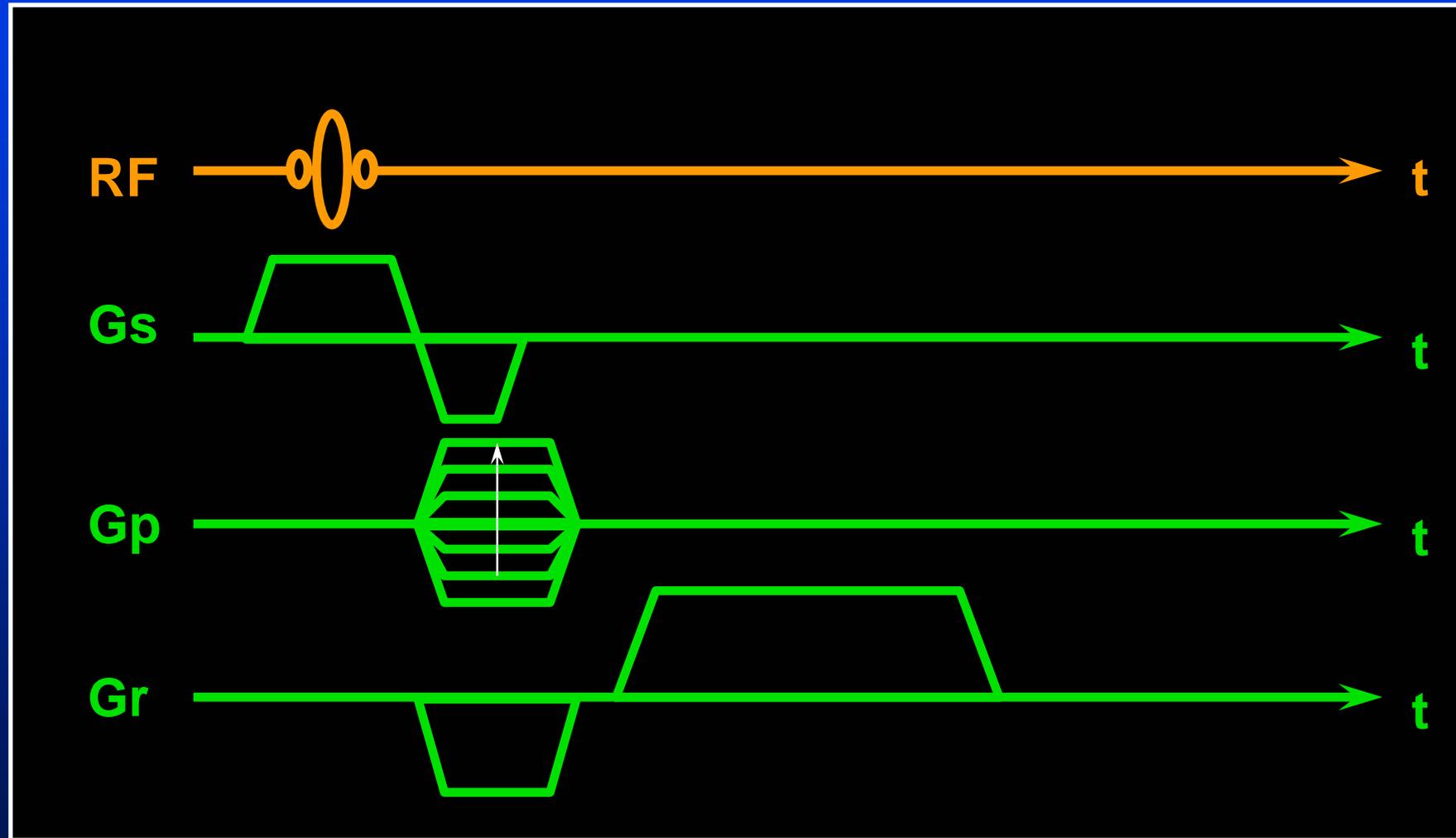
脈衝序列



脈衝序列



梯度迴訊 (Gradient Echo) 完整版



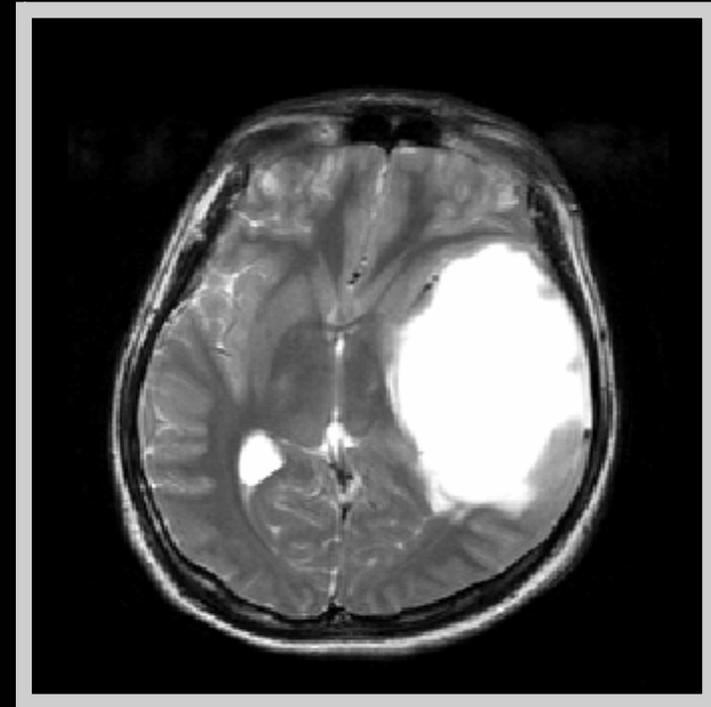
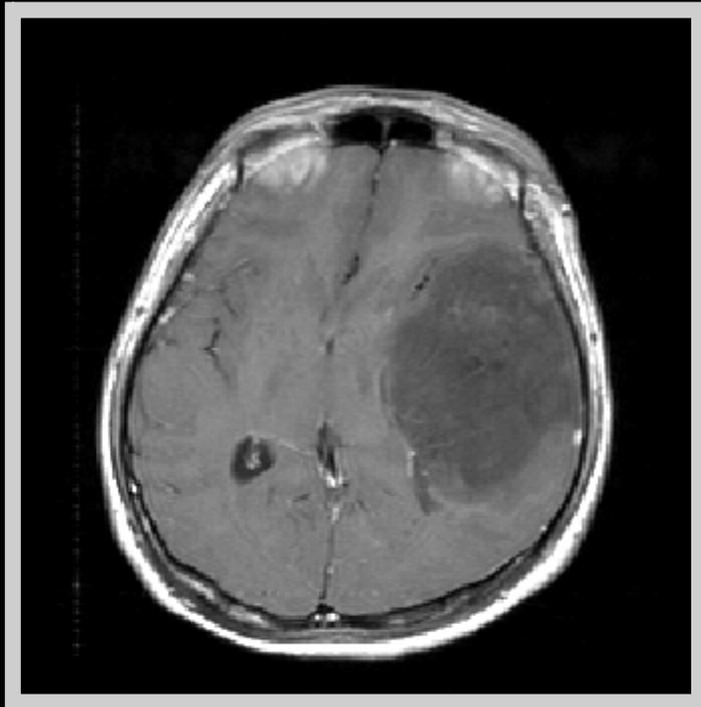
核磁共振的衍生

- **NMR** 被用來作影像
- 當時是利用類似 **CT** 原理重建影像
- 現在直接使用 **2D** 傅立葉轉換
- 物理至此納入了數學

跟人類健康又有什麼關係？

- 病態與正常組織特性是否不同？
- **Damadian**：癌症組織表現出特異弛緩現象 (relaxation)
- **MRI** 的重要功用：病灶對比

特異弛緩現象 凸顯腫瘤病灶



神經膠質瘤 (glioma) T1- & T2- 比重影像

核磁共振的衍生

- **NMR** 被用來凸顯病灶
- 病灶還可利用影像測知位置
- 物理至此進入了臨床診斷

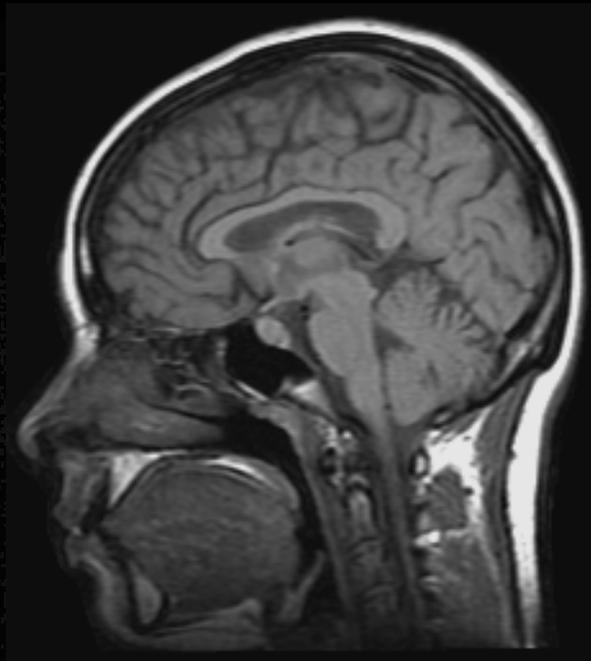
型態是最基本的診斷根據

- 多方向的斷層掃描提供方便的 **view**
 - **Transaxial**、**coronal**、**sagittal**、
甚至斜角度、多角度切面

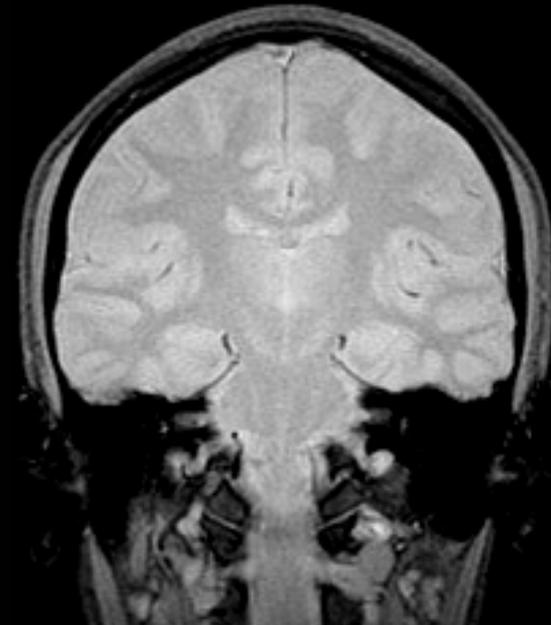
MRI 的多方向扫描



Axial



Sagittal



Coronal

用途非常直接：椎間盤突出

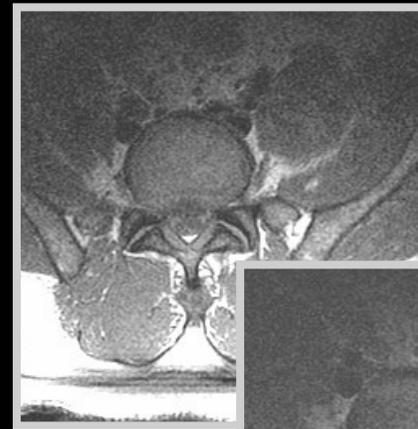
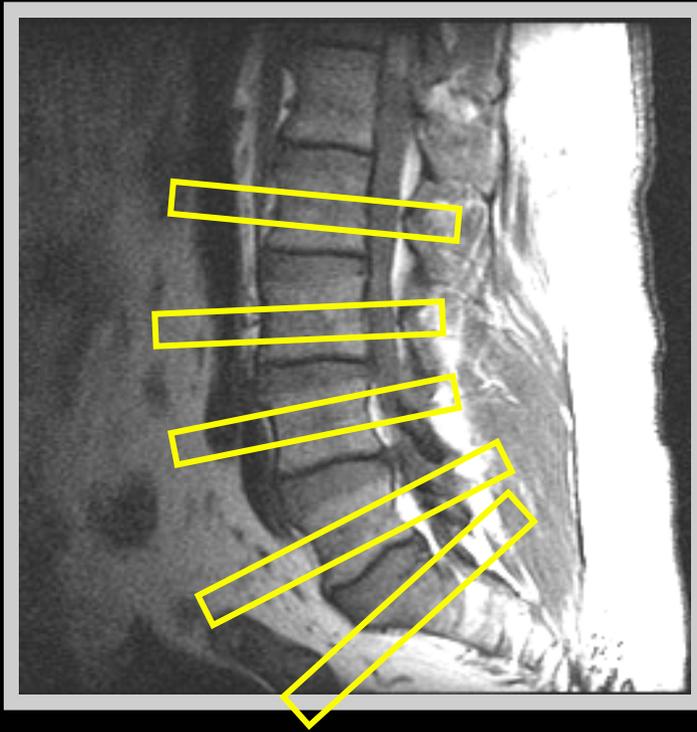


病患平躺 (recumbent)



直立 (weight bearing)

甚至可以同一次內多角度掃瞄



lumbar



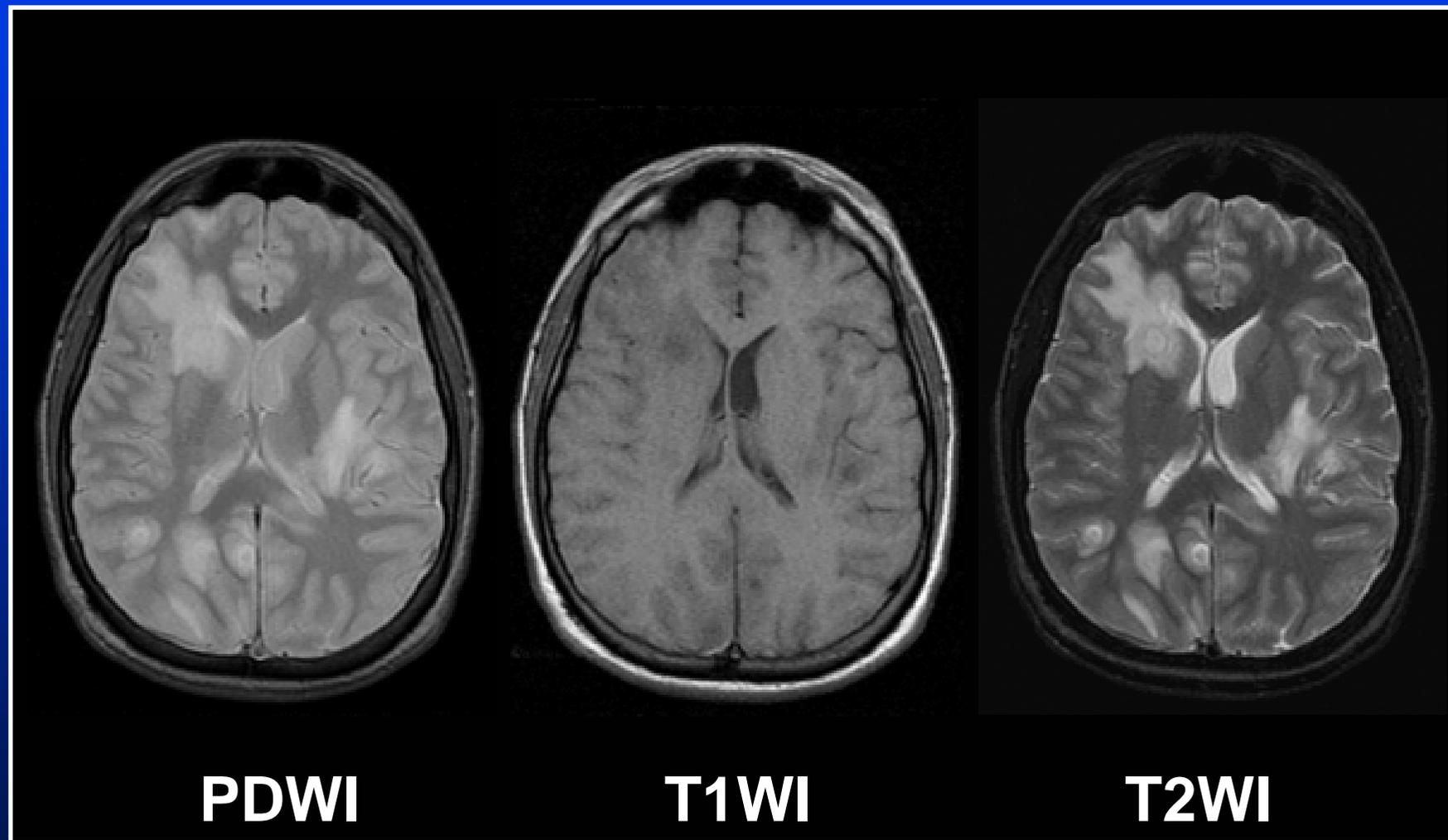
sacrum

對脊椎掃瞄特別有用

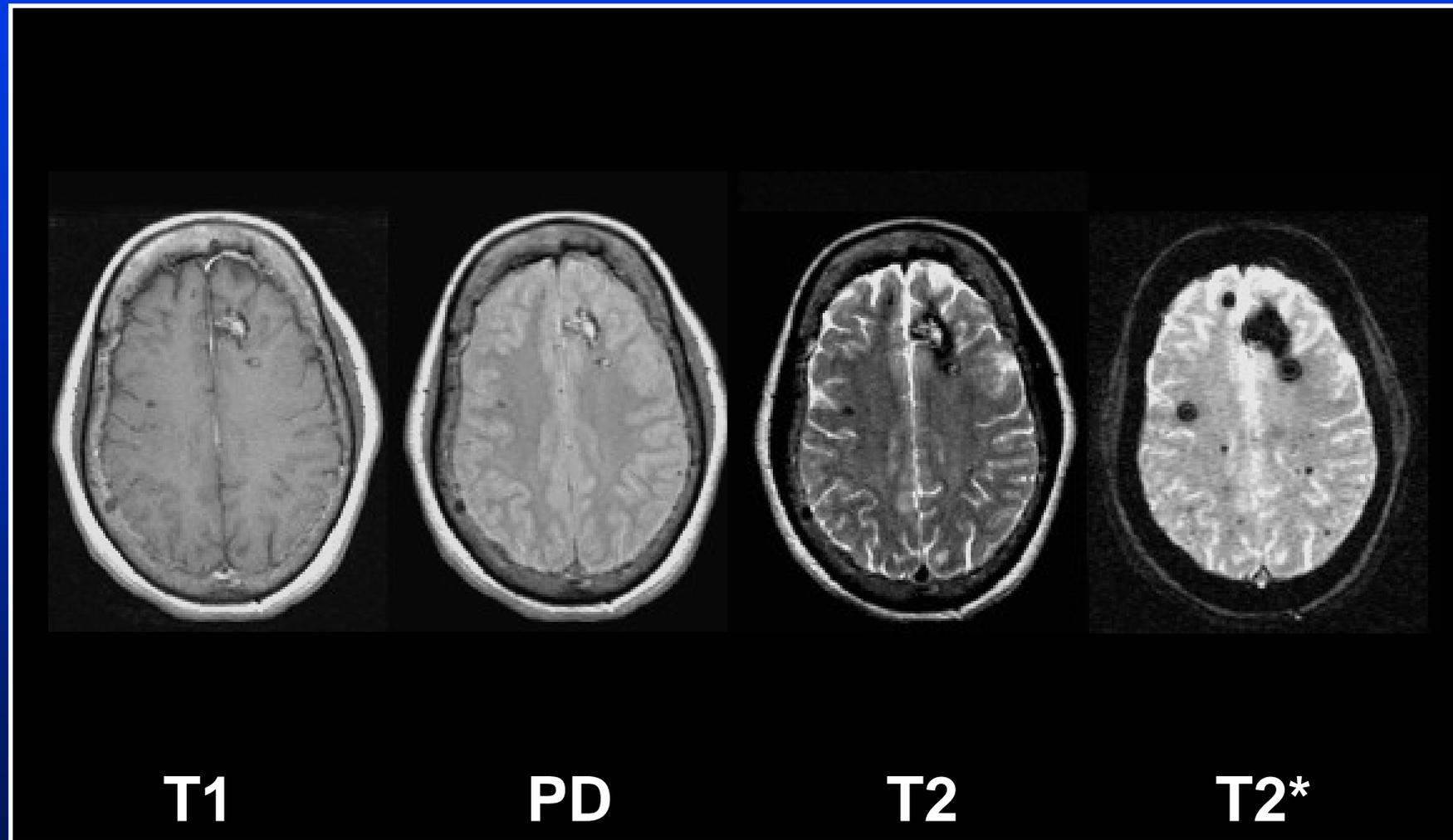
MRI 的診斷資訊

- 軟組織對比 (brain)
 - T1、T2、質子密度 ...
 - 與 CT 提供不同的資訊
- 獨特之鑑別病灶能力

MRI 的腦部影像對比



腦部的 MRI 影像對比 (hemorrhage)



而且還不用經過這種手續 ...



來！我們看看你的心臟是否正常 ... 看一下就好

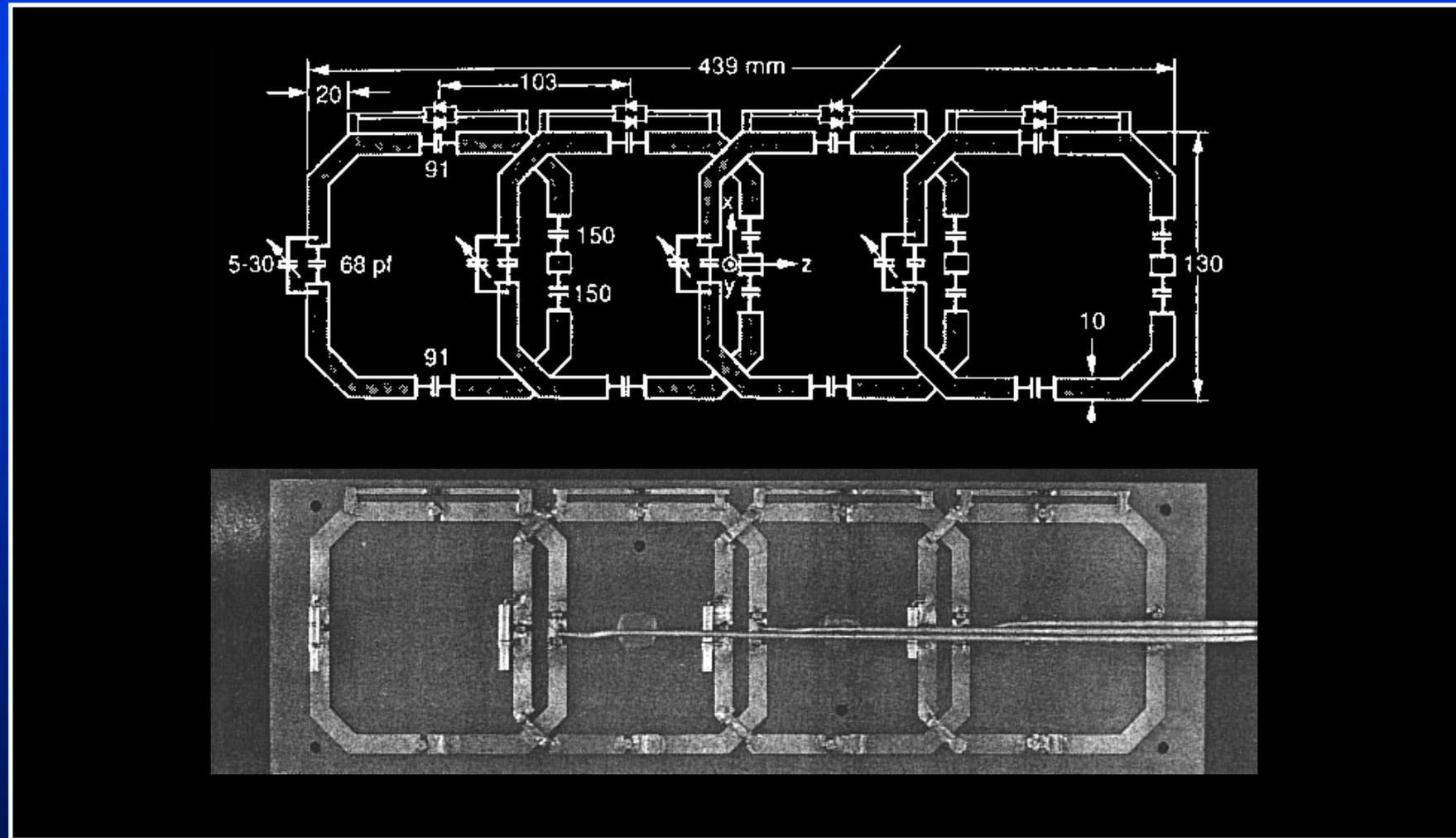
人類健康帶來了商機

- 醫療儀器廠商積極推動研發
- **MRI** 由原形機逐步成為成熟商品
- 物理至此納入了工程

幾個典型的技術改良

- 系統穩定度
- 信號雜訊比的增加
- 掃描速度的提升
- 解析度的提高 ...

表面線圈陣列 (phased-array coil)

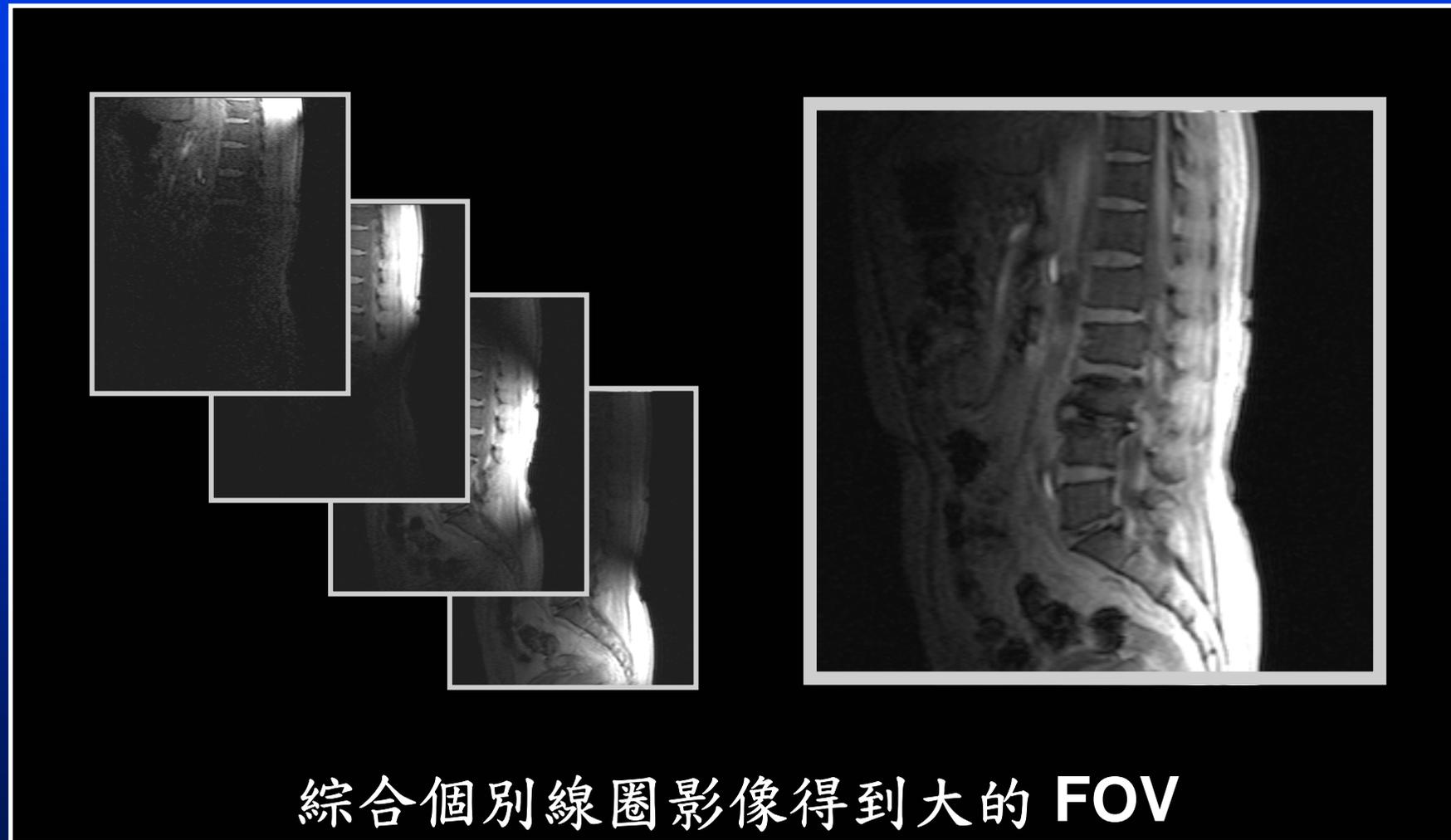


表面線圈陣列 (phased-array coil)

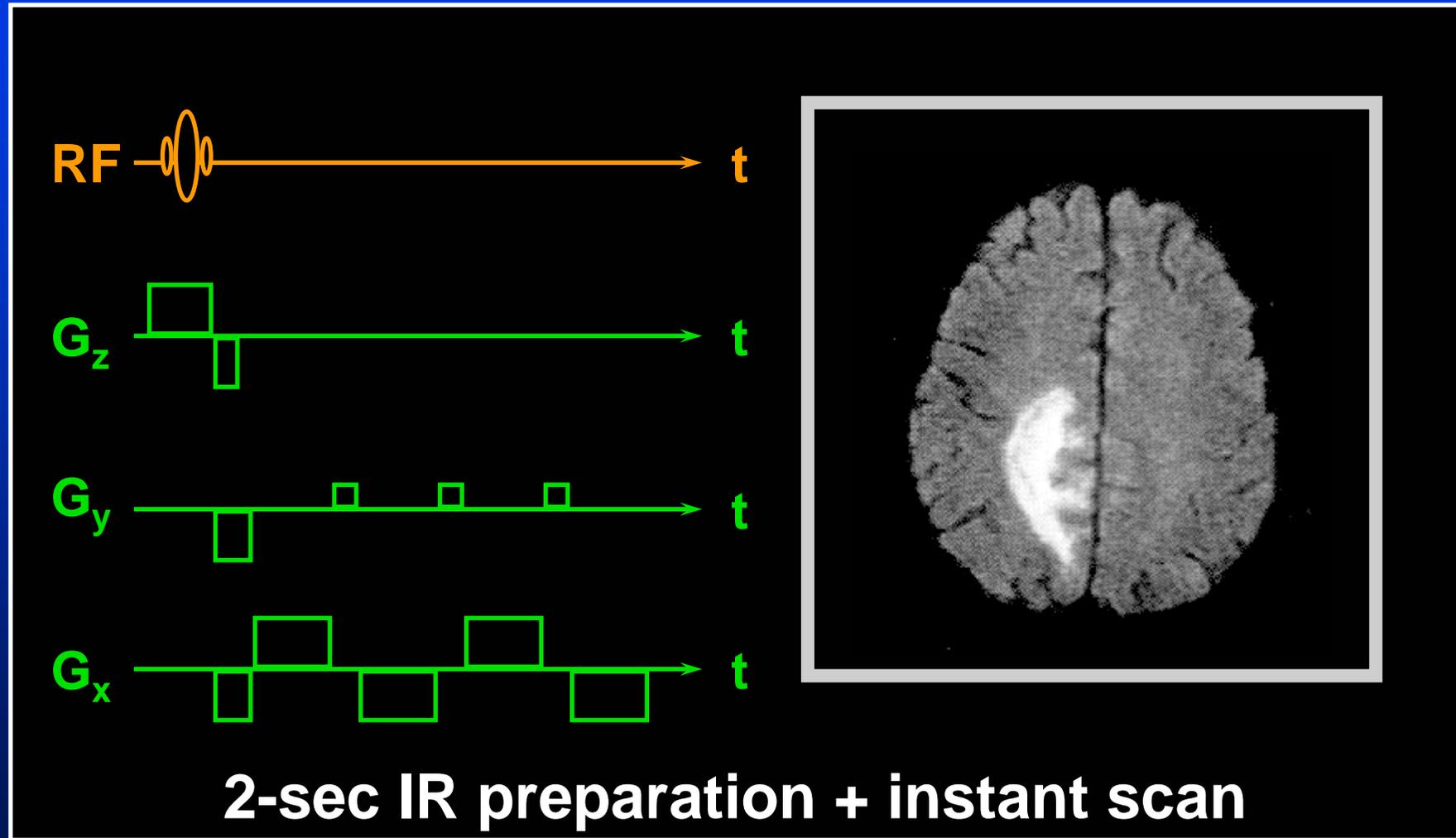


Spine phased array

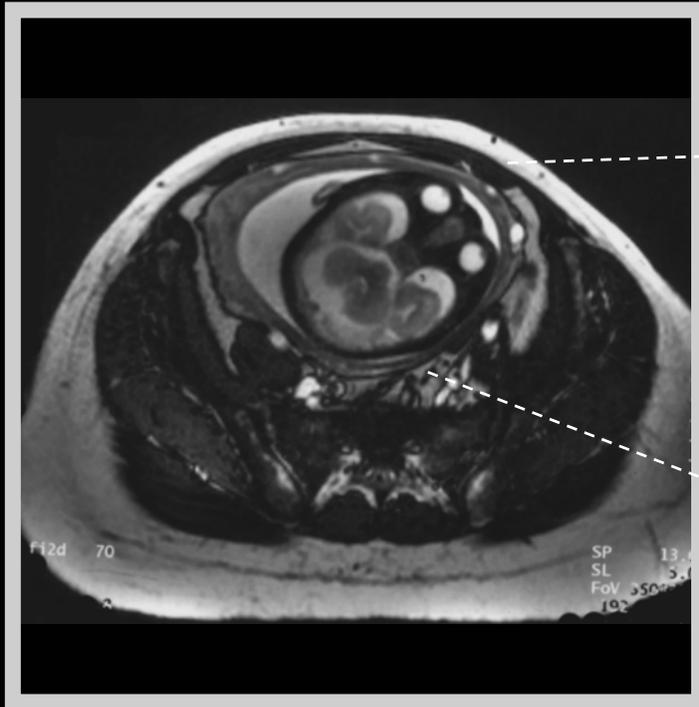
Spine Phased Array 的組合影像



掃描速度的改進 (EPI)

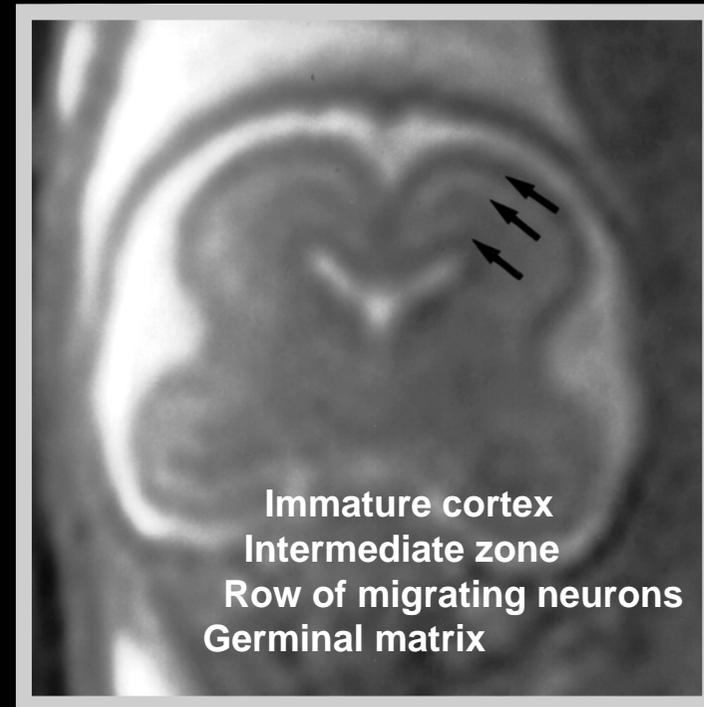
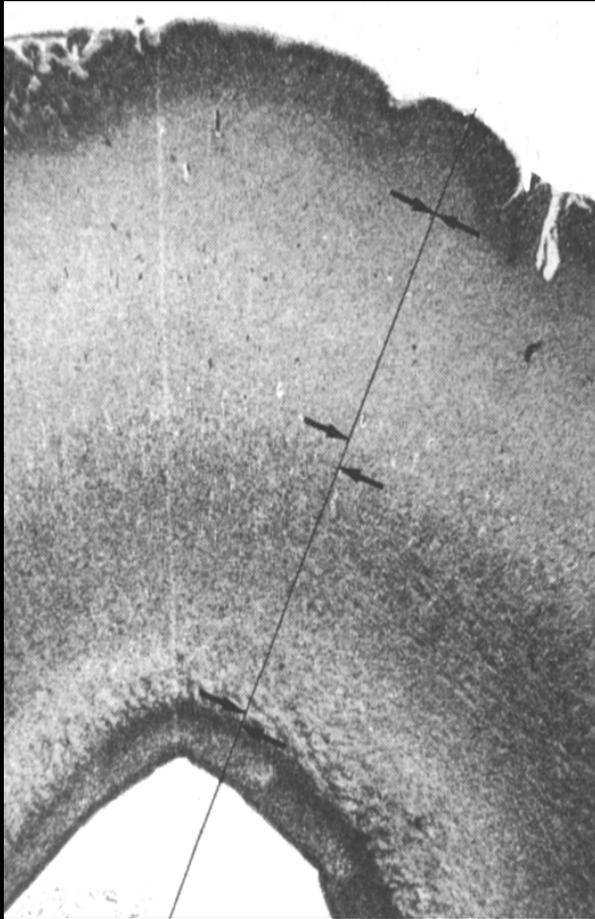


胎兒腦部髓鞘化 (myelination) 的 MRI



2D TrueFISP (1 sec scan)

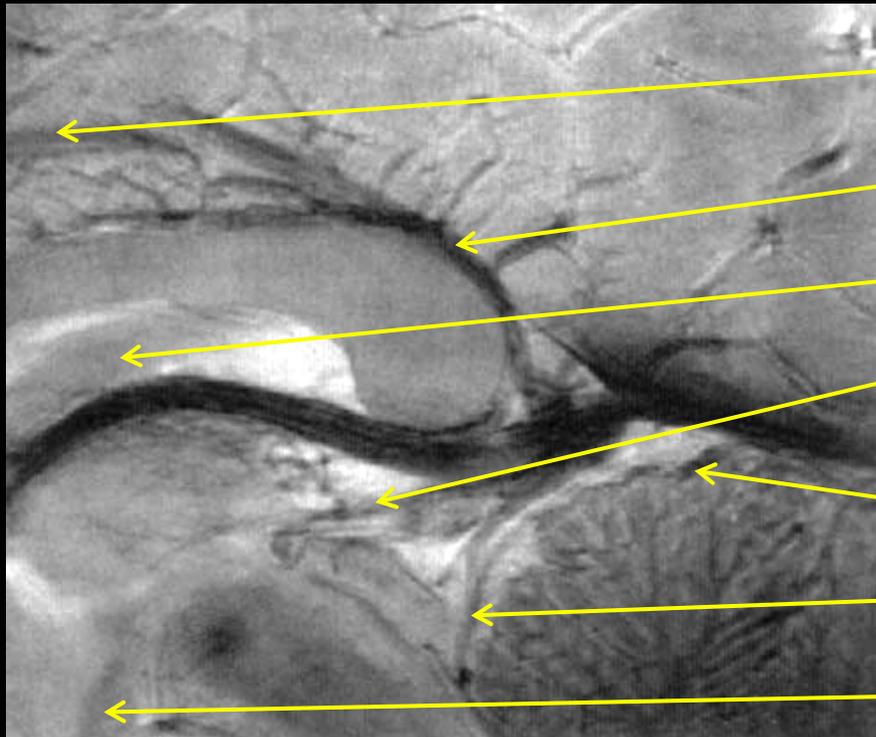
胎兒腦部 in utero MRI 與 Histology



Immature cortex
Intermediate zone
Row of migrating neurons
Germinal matrix

22 weeks gestation

影像解析度的提升 (< 0.2 mm)



inferior sagittal sinus

posterior pericallosal vein

fornix

epithalamic vein with
tributaries

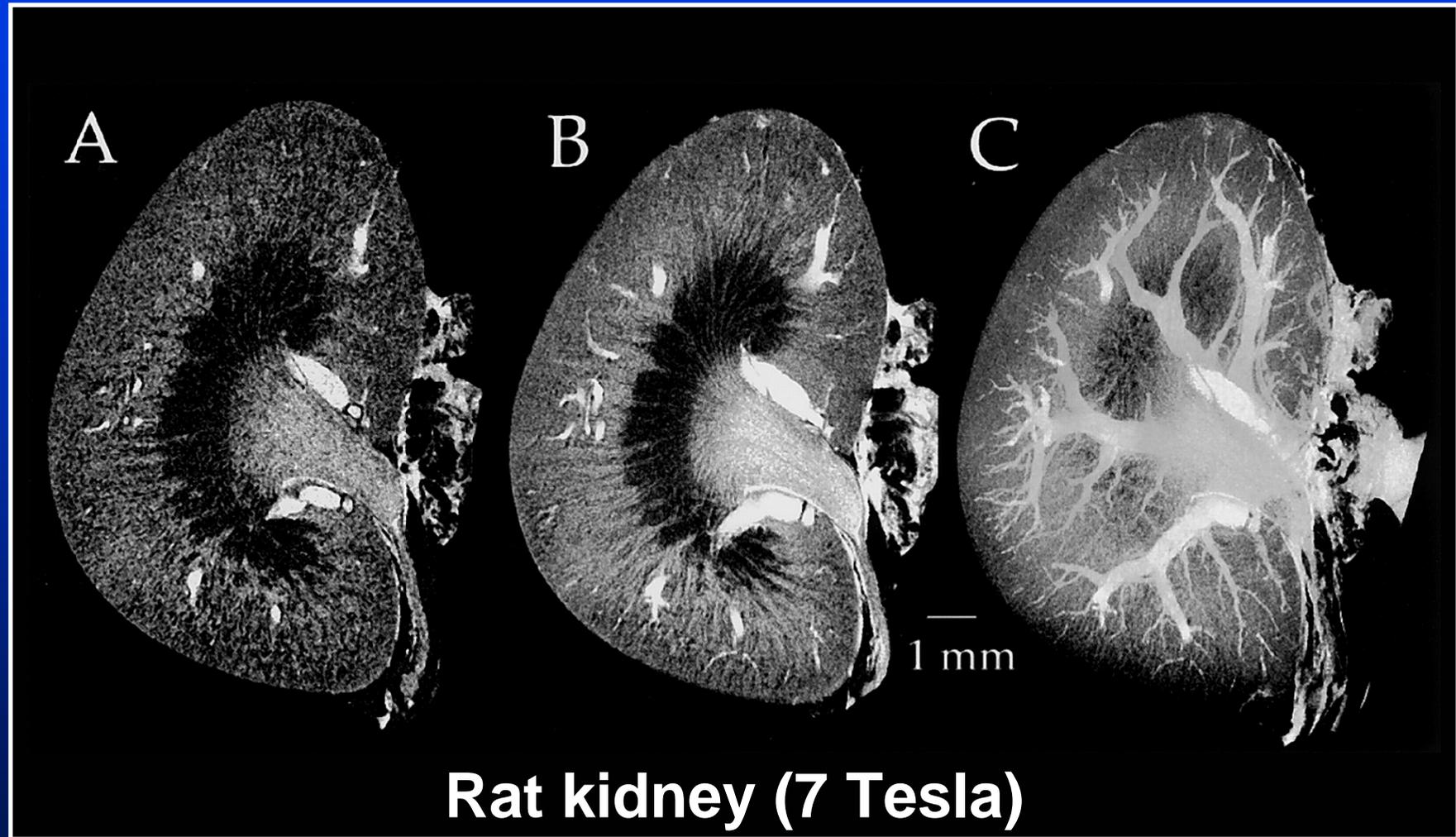
superior vermian vein

precentral cerebellar vein

mamillary body

腦部 sagittal slice 的一部份 (8 Tesla)

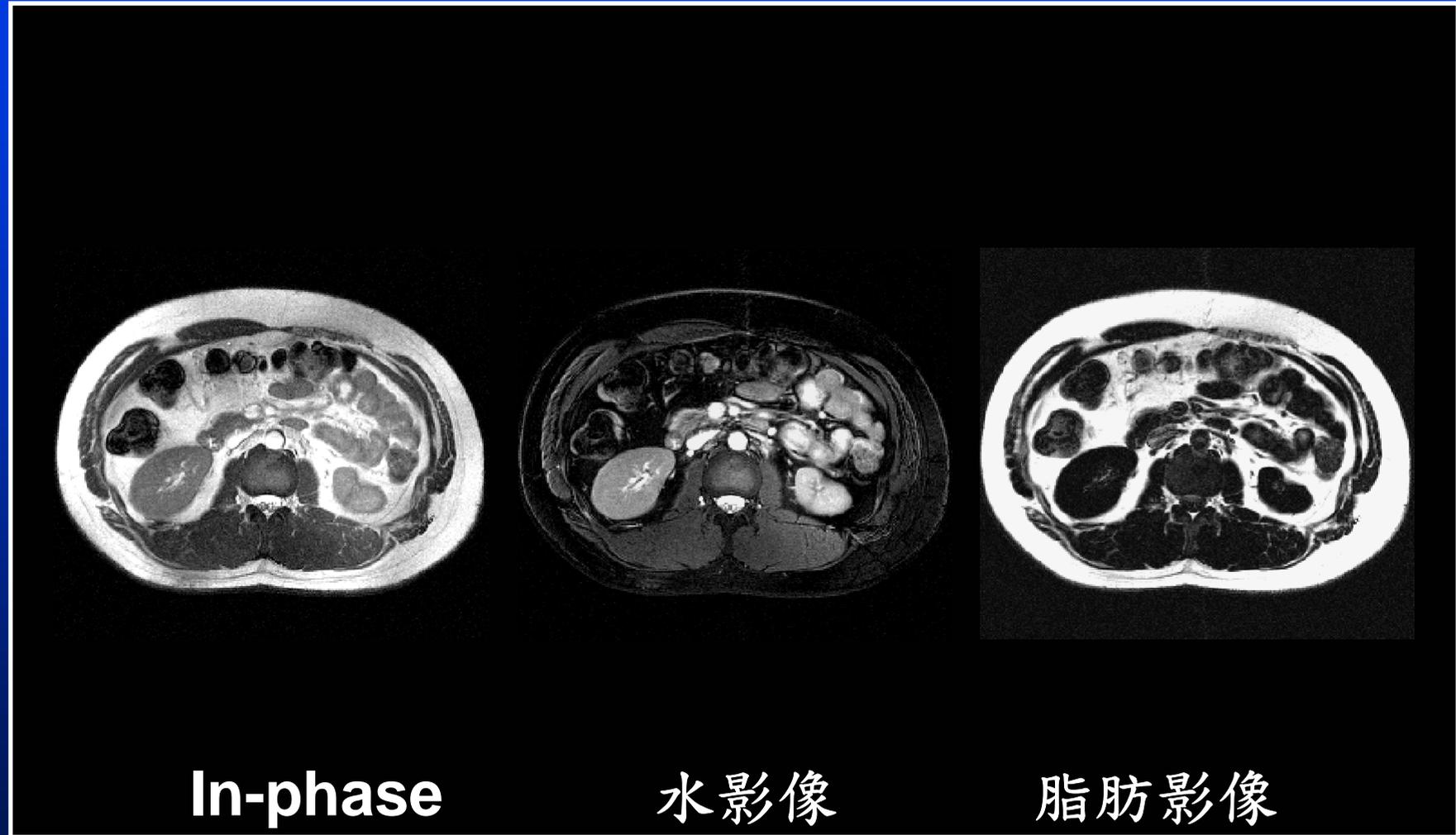
影像解析度的提升 (25 μm)



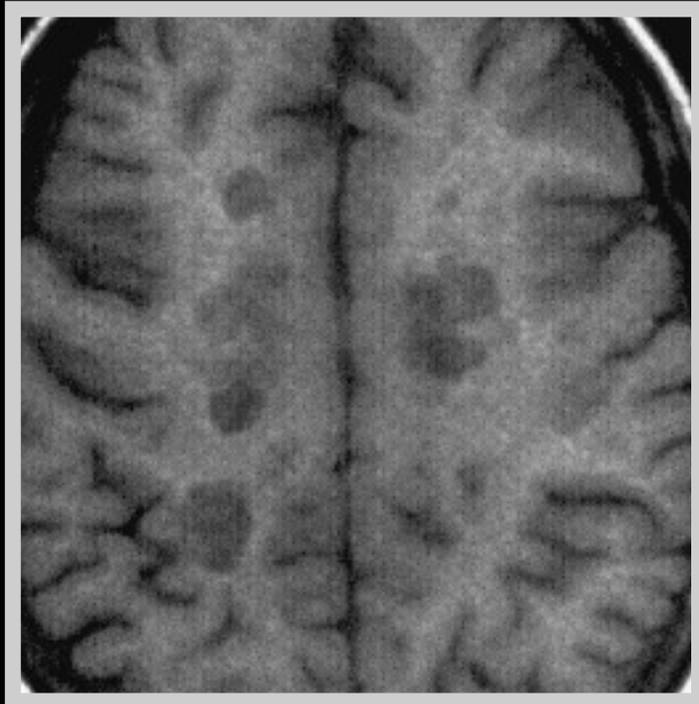
影像對比的變化

- 水性組織與脂肪組織的分辨
- 造影劑 (對比劑) 的使用
- 選擇性壓制部分組織信號
- 不需對比劑的 **MRA**

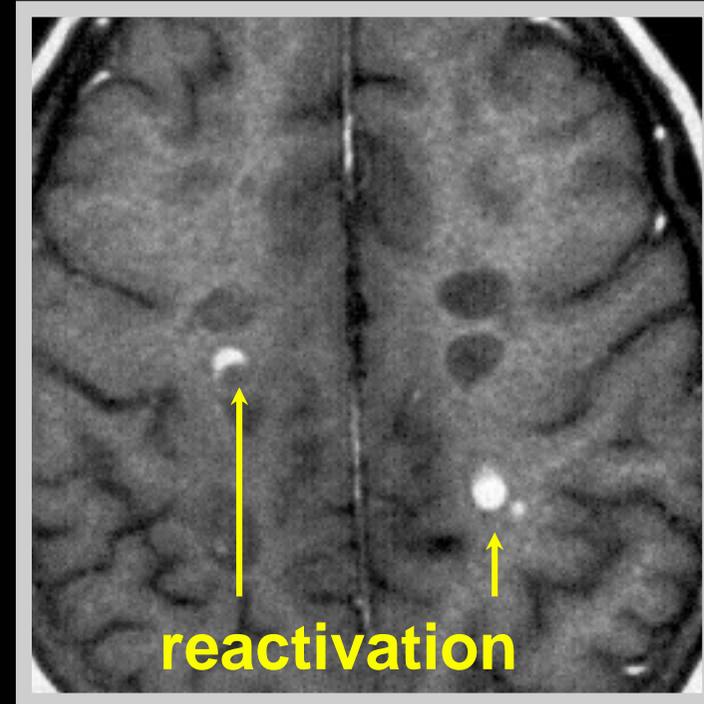
水影像 及 脂肪影像



多重硬化症 (Multiple Sclerosis)

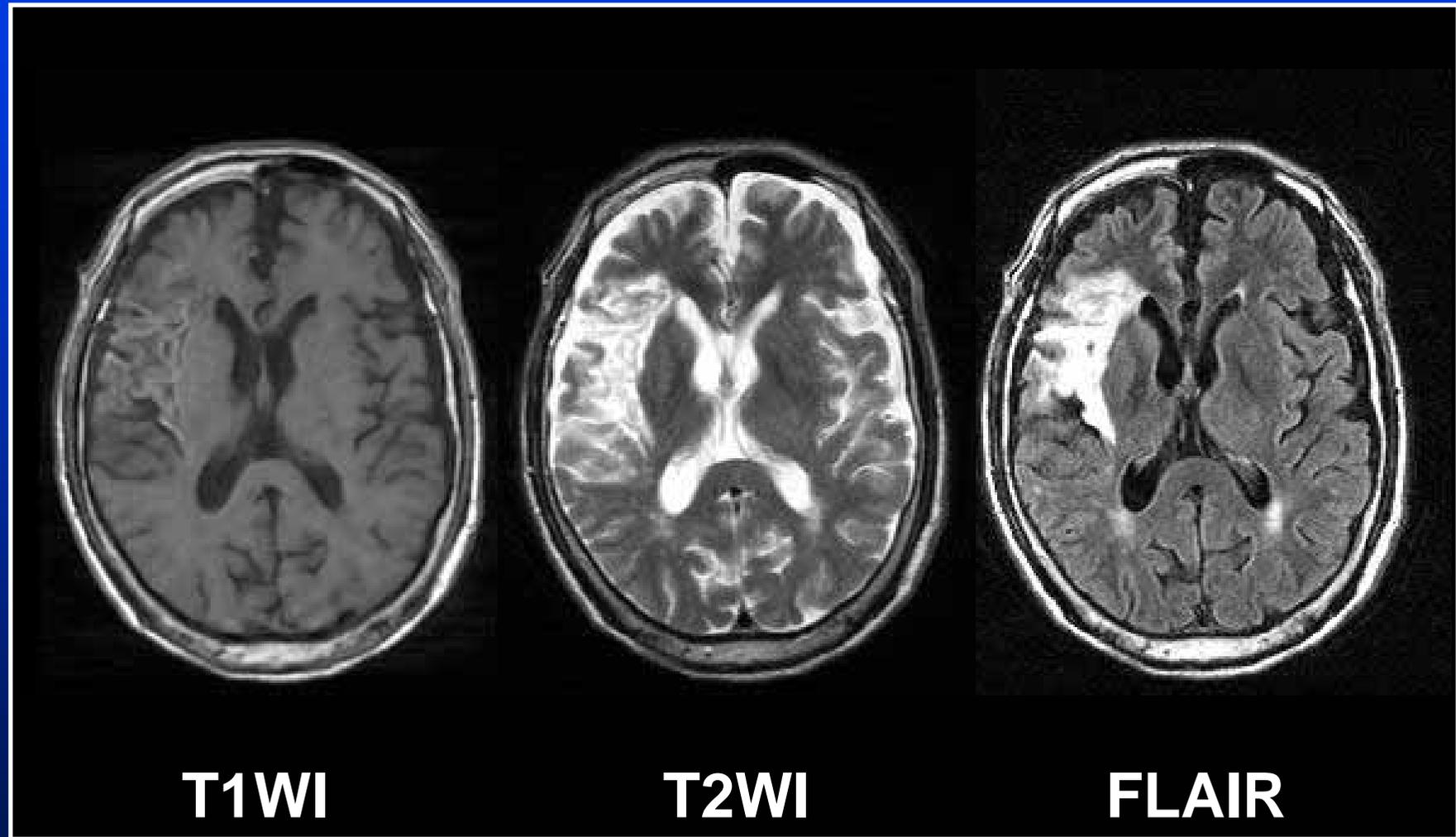


Pre-Contrast

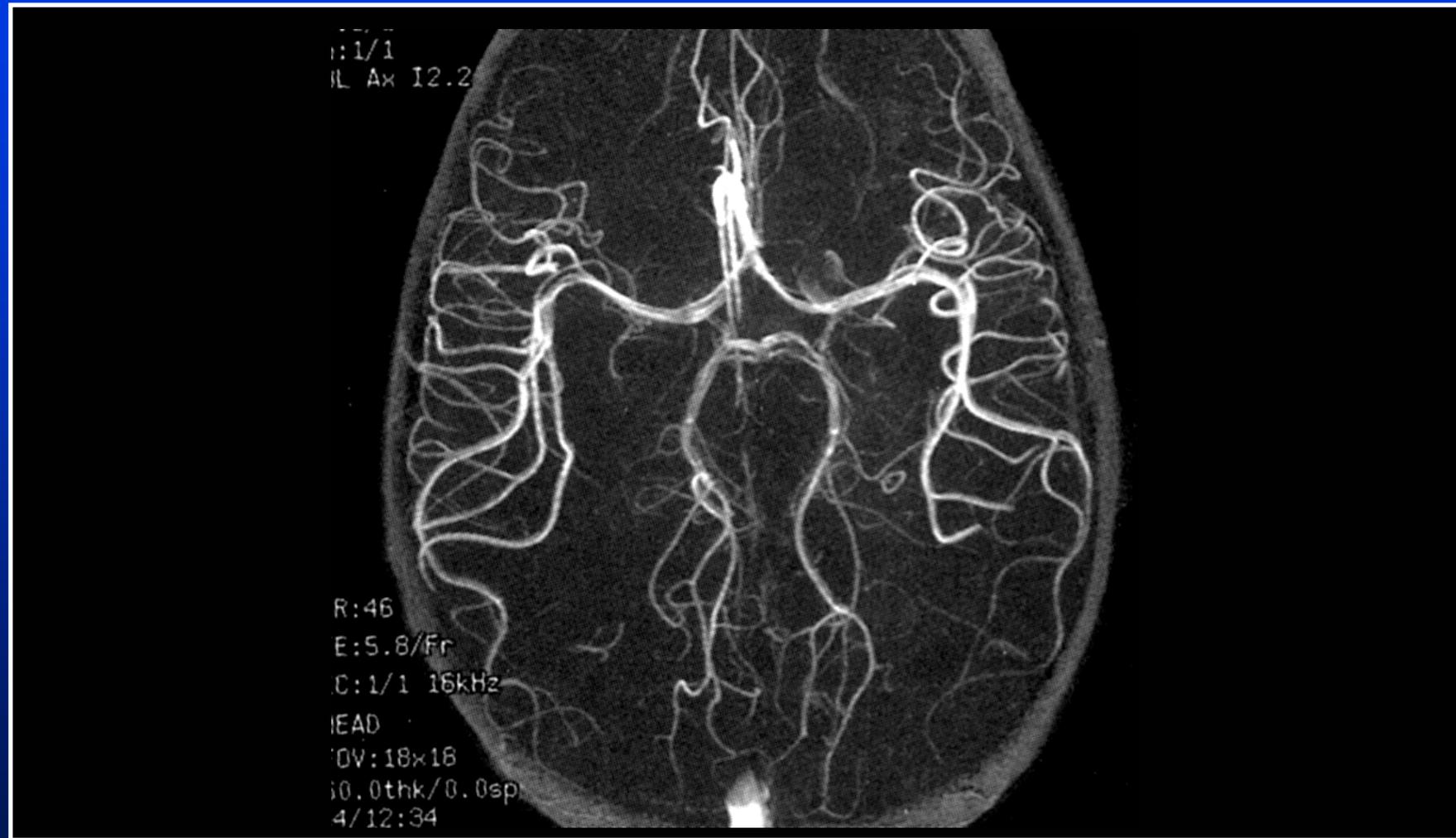


Post-Contrast

選擇性壓制 CSF 信號 (FLAIR)



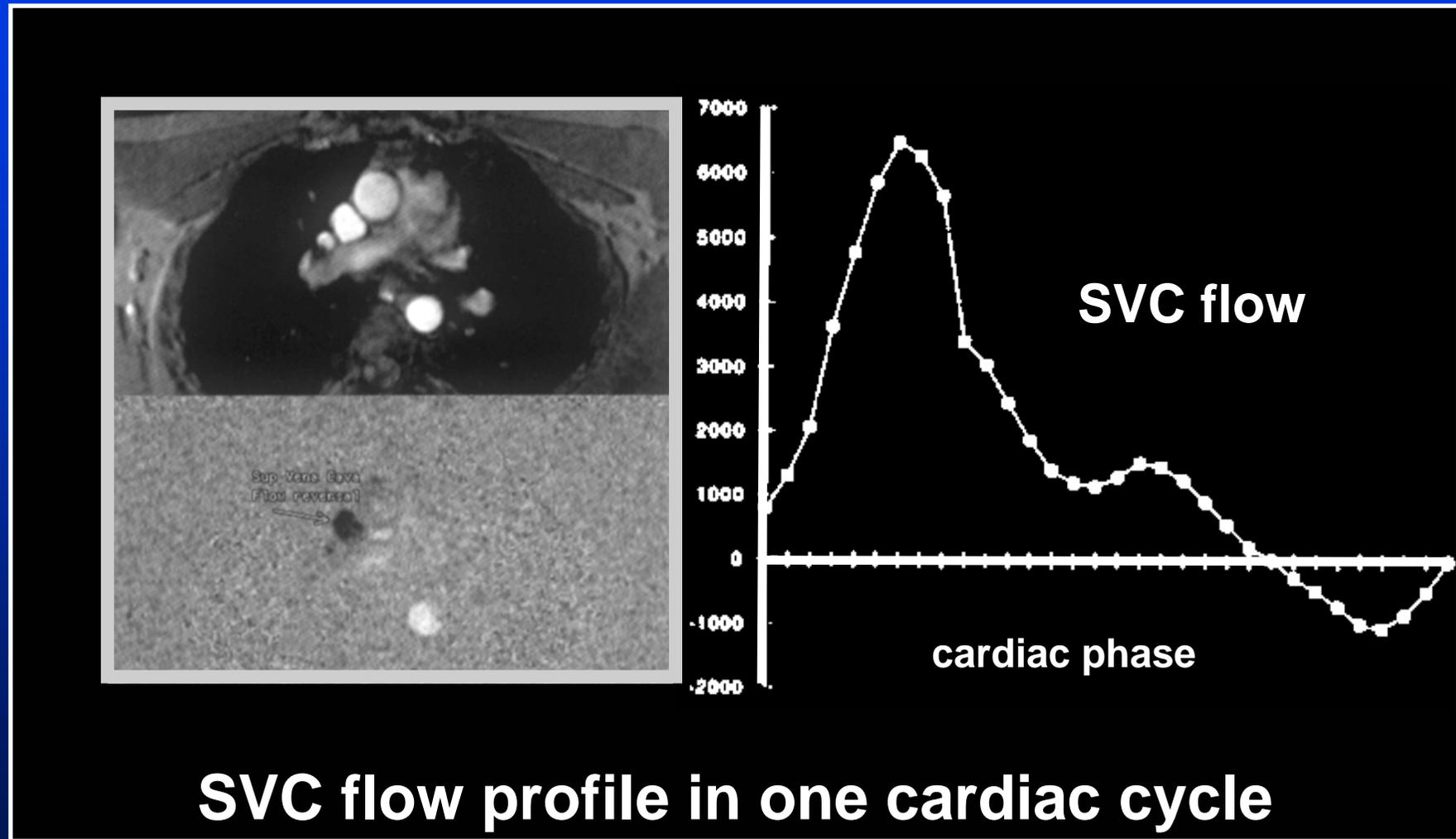
3D Time-Of-Flight MRA



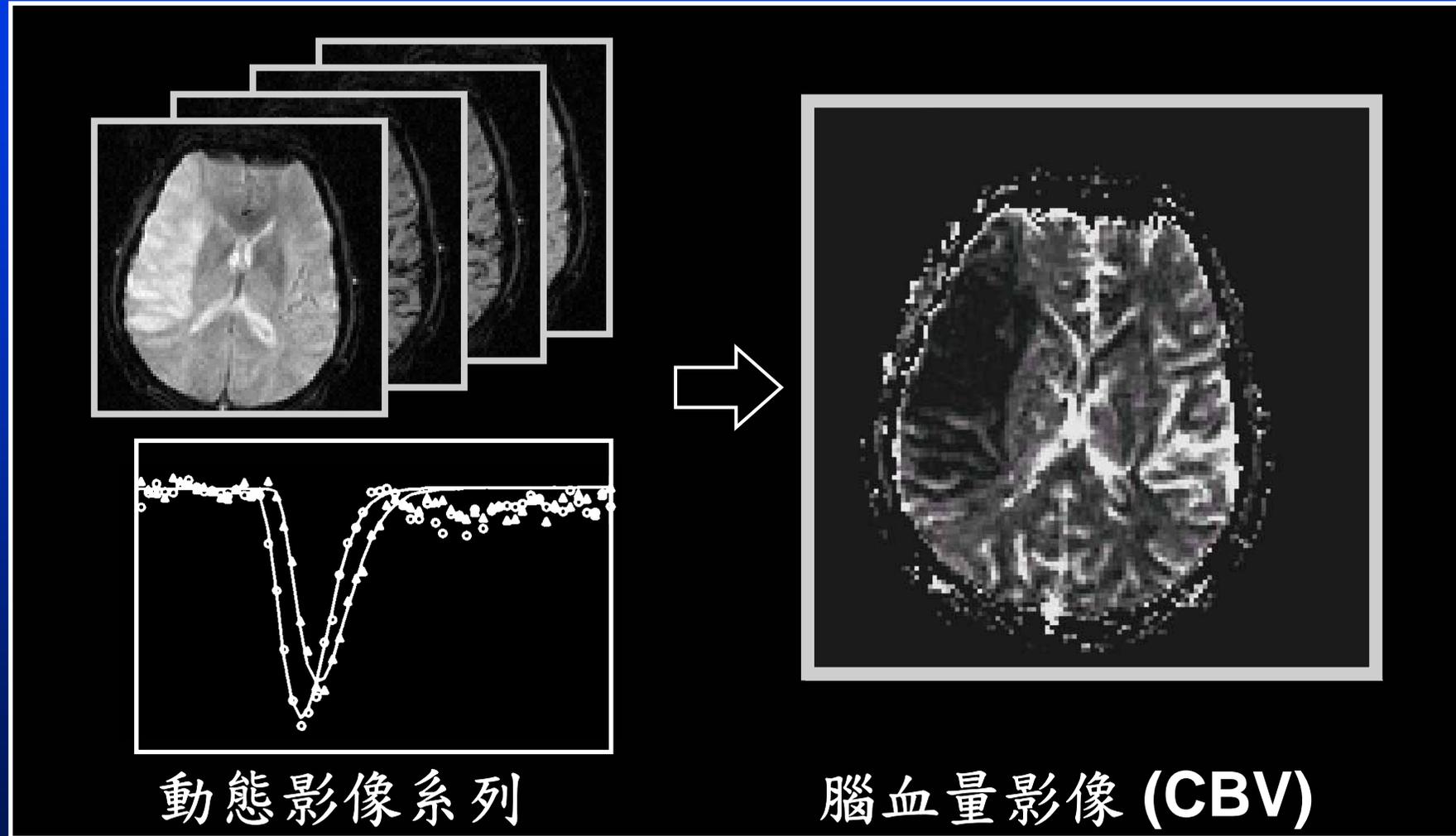
我要的更多：功能性影像

- 流速定量分析
- 水分子擴散影像
- 微灌流影像
- 腦功能活化區
- 神經纖維追蹤 ...

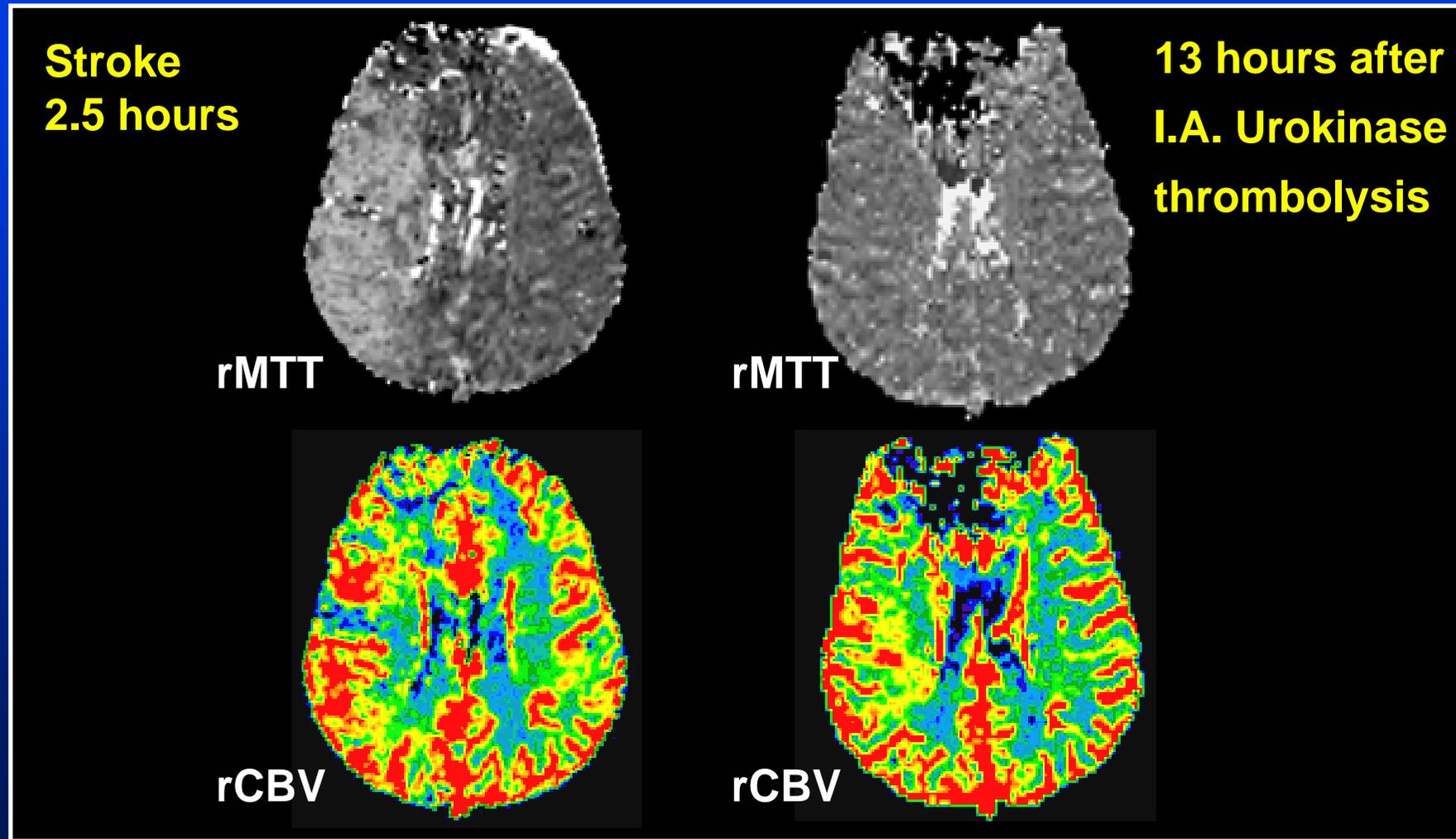
血流流速量測 (上腔大靜脈 reversed flow)



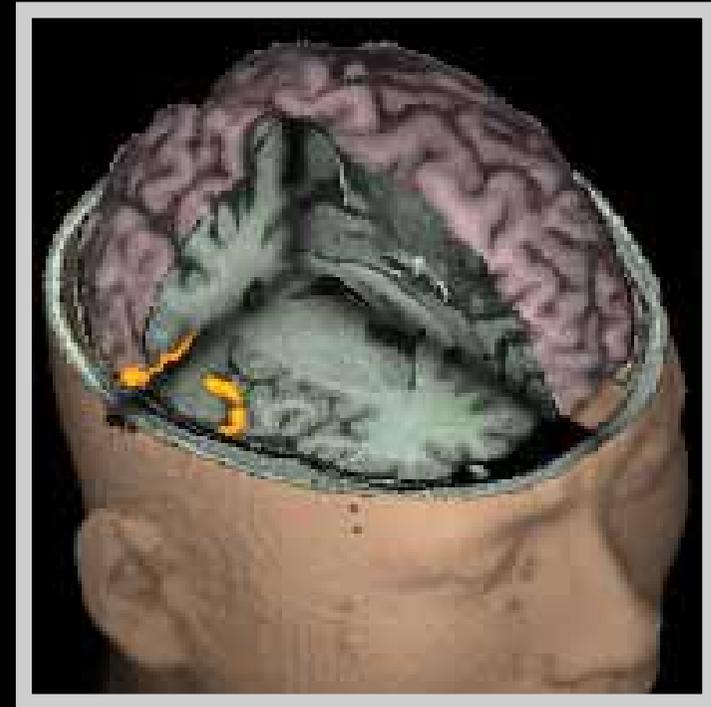
腦部動態微灌流影像 (perfusion)



MR 診斷影響治療方式的例證

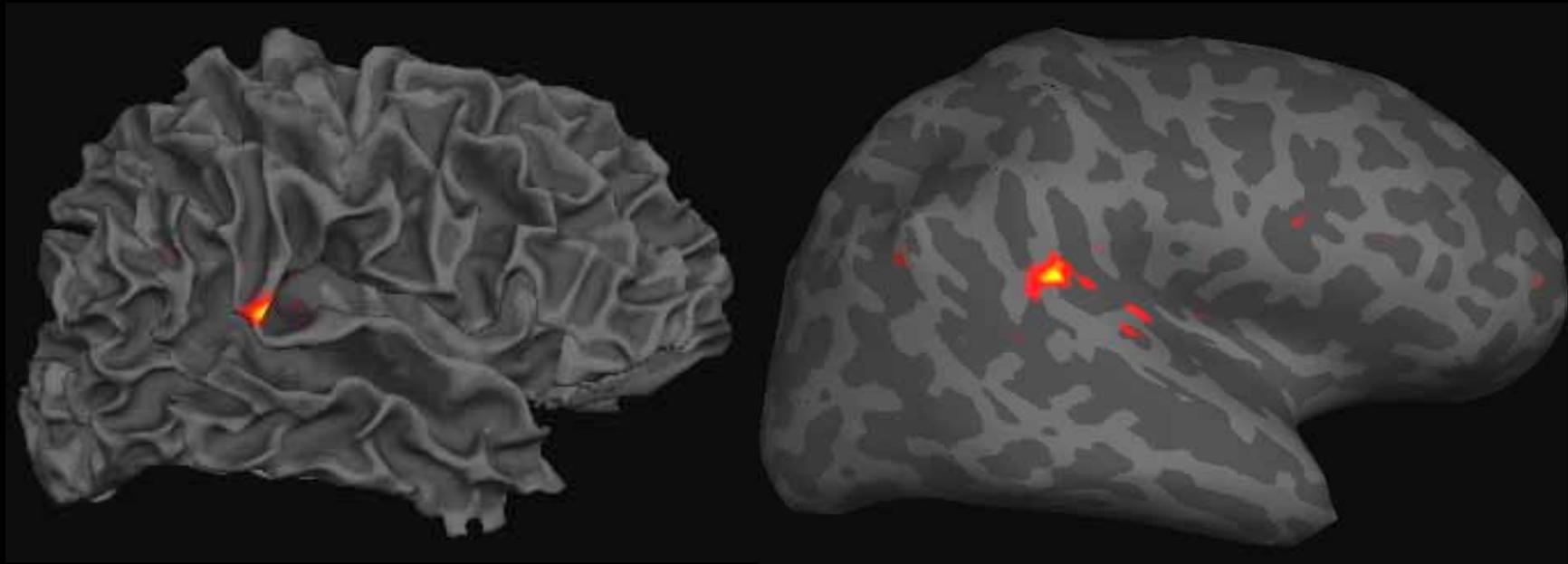


腦功能影像 (左耳聽覺刺激)



灰階：解剖位置 彩色：神經元活化區

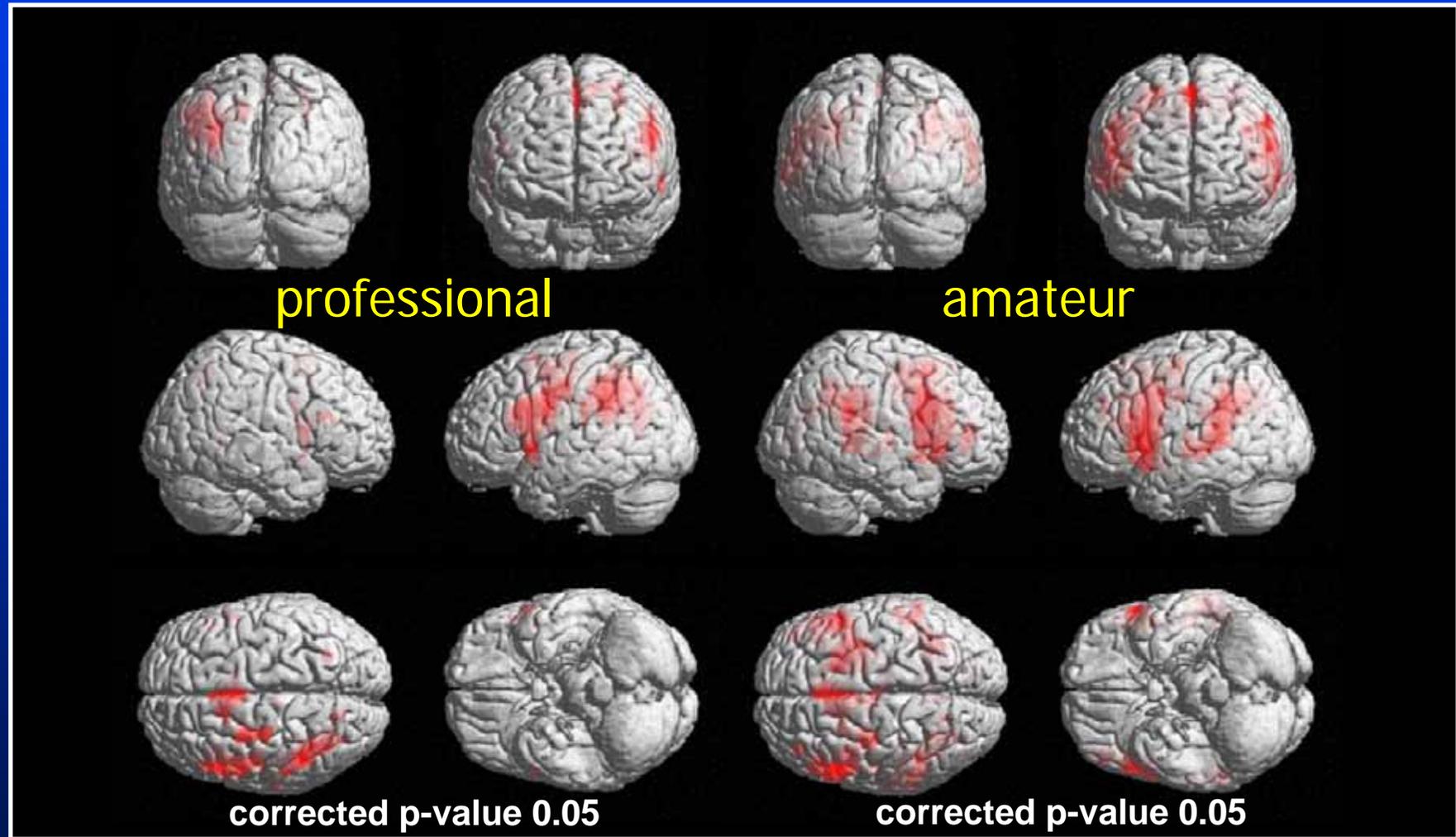
腦功能影像 (左耳聽覺刺激)



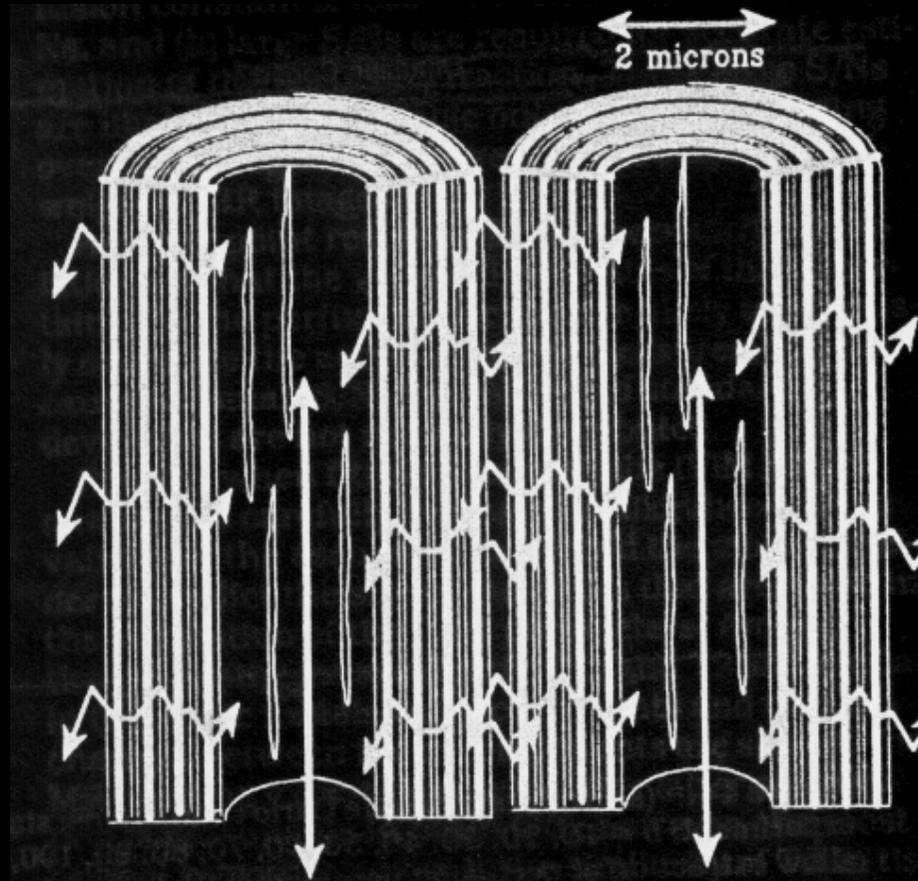
Cortical surface

Cortical inflation

職業與業餘音樂家對聲音的大腦認知反應

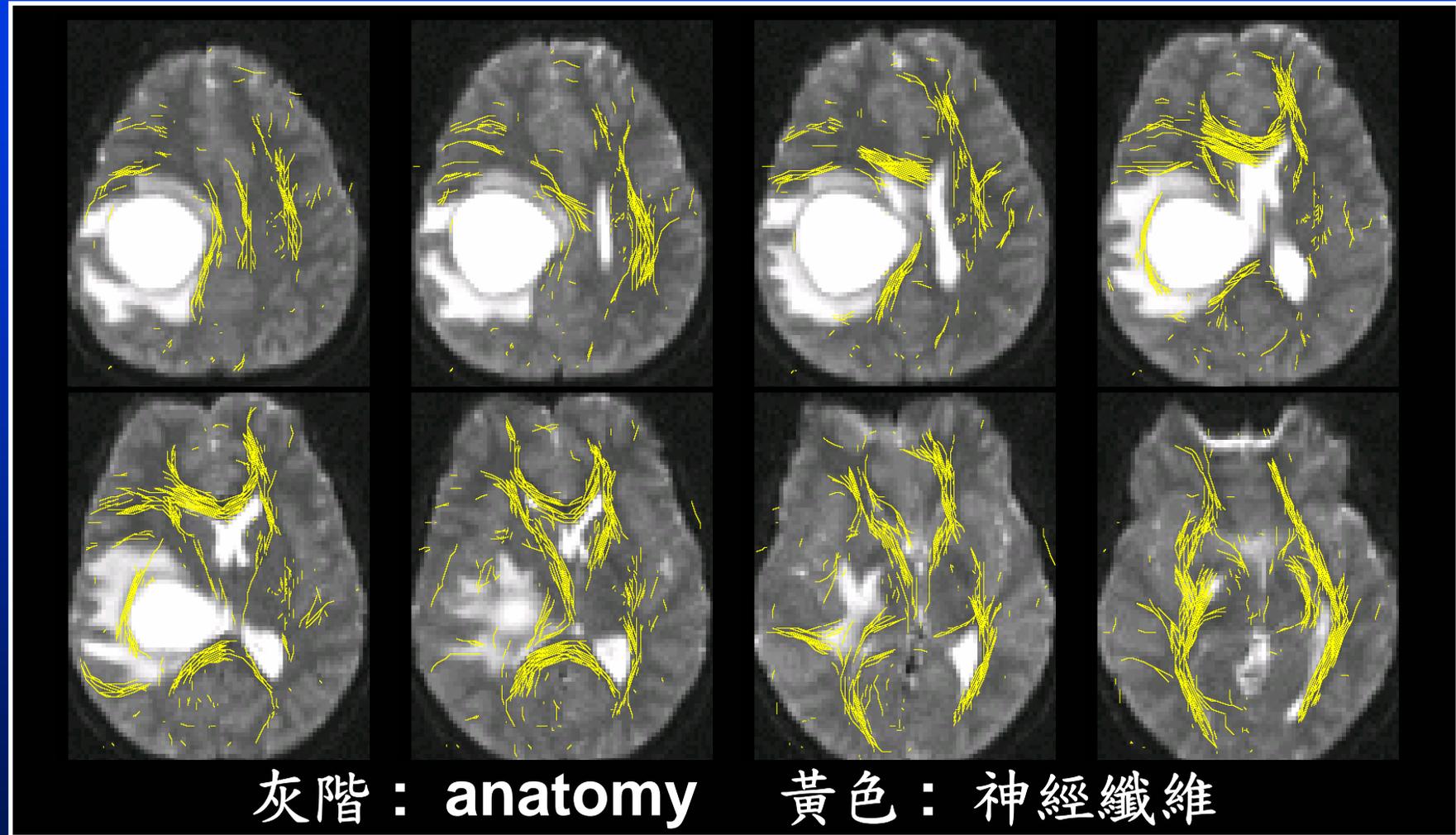


擴散現象的不等向性 (Anisotropy)

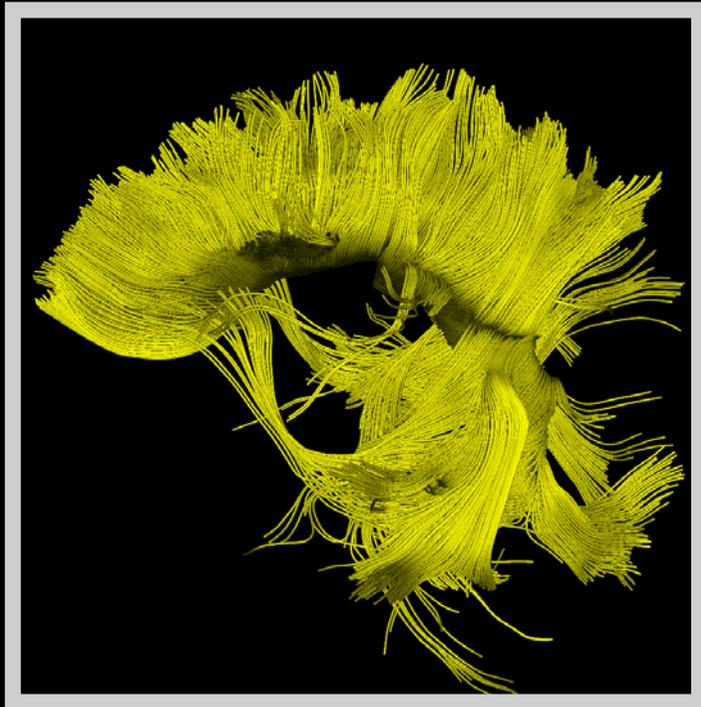


水分子順著纖維方向擴散最快

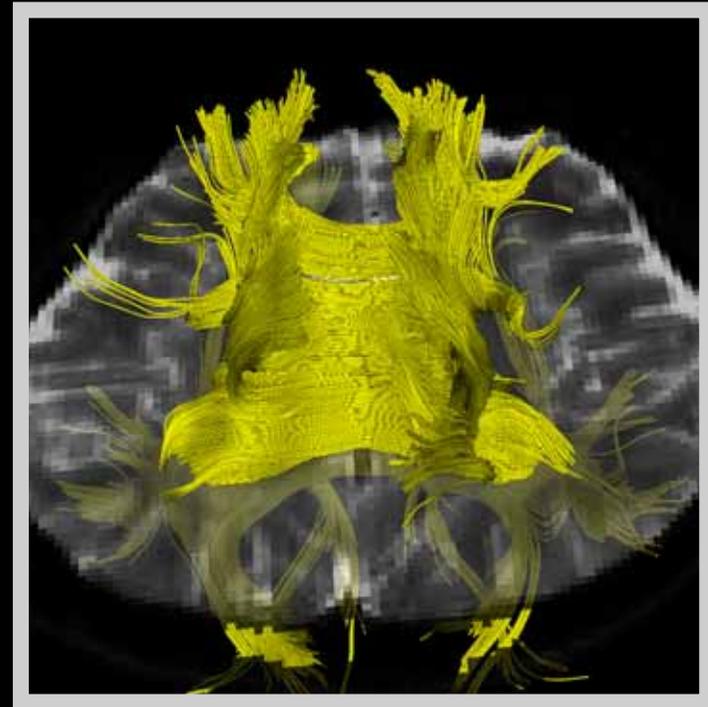
擴散張量神經纖維追蹤 (tumor)



胼肢體的三維神經纖維追蹤圖



Sagittal

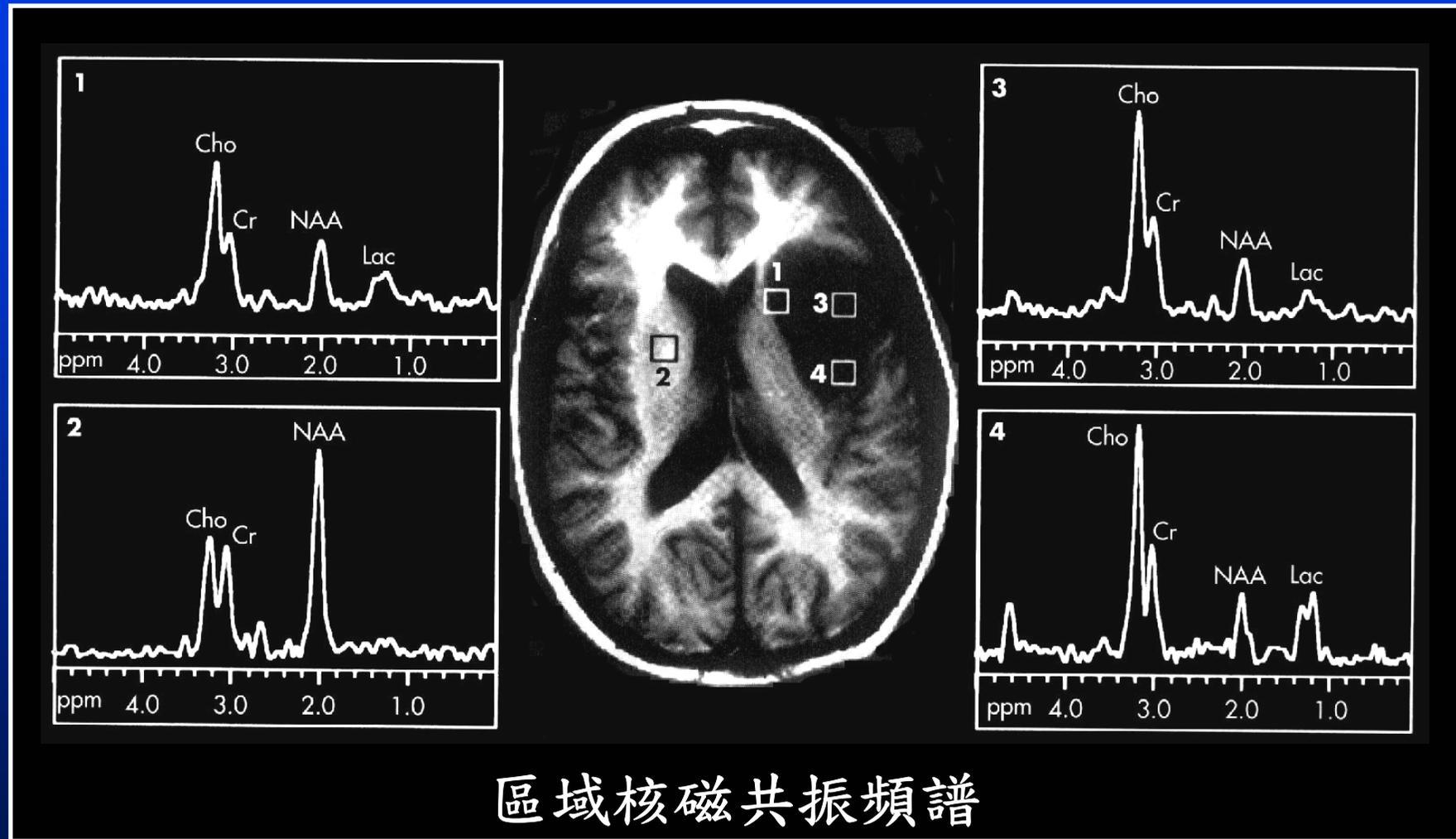


Coronal

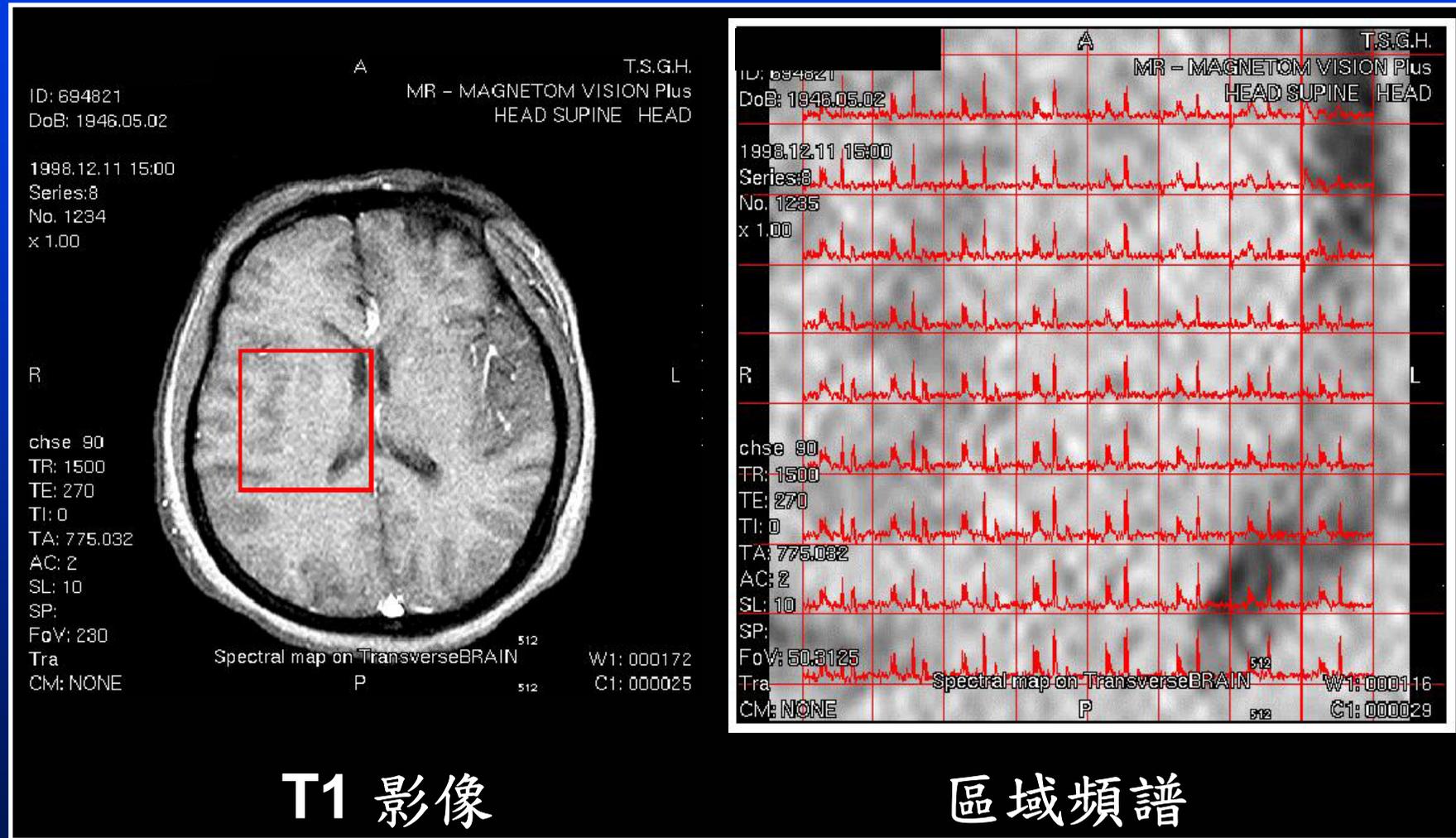
我還要更多：合併頻譜

- **MRI 的影像中，每個部位的代謝物**
 - **Chemical shift imaging (CSI)**
- **型態 + 功能 + 代謝 = 綜合性診斷？**

腦中每個部位的代謝物組成



缺血性中風的 MR 化學位移影像



核磁共振的衍生

- **NMR** 用來顯示可能之病灶位置與其生化代謝反應
- 物理與工程至此連結了臨床影像診斷與生化分析

MRI 的持續發展

- 臨床需求引入技術革新
- 技術發展帶動商機
- 商業利益繼續推動改良
- 人類健康因此獲得些許改善

上了這麼多醫學影像 ...

- 你們覺得哪種最具優勢？

答案：Case by Case

- 組織鈣化 (calcification) ?
- 腹腔疾病診斷 ?
- 早期癌症篩檢 ?
- 沒有醫學的醫工是沒用的 !

結論：數種醫學影像

- 絕對在不同疾病上各有千秋
 - 雖有消長，但仍難互相取代
- \$: PET > MRI > CT > X 光 > US
- 第一線診斷？ 追加檢查？

主要參考書

- Mould RF, A century of X-rays and radioactivity in medicine: with emphasis on photographic records of the early years. Institute of Physics Publishing, Bristol, UK, 1993.
- Bushberg JT et al., The essential physics of medical imaging, 2nd Ed. Williams & Wilkins, Baltimore, MA, 2001.
- Bernier DR et al.(ed), Nuclear medicine: technology and techniques, 4th Ed. Mosby, St. Louis, Missouri, 1997.
- Donohoe KJ et al., Teaching atlas of nuclear medicine. Thieme, New York, NY, 2000.
- Ultrasound imaging materials courtesy of Prof. Li Pai-Chi.
- Magnetic resonance imaging materials from my own course

醫學影像簡介

Medical Imaging

鍾孝文 教授

台大電機系 三軍總醫院放射線部