

MRI Basics

蔡尚岳

政治大學

應用物理研究所

一個半小時能夠說些甚麼？

- 了解大略的成像原理和過程
 - 影像上看到訊號哪來的？
 - 機器裡面有哪些東西？
 - 實驗要注意甚麼？安全性如何？
- 了解fMRI實驗流程的概念
 - 如何得到影像？
 - 影像解析度如何？

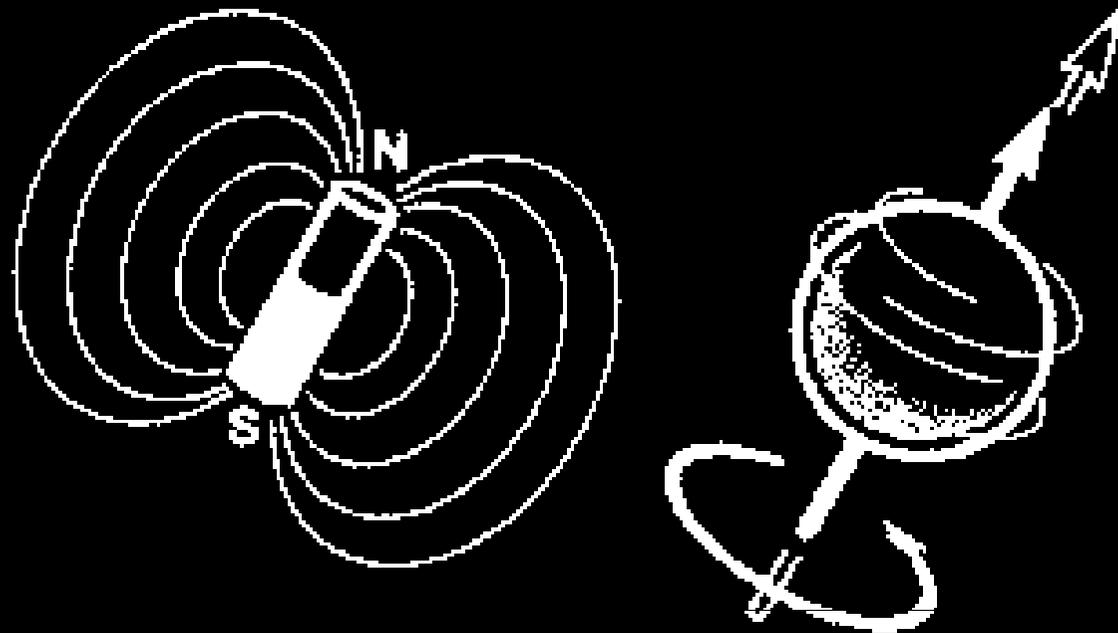
MRI拆字解釋

- Magnetic : 信號來源 (磁性)
- Resonance : 激發與偵測原理
- Imaging : 將信號位置編碼

拆字解釋 MRI (一)

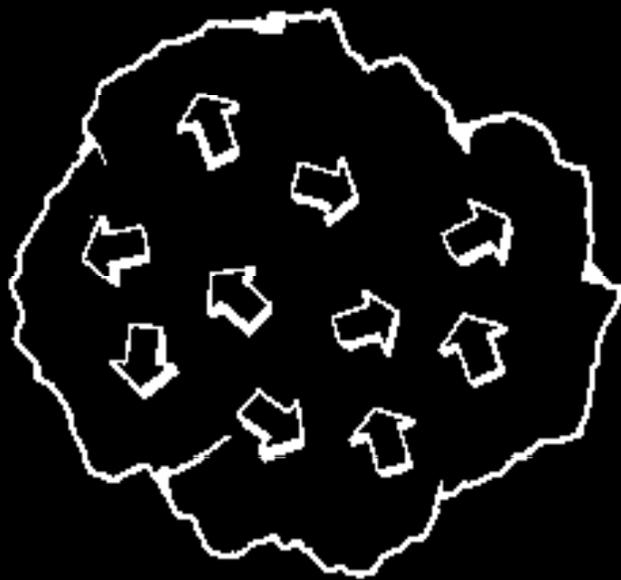
- 磁 (magnetic) : 信號源
 - 來自人體內氫原子核的自轉
 - 電荷 + 旋轉 = 磁矩 (磁鐵)
 - 靠外加磁場強化信號源
 - 人體磁矩與外加主磁場同向

“器官小磁鐵”

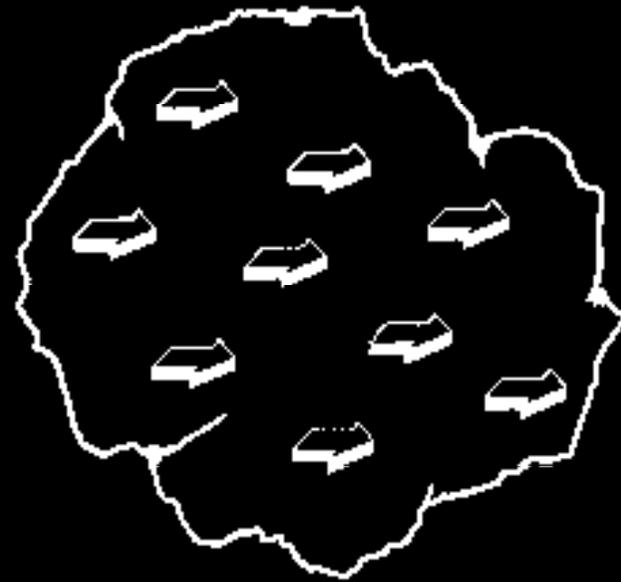


器官內的氫原子核(水)酷似小磁鐵

外加磁場對氫原子核小磁鐵的影響



不規則排列



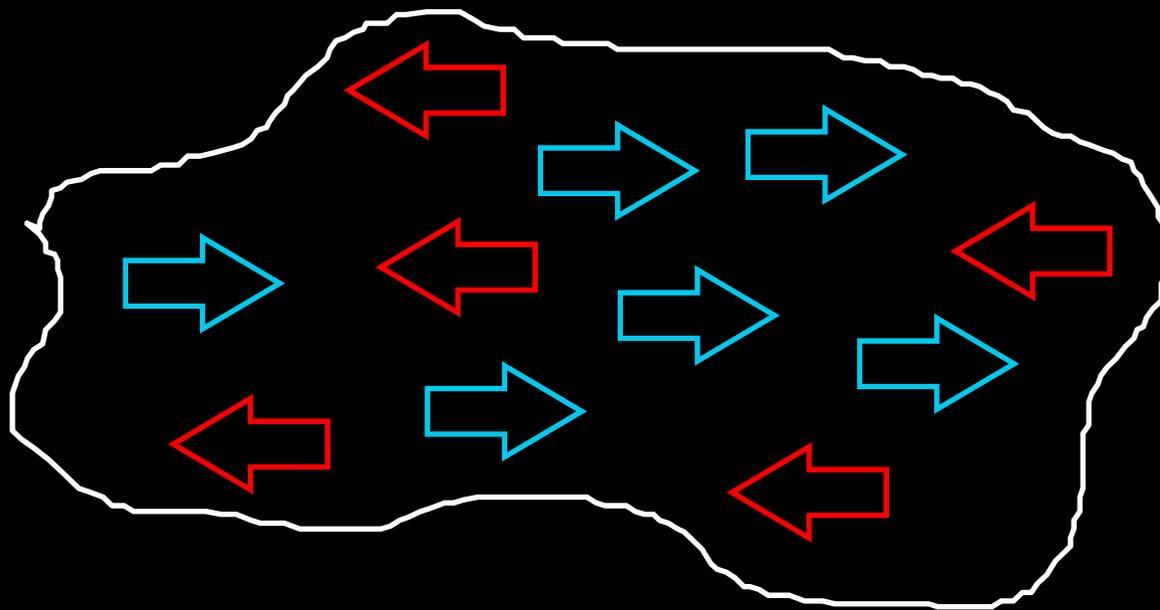
主磁場

規則的排列

實際的狀況 (量子物理 + 統計力學)

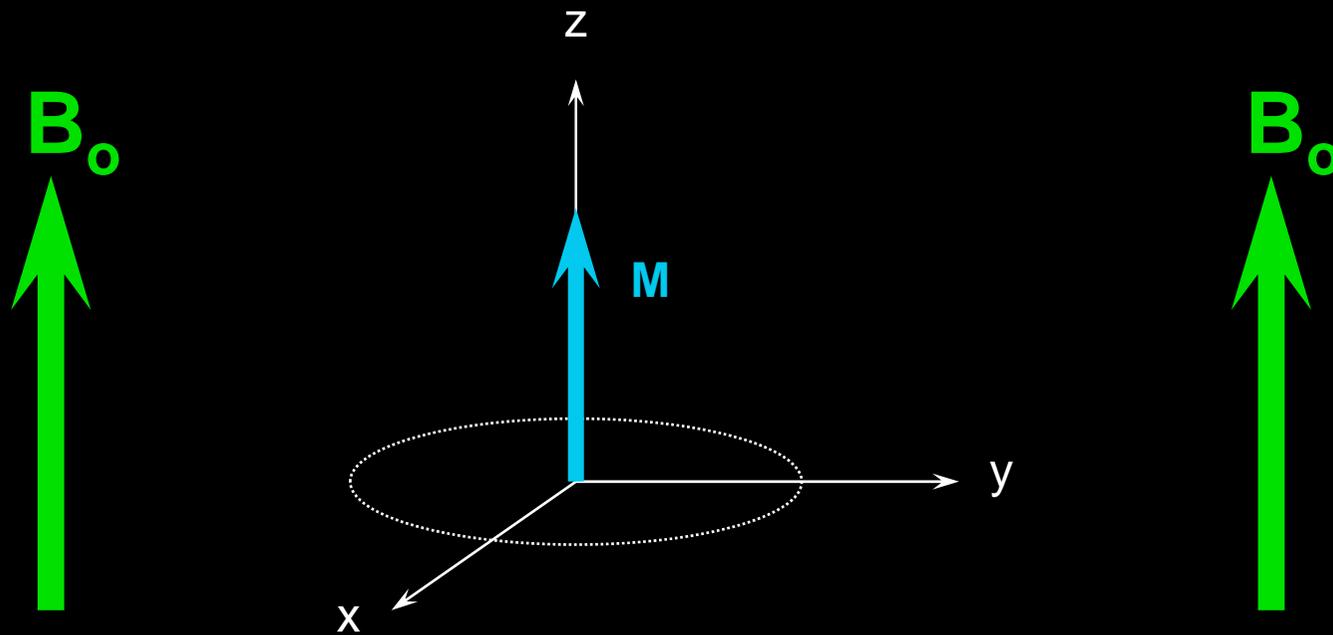


主磁場：3 Tesla



每一百萬個氫原子核中只多十到十二個

畫成座標軸的示意圖



人體進入 MRI 儀器後的情形

外加磁場的影響

- 有外加磁場：氫原子核整齊排列
 - 人體產生磁性
- 人體磁性非常微弱
 - 不是全部的氫原子核都排列整齊
- 磁性是暫時的
 - 離開 MRI 就恢復原狀

強化人體磁性的設備

- MRI 的基本工具之一：磁鐵
 - 強磁鐵，而且是放得下人的
- 超導電磁鐵
 - 磁場強，穩定度高
 - 一旦通電後即不需電力
 - 重量約6~7 噸左右
 - 儀器本身與液態氦價格均高
 - 磁場強度：1.5T、3T

超導體磁共振影像儀實體圖



Siemens Skyra 3.0 T @ NCCU

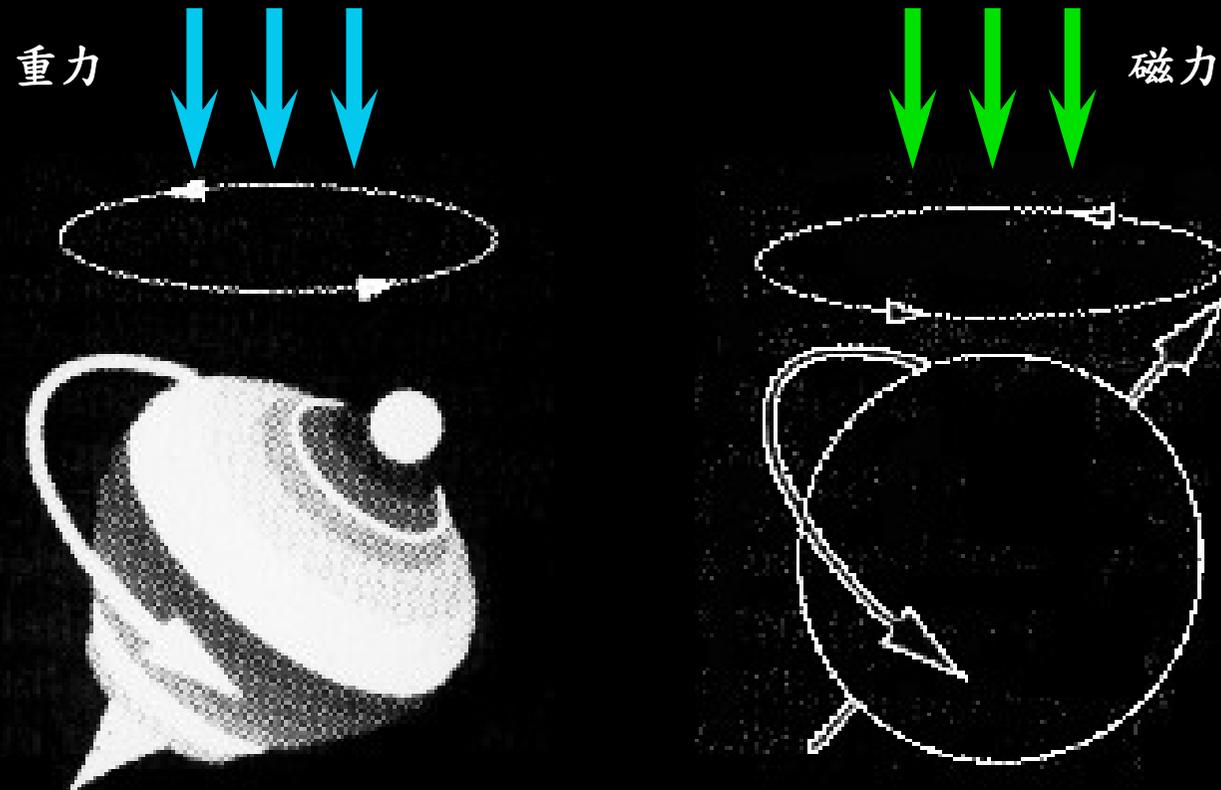
強磁場的生物效應

- 對人體生理會不會有影響??
 - 有些人進入磁場中，快速移動時會有頭暈的感覺，在強磁場較明顯
 - 磁化效應在離開磁場後即消失
- 強磁場生物效應的研究?
 - 目前所有研究結果均無
 - 或爭議性極高

旋進現象 (precession)

- 人體產生的磁矩，會繞著外加磁場的方向旋進
- 主因：磁性的來源是自轉運動
 - 跟陀螺的原理很像，自轉運動抗拒磁力吸引

磁場中的氫原子核旋進現象



繞著主磁場的方向旋進

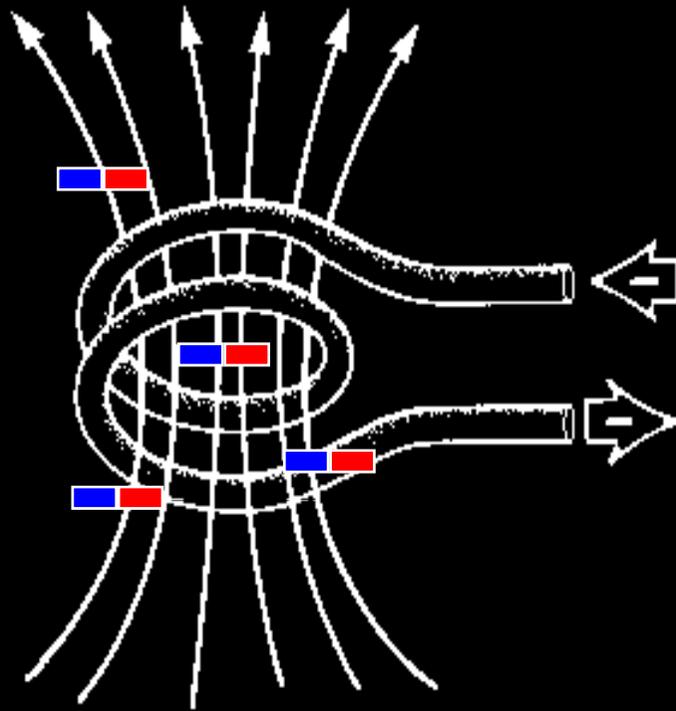
旋進的快慢

- 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
- 128 MHz @ 3.0 Tesla

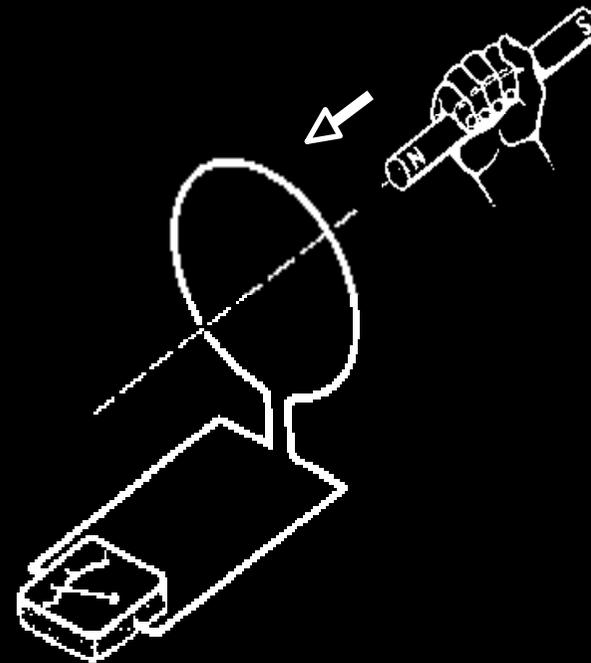
拆字解釋 (二)

- 共振 (resonance) : 激發偵測
 - 高速旋轉磁場 (RF pulse) 激發
 - 128 MHz 約等於 FM 收音機頻帶
 - 人體磁性旋轉、產生感應電流

射頻激發與信號偵測

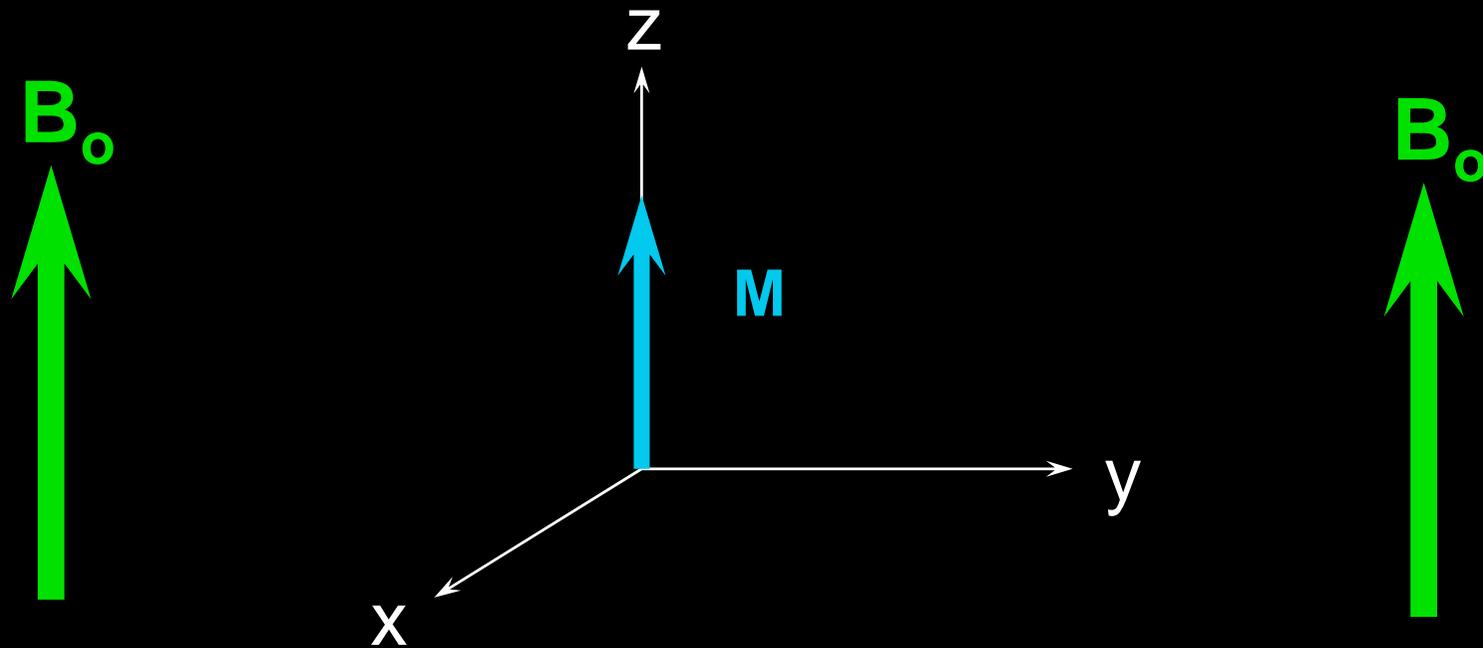


迫使器官小磁鐵旋轉



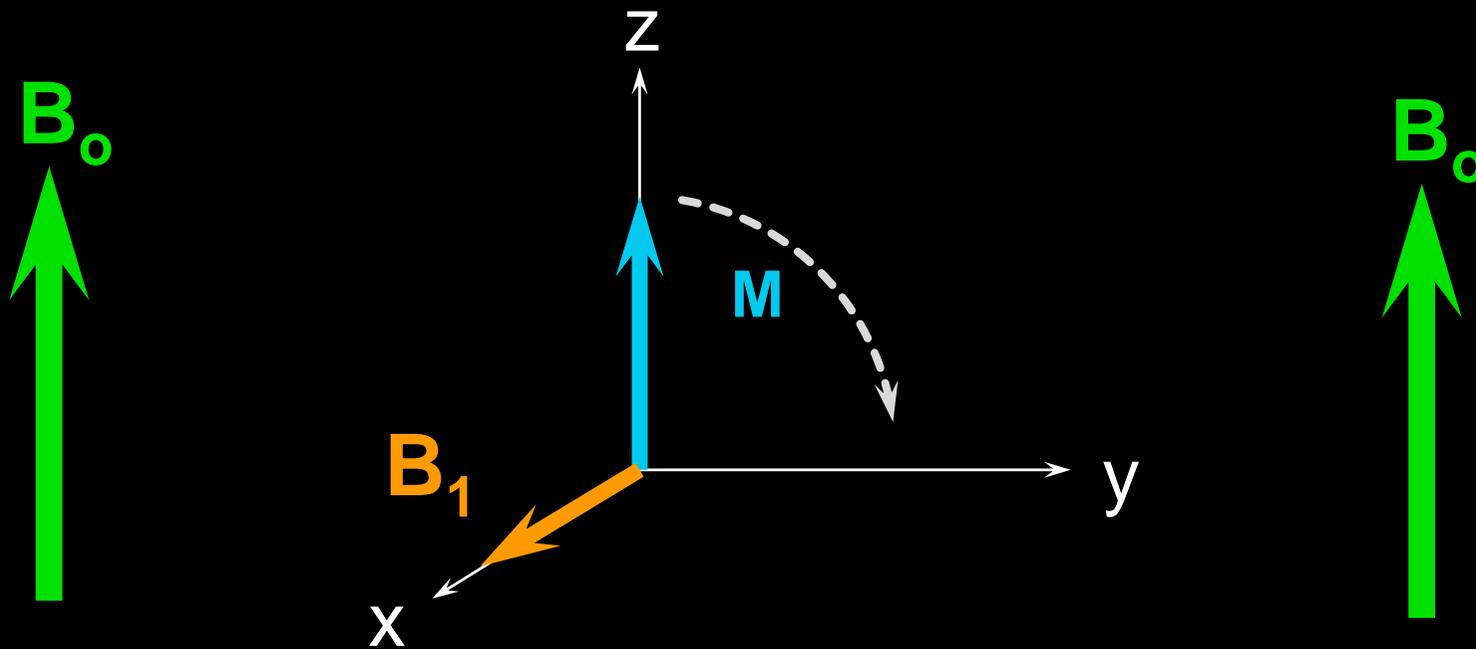
偵測感應電流

激發、偵測、與旋進的關係



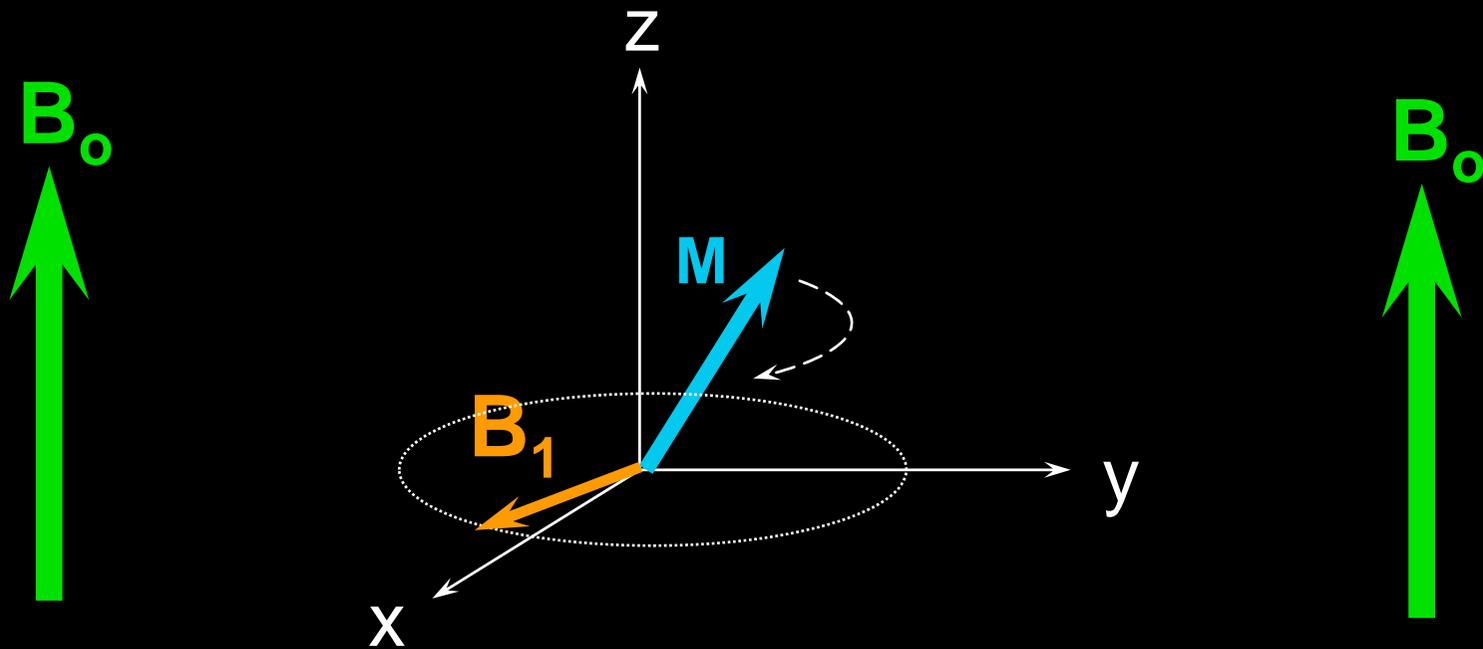
人體剛進入 MRI 儀器後的情形

信號激發 (RF pulse : 旋轉磁場)



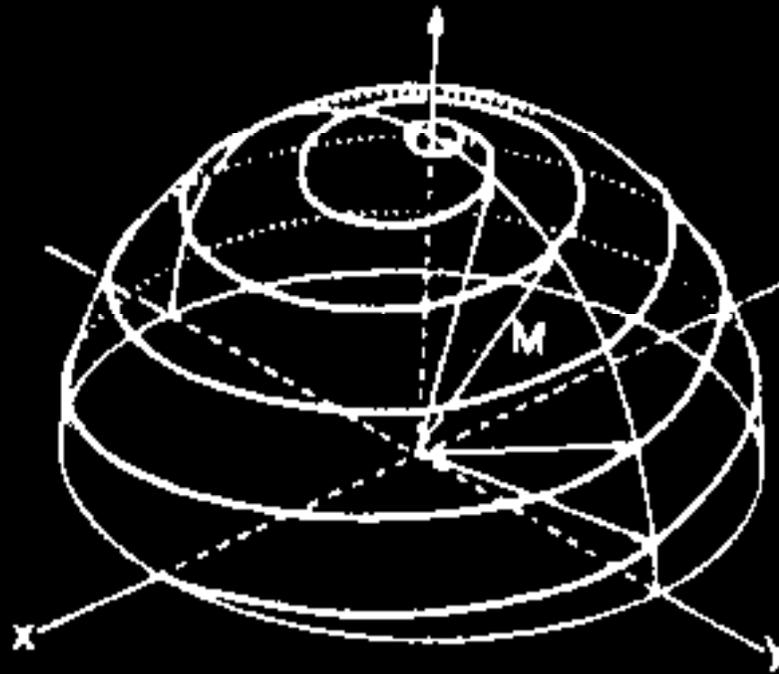
RF pulse : B_1 激發磁場

加入 RF pulse 後 ...



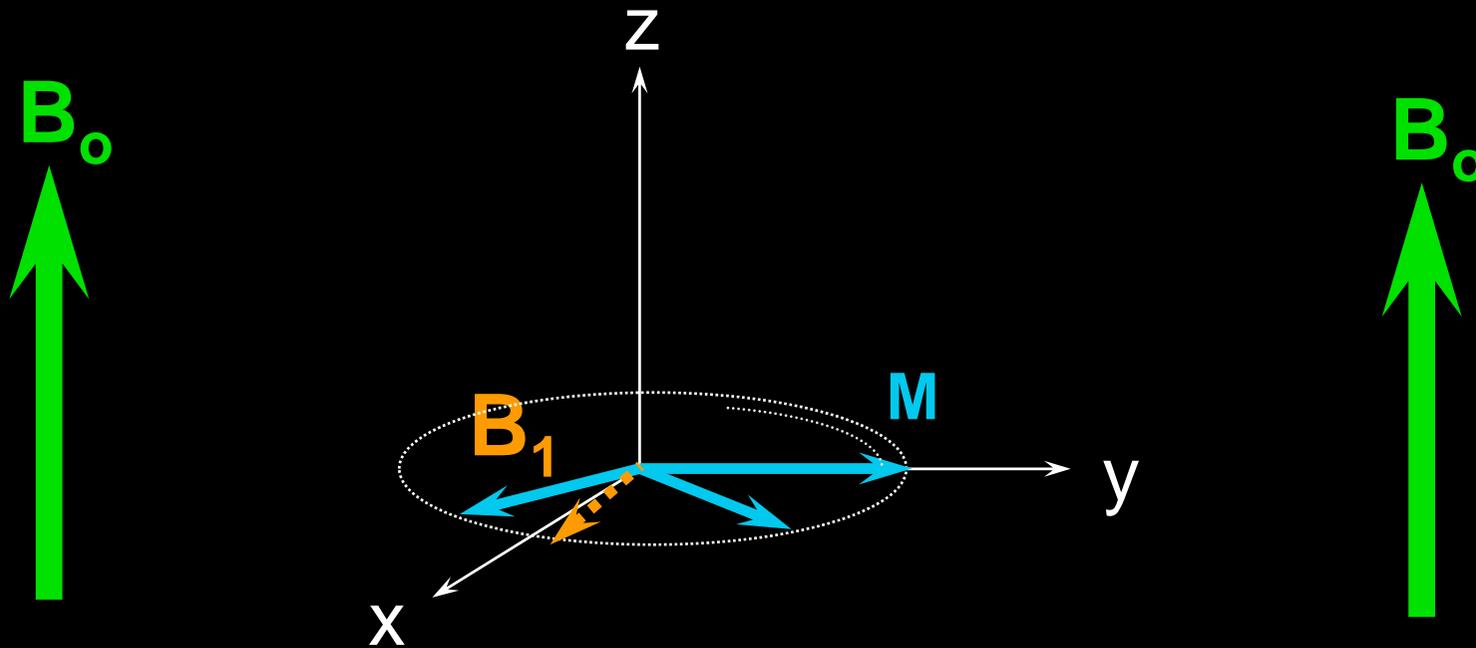
M 繞行 B_0 與 B_1 的向量和 做旋進動作

激發過程大概是這樣的 ...



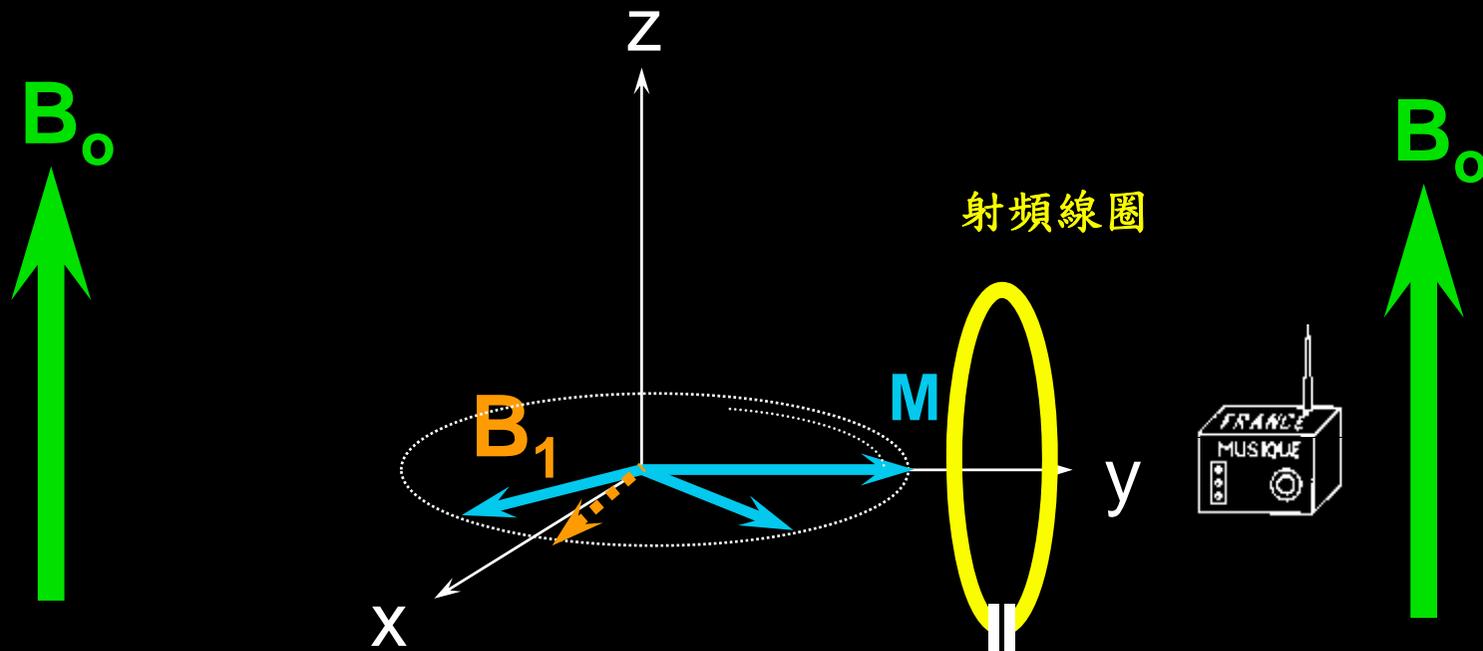
螺旋狀軌跡

一段時間後關掉 RF pulse



氫原子核磁性開始繞著 B_0 做旋進運動 (128 Mhz)

信號的接收就像是個收音機



不過實際上是用射頻線圈感應到磁性旋進產生的電流

針對頭部的 RF Coils



16+4Ch Head&Neck



32Ch Head

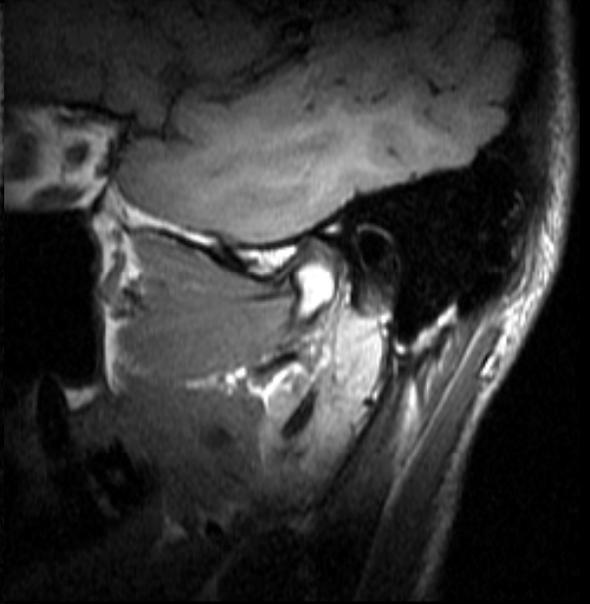
不同線圈的影像比較



體線圈



頭部線圈



3吋表面線圈

射頻激發 (RF) 的生物效應

- MRI有沒有電磁波？
 - 射頻激發 (RF) 類似微波爐，當然有有電磁波？
 - 頻率不高 127.7 MHz，類似收音機無線電波
- RF 過多，局部體溫會略為提高

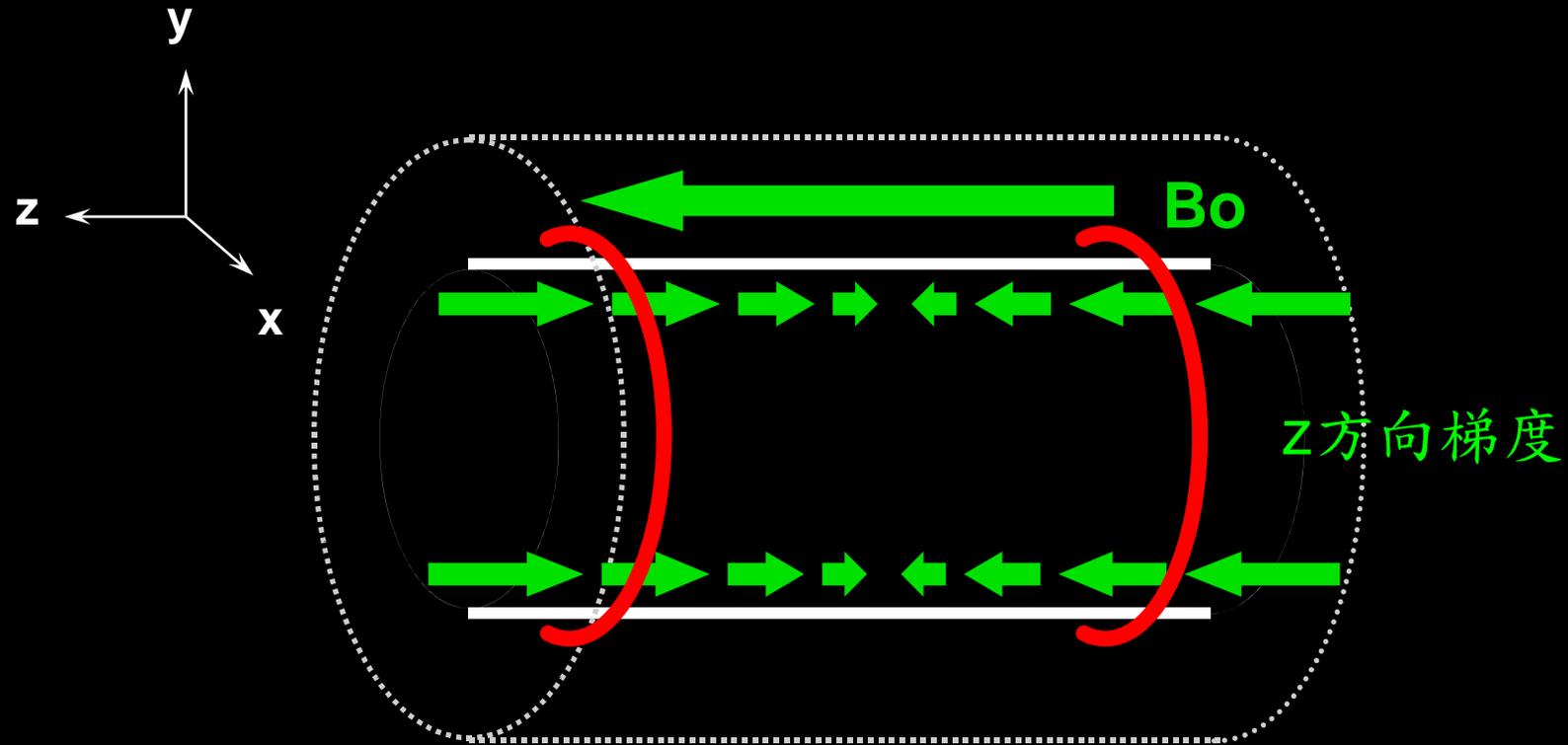
射頻激發 (RF) 的熱效應

- 人體內部自有體溫調節系統
- 溫度上升，立刻由血流帶走熱量
- 只要不在短暫的時間內，大量激發即可
 - FDA嚴格規範吸收能量
 - 機器本身不允許過密集的射頻激發
 - 計算射頻能量，過多則會自動暫停掃描

拆字解釋 (三)

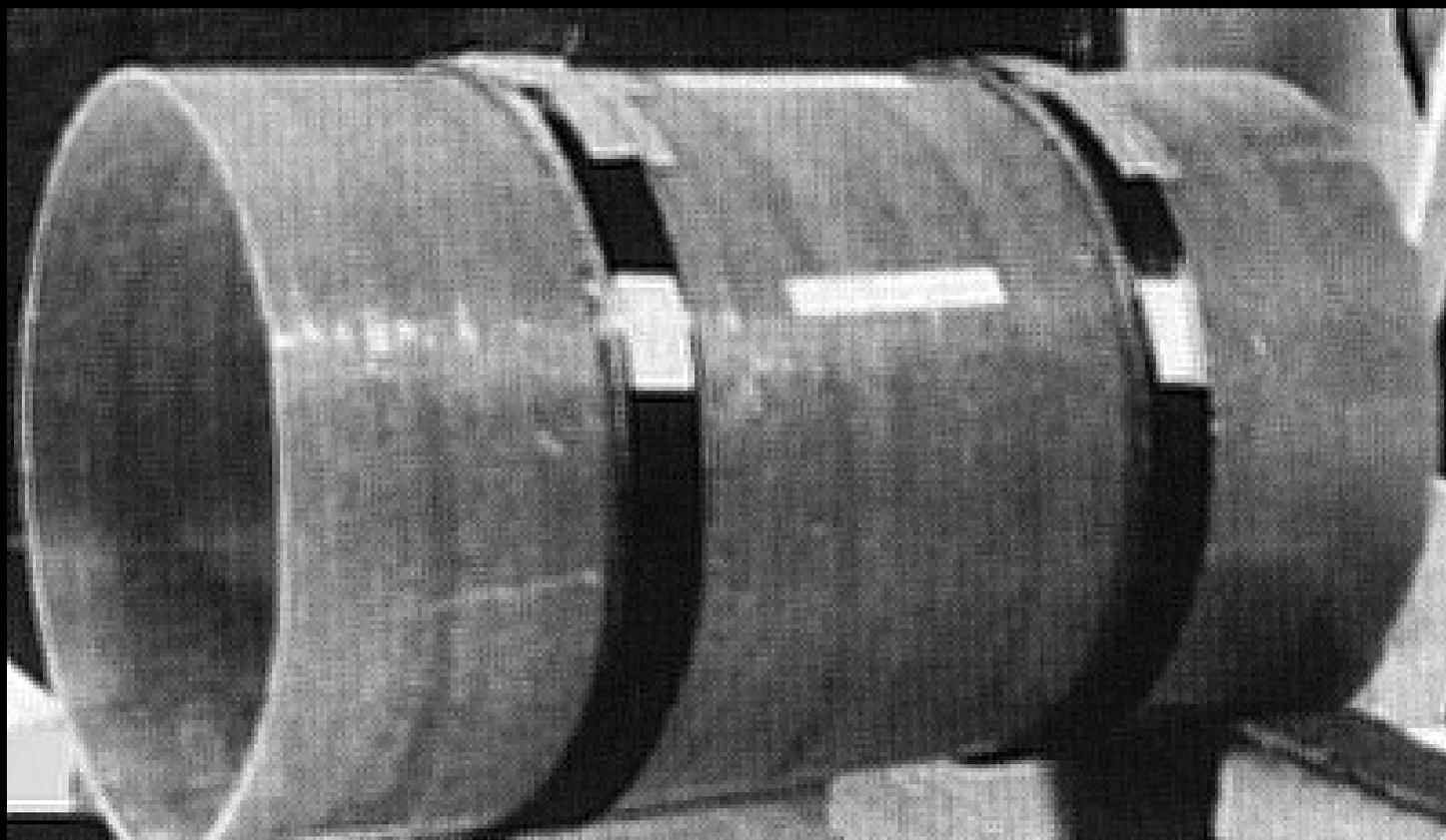
- 影像 (imaging) : 空間訊息編碼
 - 有厚度的切片影像
 - 靠「隨位置變化」的磁場
 - 梯度線圈 (gradient coil)
 - 三度空間定位， x, y, z 每個方向各一個

什麼是梯度磁場?

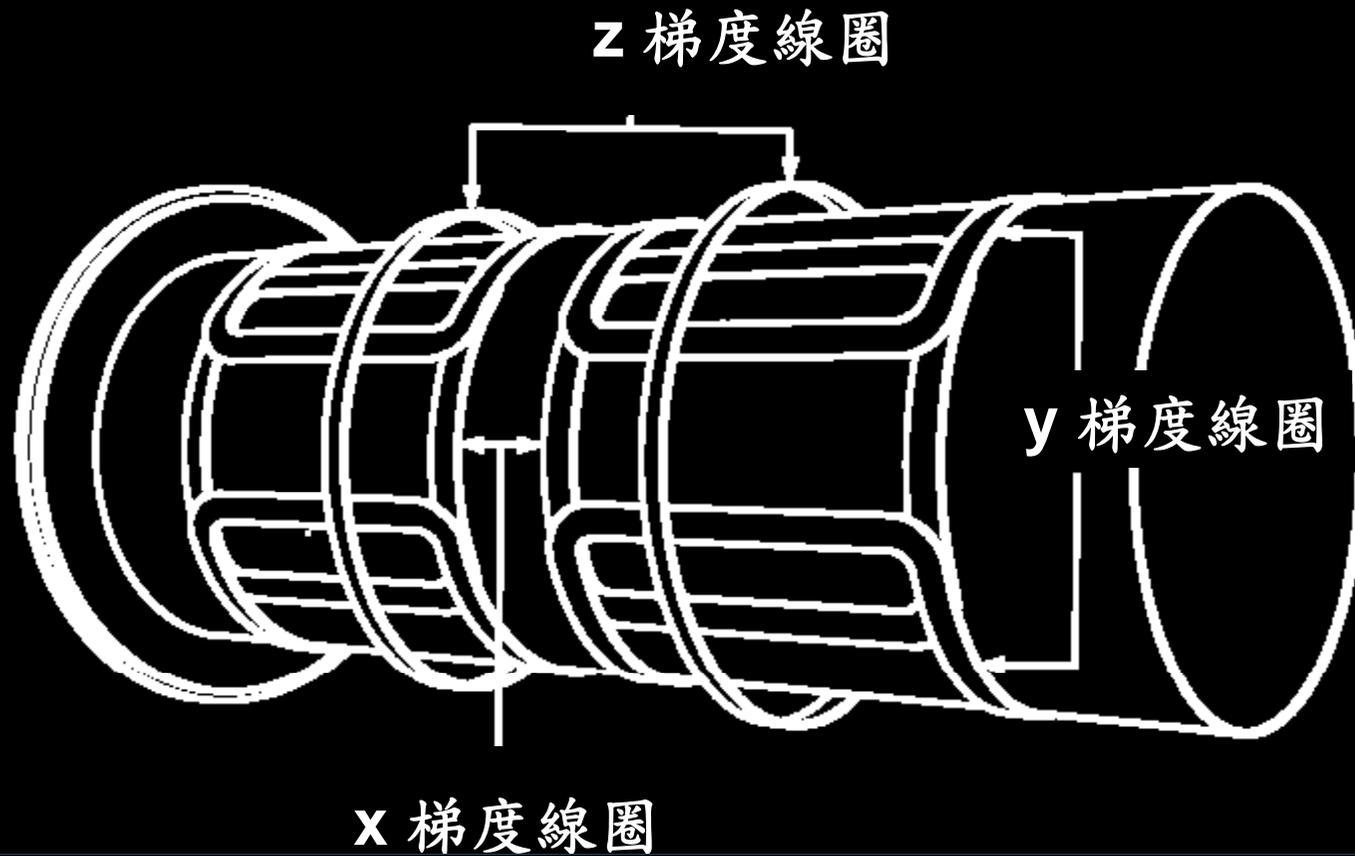


在 B_0 上另外加一個「隨位置變化」的磁場

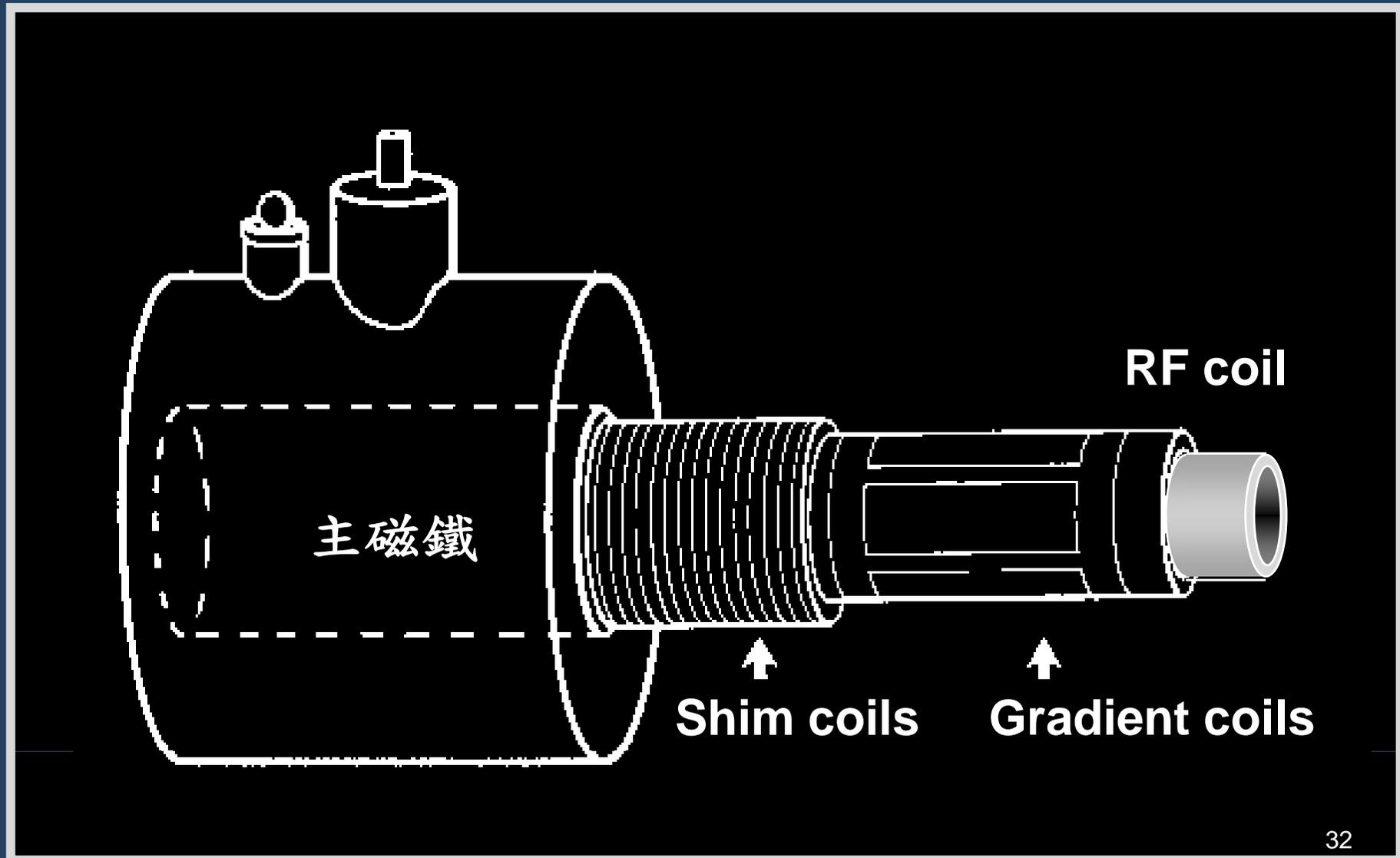
Z 梯度線圈實體圖



X, y, z 梯度線圈組的裝置情形



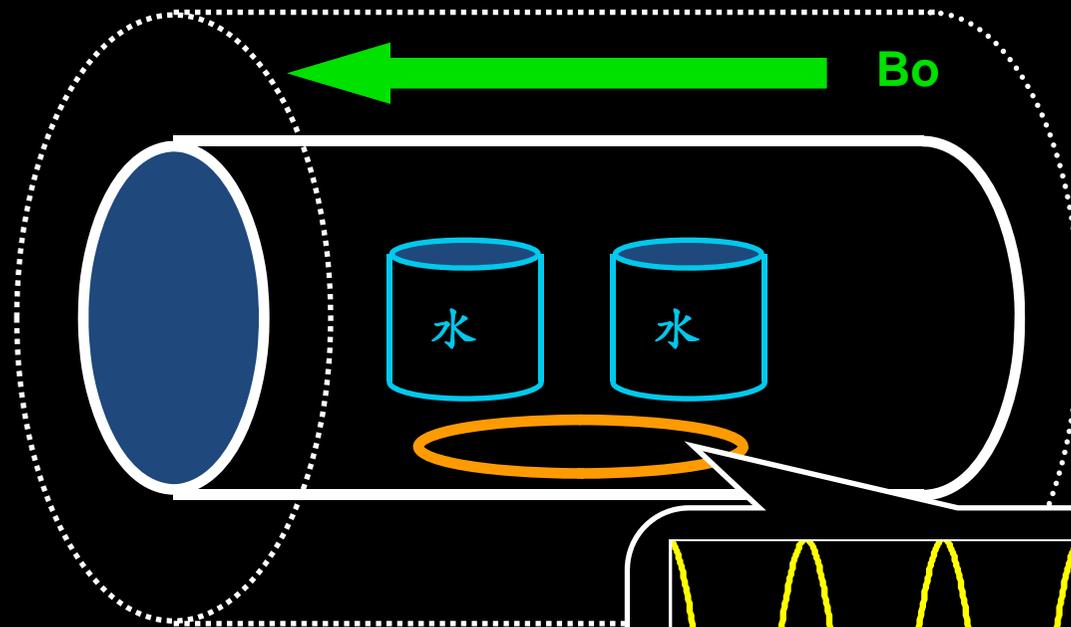
MRI 主要儀器元件



梯度要做什麼？

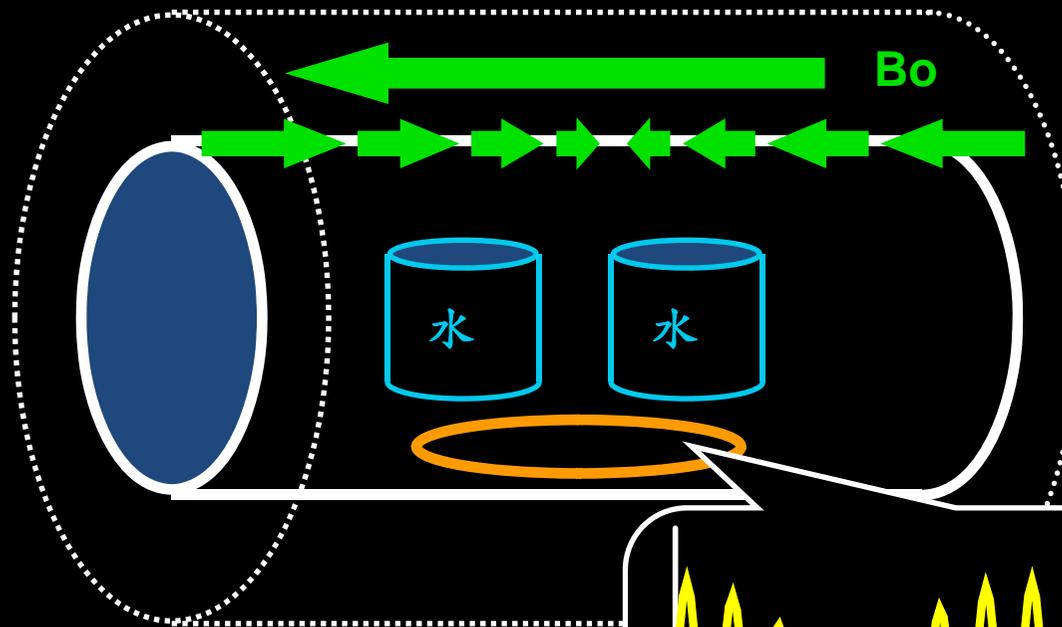
- 讓不同位置產生的感應電流，都具有不同的頻率
- 藉由頻率分辨信號源的位置

線圈收到的 MRI 信號

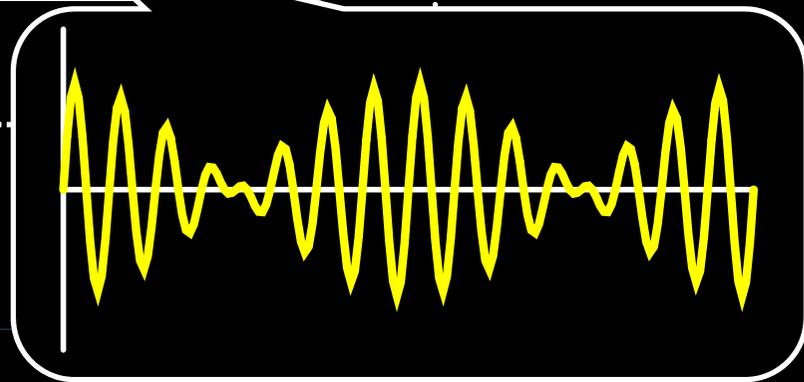


類似一個震盪訊號
信號頻率 = 127 MHz

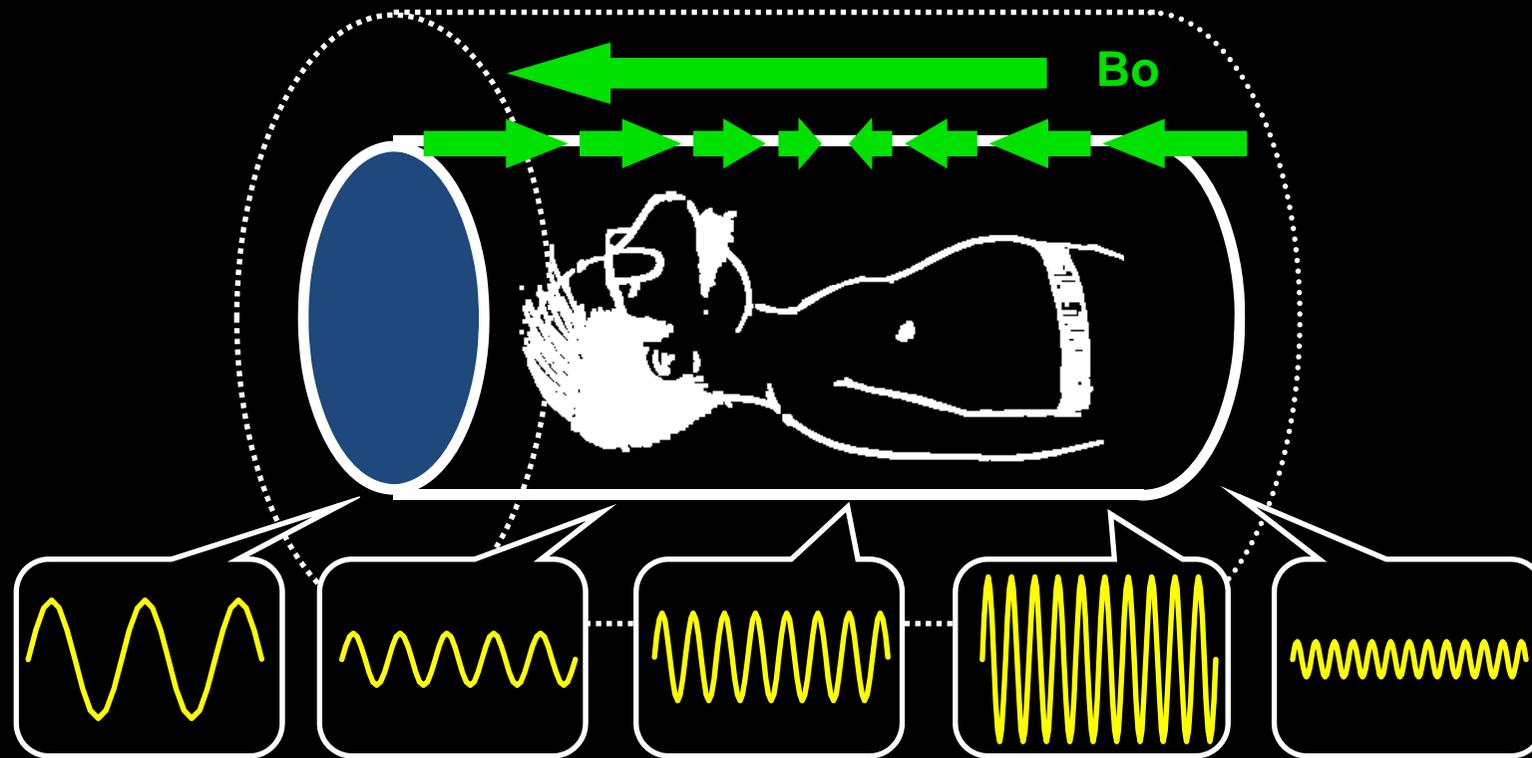
藉由磁場 (頻率) 變化判別位置



信號頻率 = 兩種頻率的加總，
在 127 MHz 附近



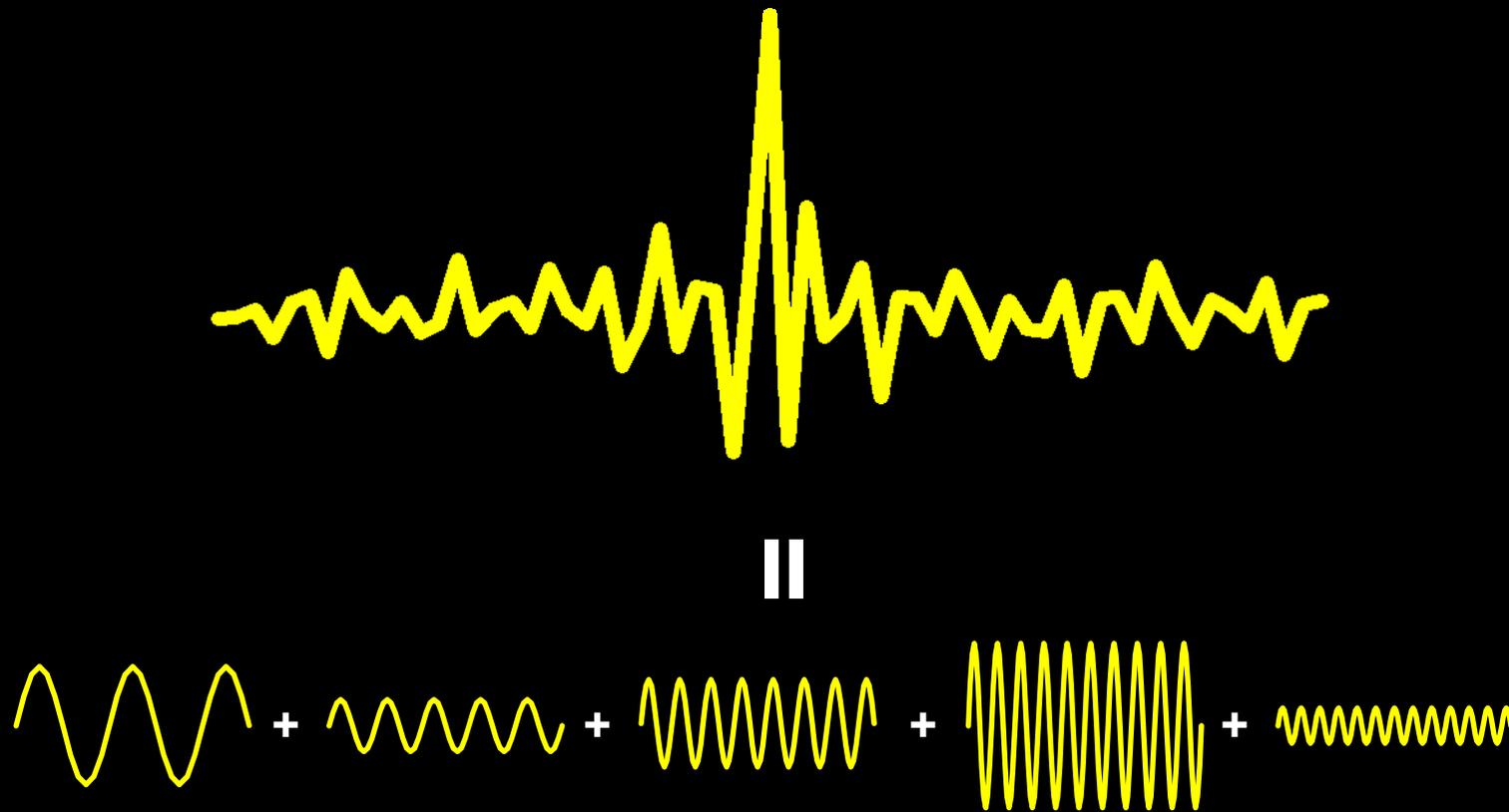
人體的空間編碼當然複雜得多



頻率 = 位置

振幅 = 氫原子核多寡

空間編碼後常見的 MRI 信號 (echo)



用數學解開各個頻率成份 (傅立葉轉換)

梯度線圈的生物效應

- 接收訊號時梯度磁場需迅速開關
- 快速磁場變化，人體又是導體 ... 磁生電
 - 病人會觸電？神經電生理受到擾亂？
 - 事實上這些現象並不明顯
- MRI的“喀啦”噪音
 - 起因：線圈的磁場變化，電流在主磁場內必受到推擠，類似馬達
 - 成像愈快，通常聲音愈大
 - 受試者需配戴耳塞或耳機

總結一下

- MRI 是什麼？
 - 磁 (magnetic) : 信號源
 - 共振 (resonance) : 激發偵測
 - 影像 (imaging) : 空間編碼

簡單的說

- 訊號源
 - 體內氫原子核在外在磁場下產生的磁矩
- 訊號激發和接收
 - 磁矩旋進 (precession)，頻率與磁場成正比 (Larmor 方程式)，產生固定頻率射頻電磁波
- 空間資訊
 - 開啟梯度時，頻率隨位置而不同
 - MRI 完全都是靠「頻率」成像
 - 解開各頻率成份的數學：傅立葉轉換

強磁場 “危險！”告示牌

- 到底是多大的磁場
 - 3 Tesla = 30000 Gauss
 - 地磁的60000倍
 - 小學生吸鐵石 ~ 50G
 - 一般磁鐵約200~300G
 - 大又重的強力磁鐵
- 注意，磁場永不關閉！！
- 即使操作平台關閉，磁場還是存在



強磁鐵的危險性之一

- 以極大吸力快速吸引鐵磁性金屬用品
 - 各種大大小小的物品都會被吸引
 - 鐵釘、剪刀、打火機、鑷子
 - 老虎鉗、鐵鎚、殺蟲劑、推車
 - 電腦、椅子、示波器、吸塵機
 - “飛射性”金屬物品的傷害 !!!!

強磁場與鐵磁性物質的危險性



椅子



打蠟機

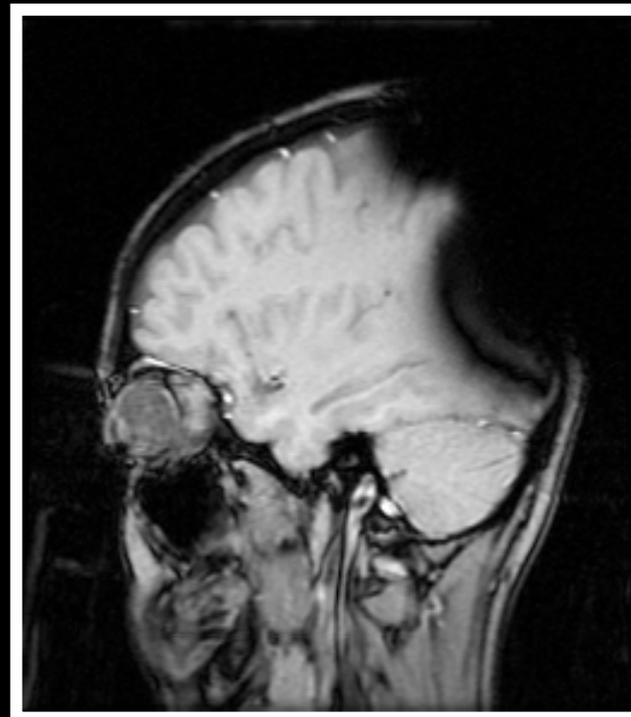
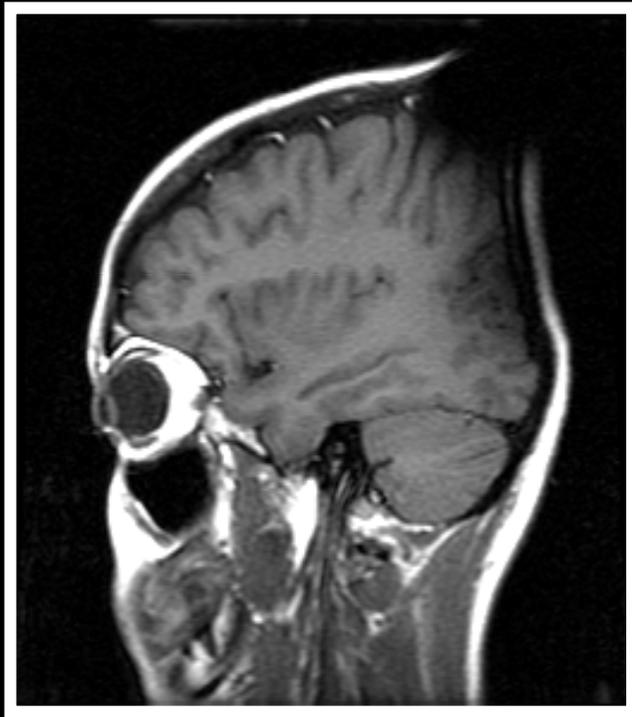
強磁鐵的危險性之二

- 影響體內金屬植入物
- 心律調節器 (pacemaker)
 - 強磁場影響下功能可能喪失
 - 現在已有可相容的心律調節器
 - 最好是謹慎一些
- 人工植入物
 - 外科手術夾、人工內耳、注射幫浦、義肢...
 - 移位或增溫引起身體不適

其他“不好”的物品

- 鐵磁性或磁性物品
 - 隨身物品：假牙、皮帶環、含鐵化粧品、髮夾、隨身磁卡(信用卡、金融卡)... 等等
- 可能會有消磁或功能喪失的的後遺症
 - 手錶、錢包、手機、各式磁卡
- 造成區域影像品質變差
 - 皮帶、零錢、筆、髮夾

不小心帶進去的鐵質髮夾

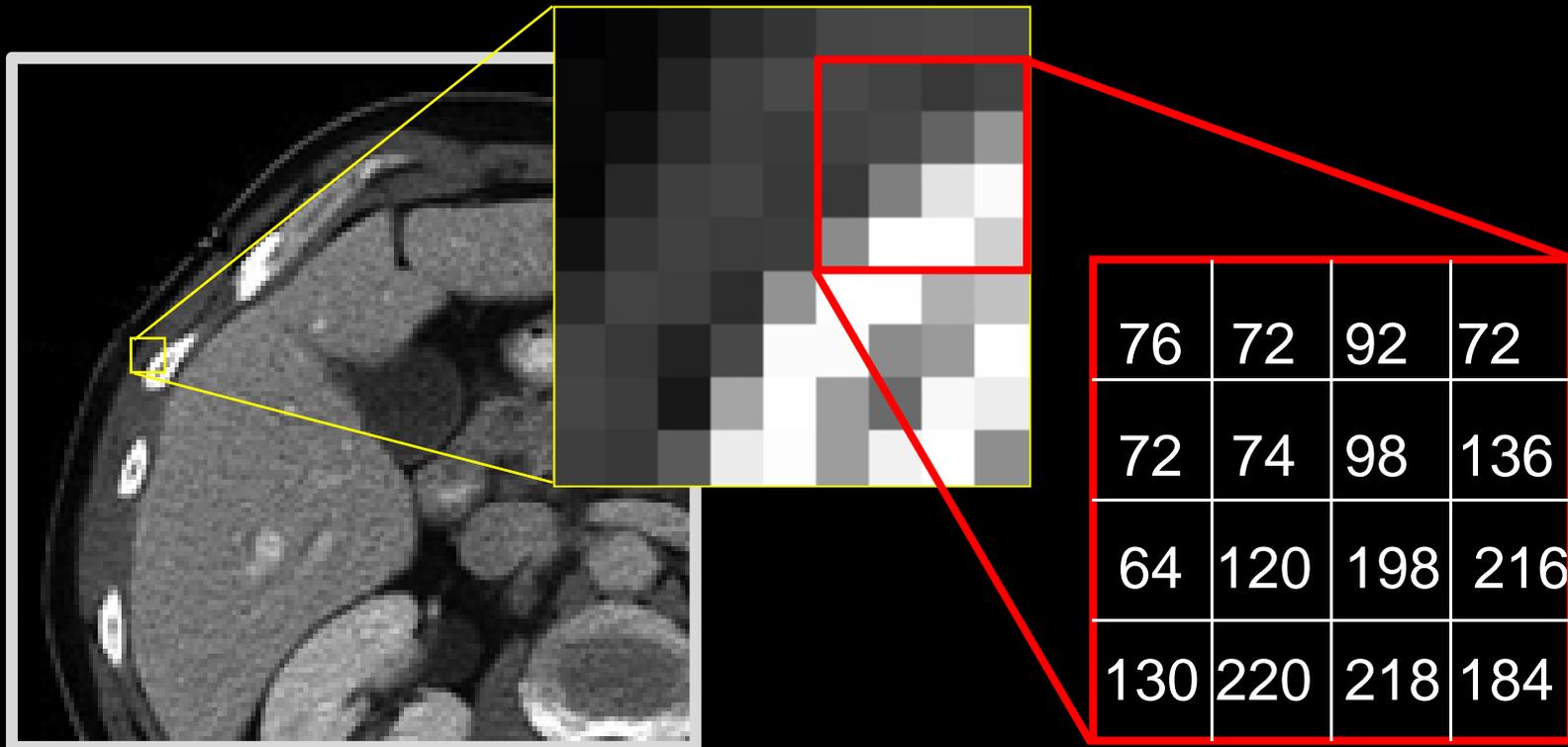


造成影像扭曲及訊號消失

磁共振影像的安全與防護

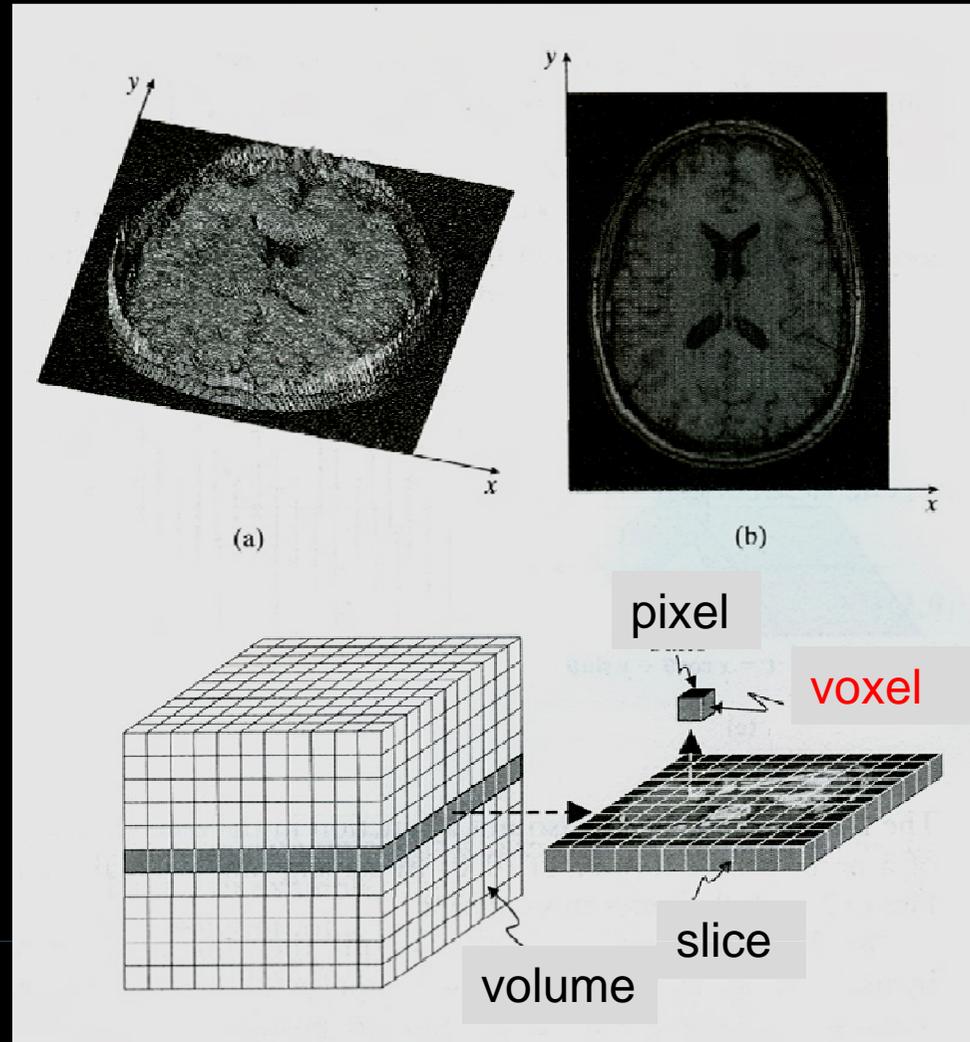
- 正常操作下，毋須擔心
- 不正常操作可能 **極為危險**！
- 事前防範的重要性
 - 不攜帶金屬物品進入MRI室
 - 受試者詳細看過說明文件
 - 遵守**操作人員**的指示
 - 閒雜人等切勿進入

磁共振影像特性

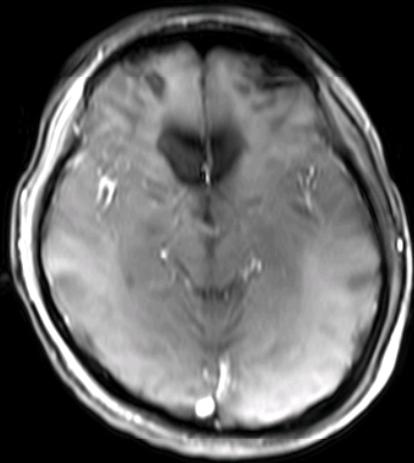
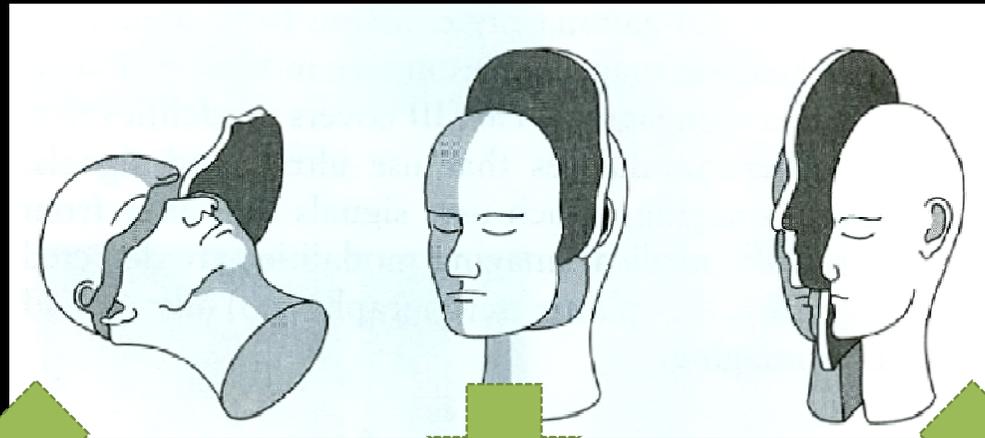


影像由許多不同亮度的相素組成

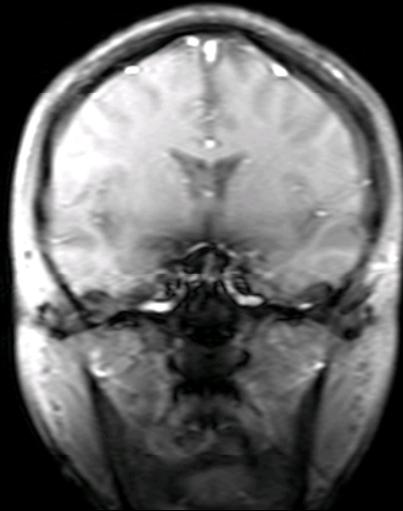
MRI是有厚度的平面影像



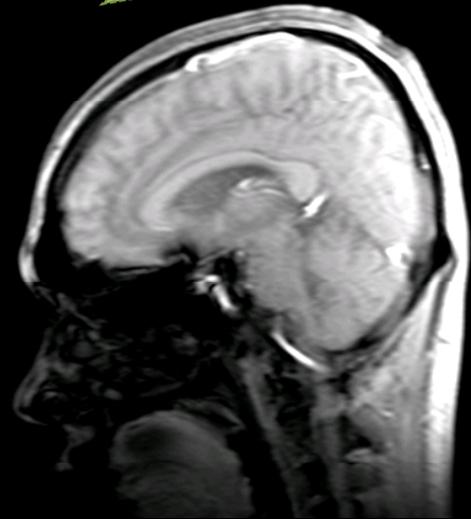
任意角度切面影像



Axial

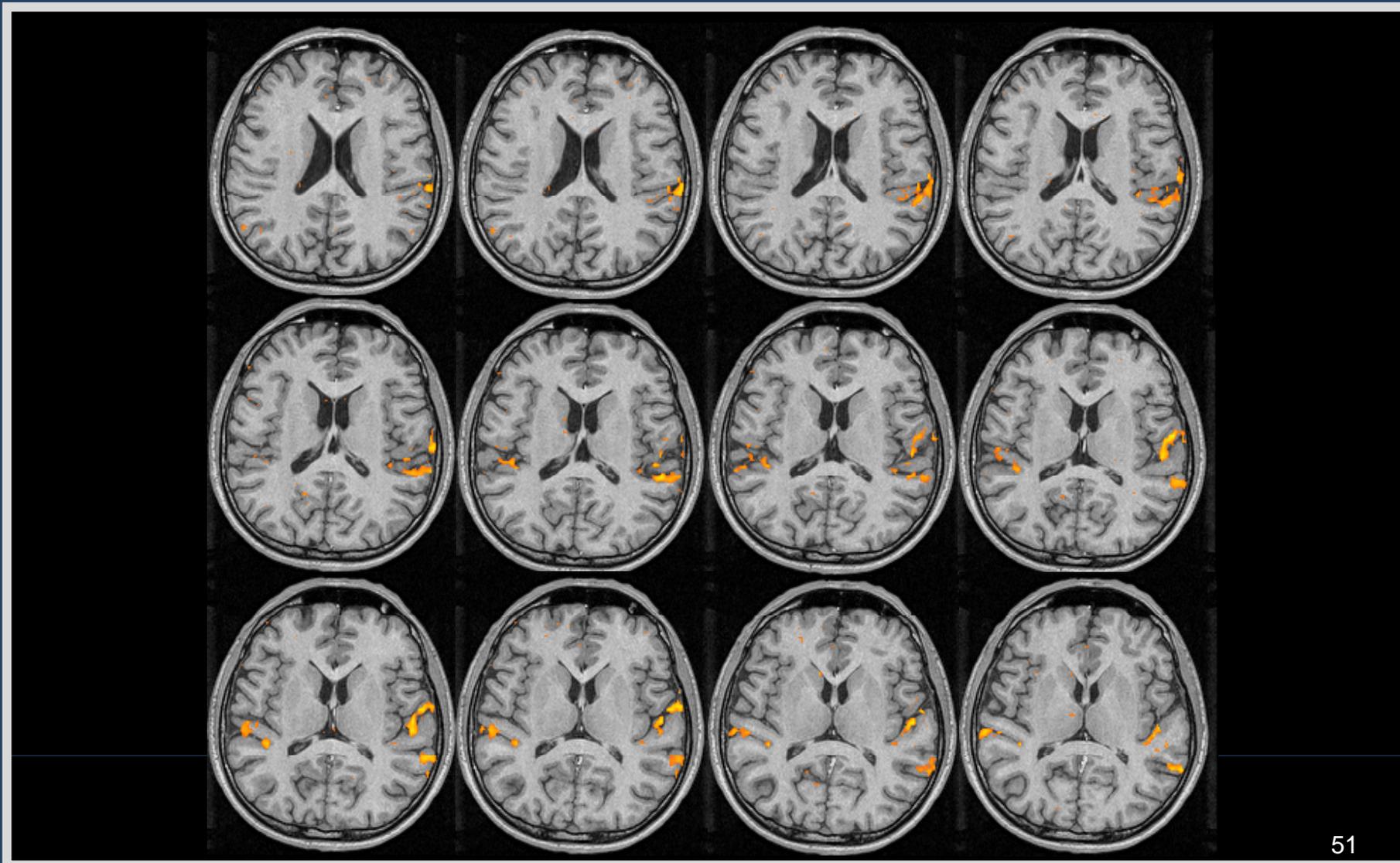


Coronal

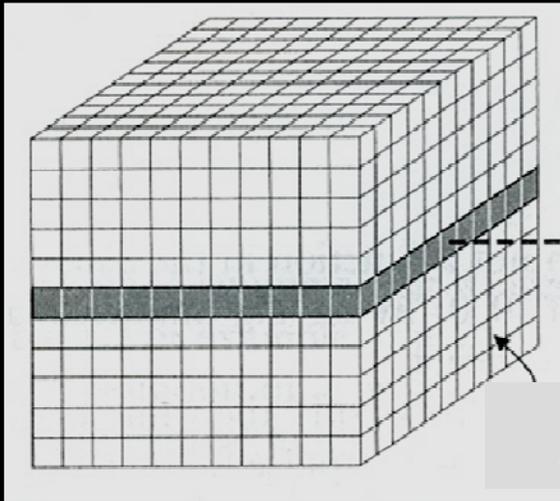


Sagittal

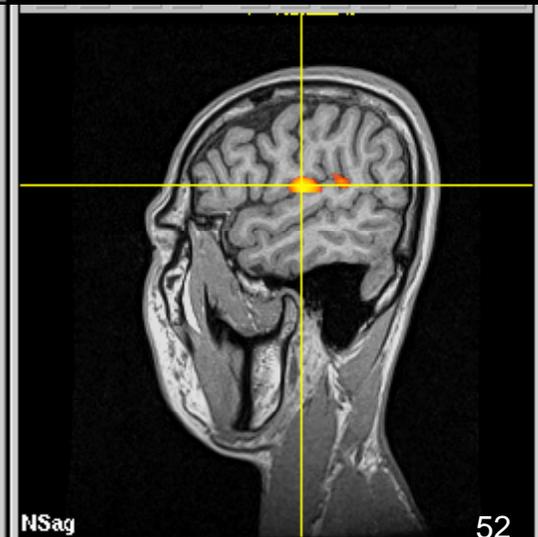
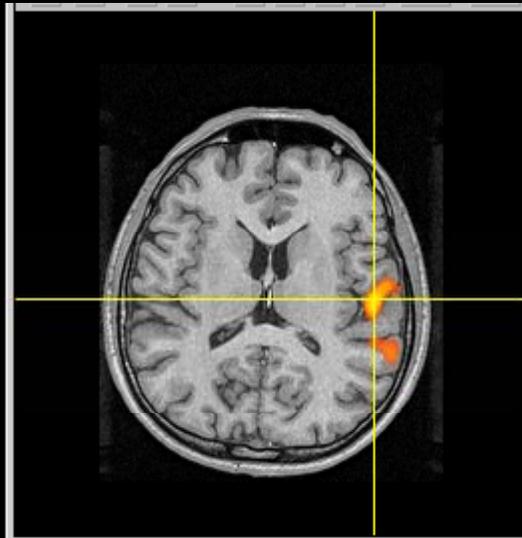
連續的二維影像



以三個正交切面呈現



由三維矩陣資料中
及時重組並呈現出
不同平面的資訊

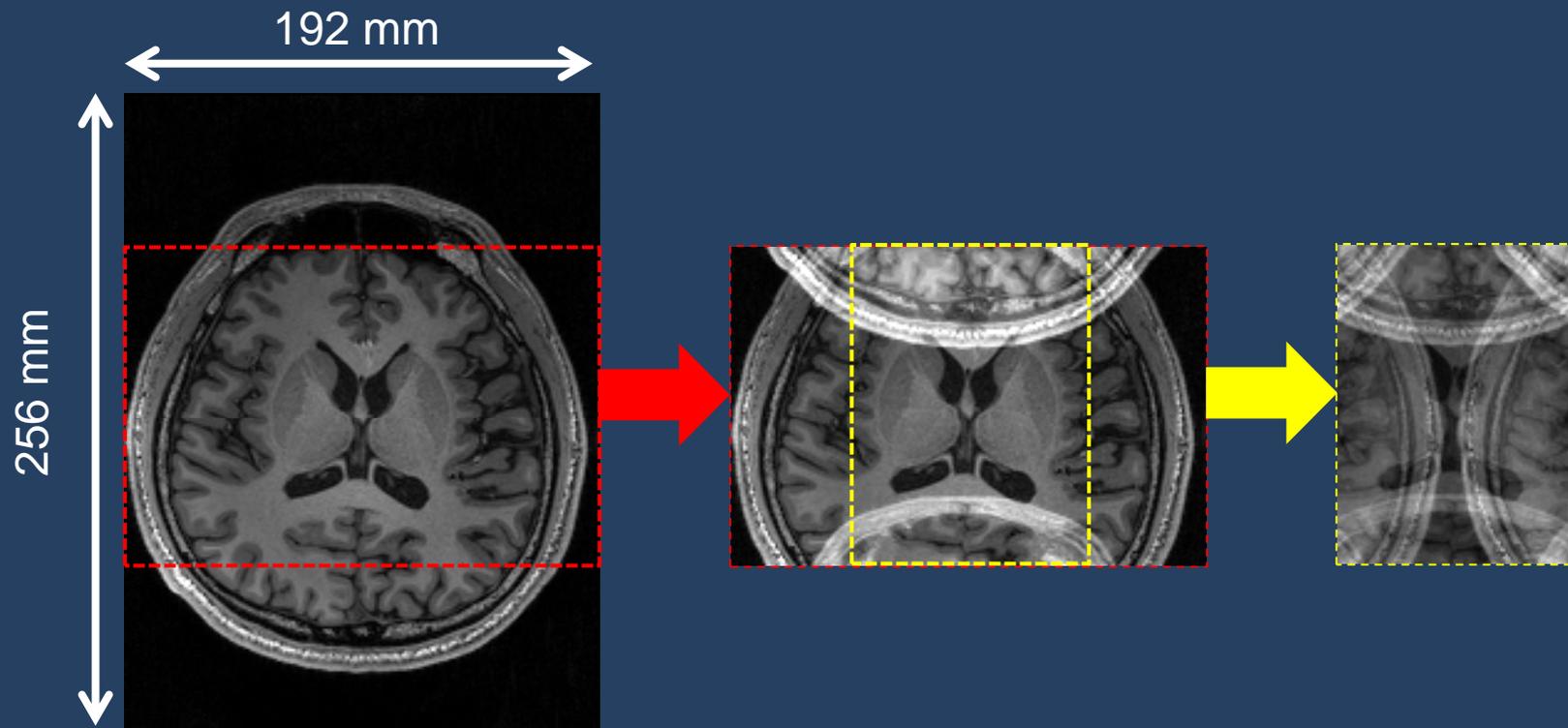


fMRI實驗參數

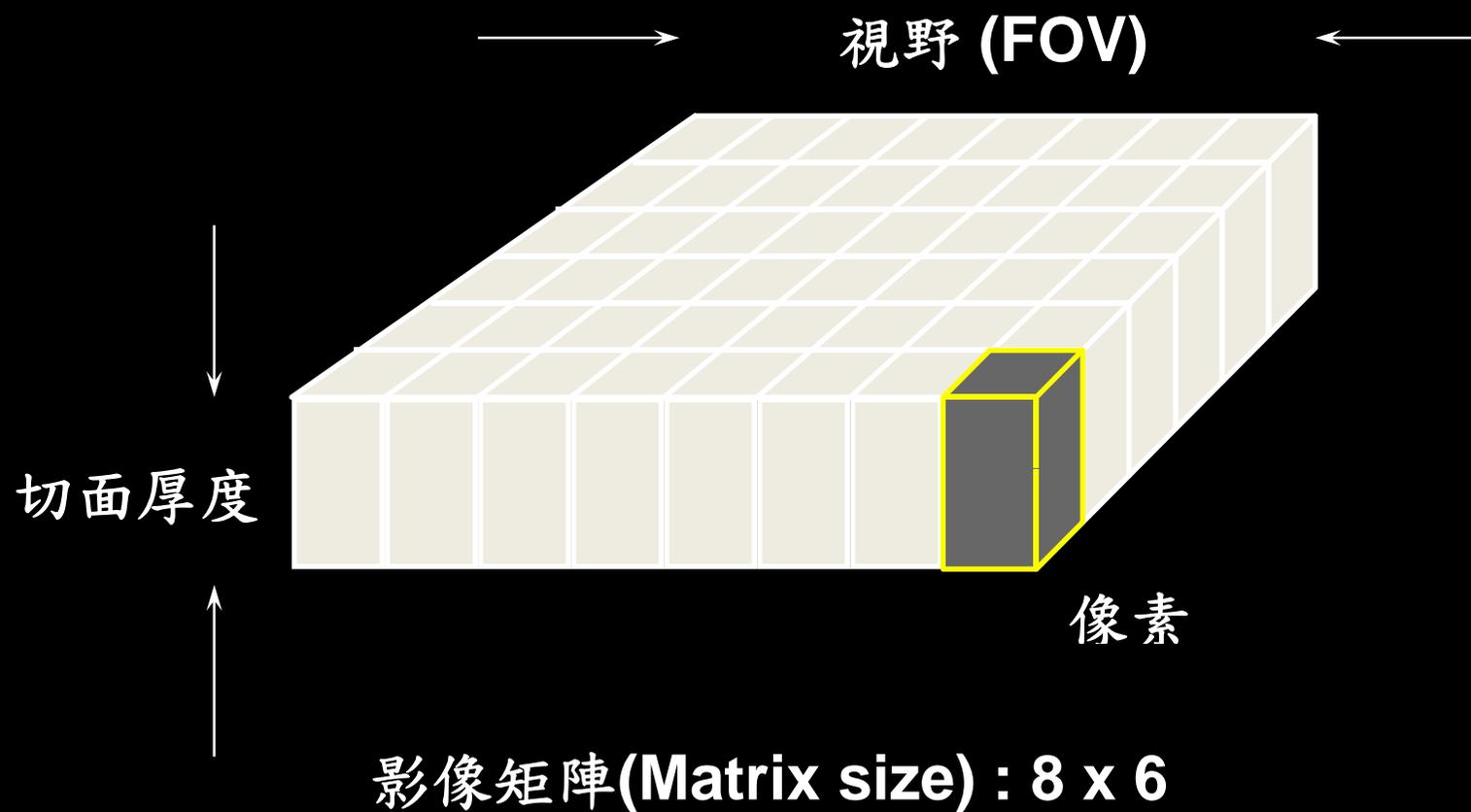
- 影像控制參數
 - Field of view (FOV) : 視野
 - Matrix size : 矩陣
 - Thickness : 厚度
 - Slice : 切面張數

視野(FOV)

- 必須大於頭部範圍
- 正方形或矩形，192 mm ~ 256 mm

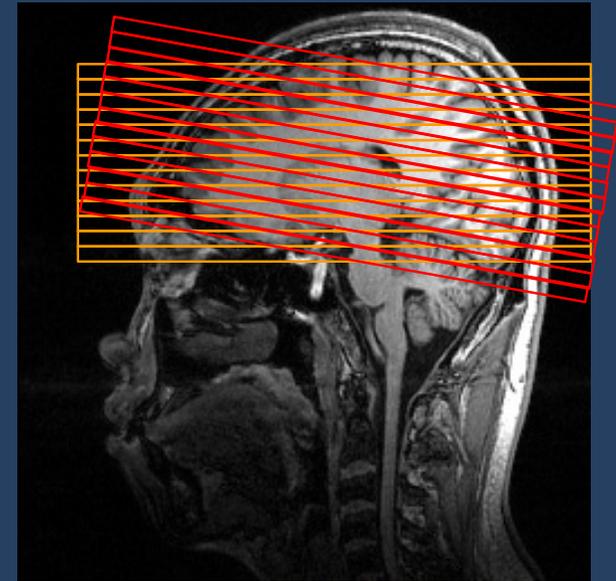


視野與解析度



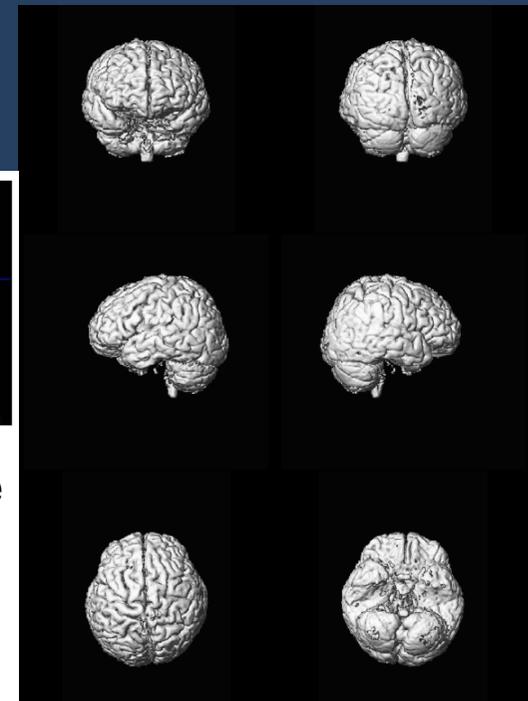
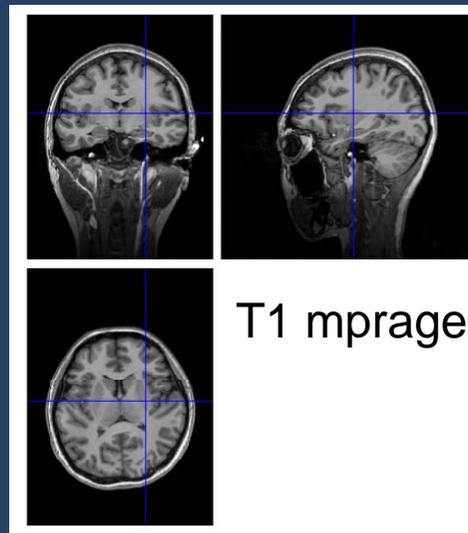
fMRI實驗中的解析度

- 矩陣大小：**64x64** ~ 128x128
- 切面厚度：**3 ~ 4 mm**
 - 覆蓋全腦需100~120 mm
 - 切面張數：**35~40**
 - 調整角度達到最大覆蓋
- 影像解析度
 - 每個體積像素(voxel)的大小
 - **3x3x3 mm³ ~ 4x4x4 mm³**



結構影像

- 高解析度T1結構影像 (MPRAGE)
 - FOV: 256x256 mm、MAT: 256x256、Slice:192, thickness: 1 mm
 - 解析度 $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$
 - 約6分鐘



fMRI實驗參數

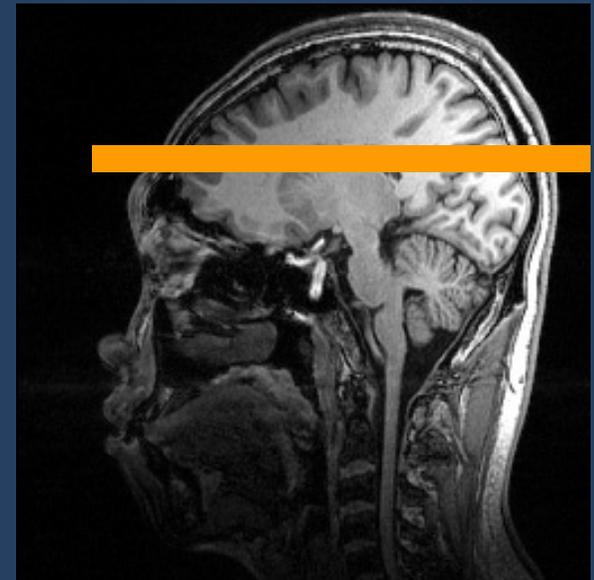
- 時序控制參數
 - Echo time (TE) : 回訊時間
 - Repetition Time (TR) : 重複時間
 - Measurement : 重複次數

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？
- 利用軟體控制，不同時間開啟關閉
 - pulse sequence (脈衝序列)
 - 變化脈衝序列可以得到不同的影像
 - 例如：EPI、GE、FLASH etc...

fMRI 影像擷取過程

- 面回訊影像 (Echo Planar Imaging, EPI)
- 一次激發搭配一次訊號擷取
- 得到單張切面影像
- 全腦影像需多次激發擷取

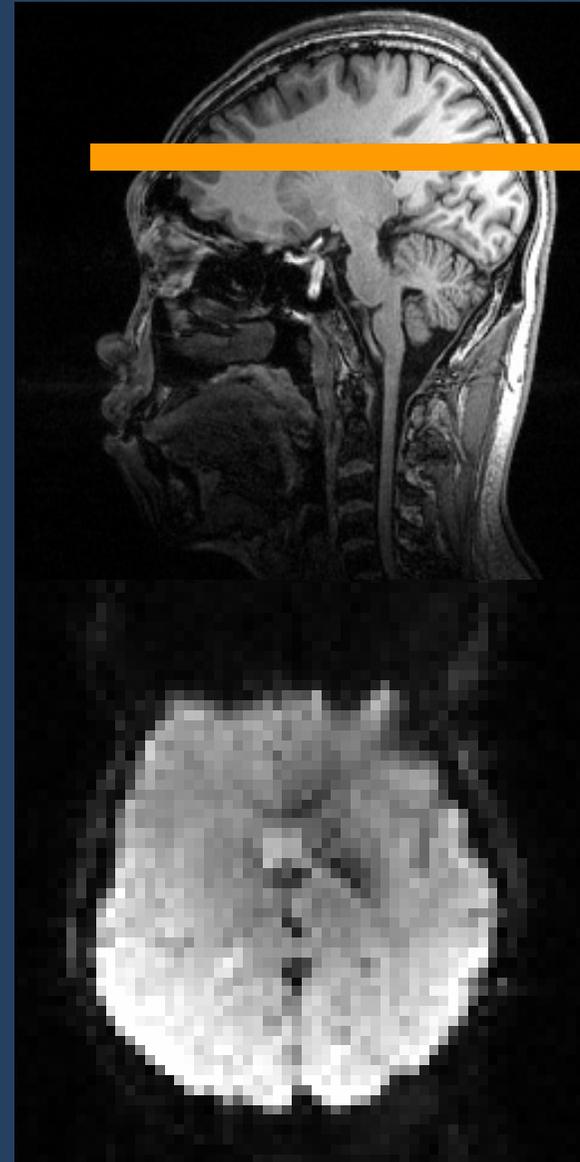
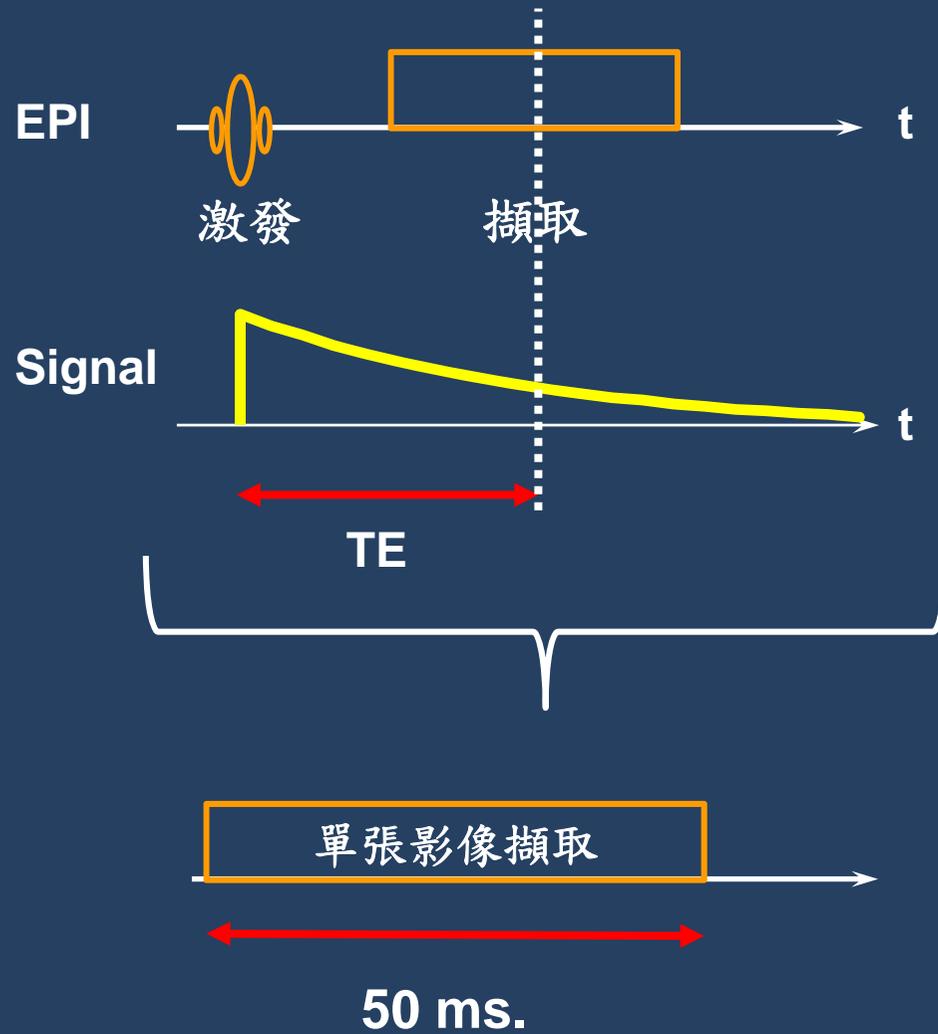


激發以後，訊號會慢慢減小

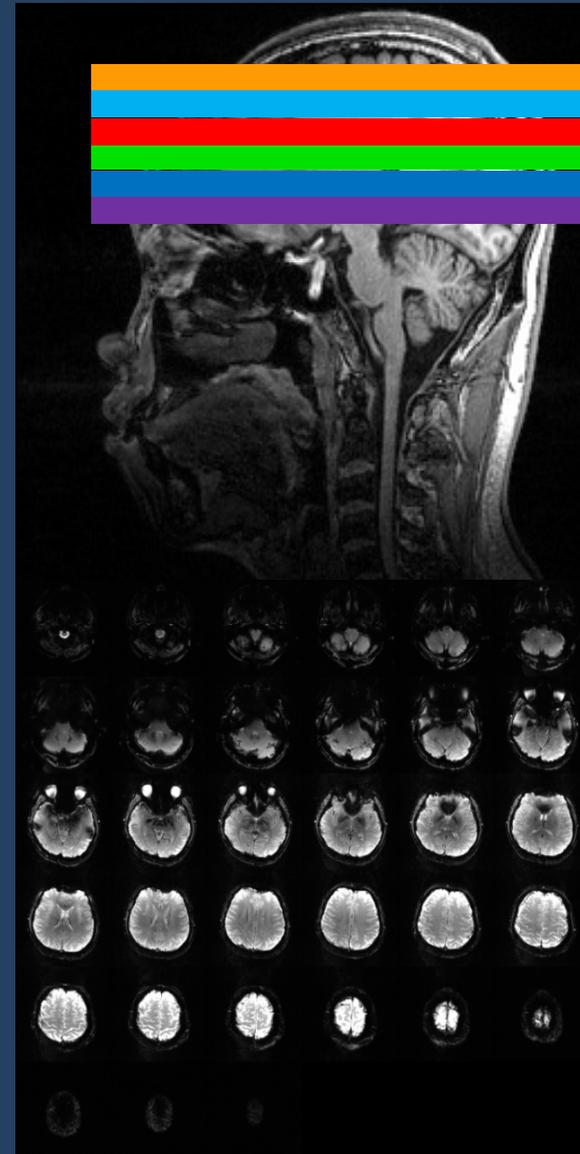
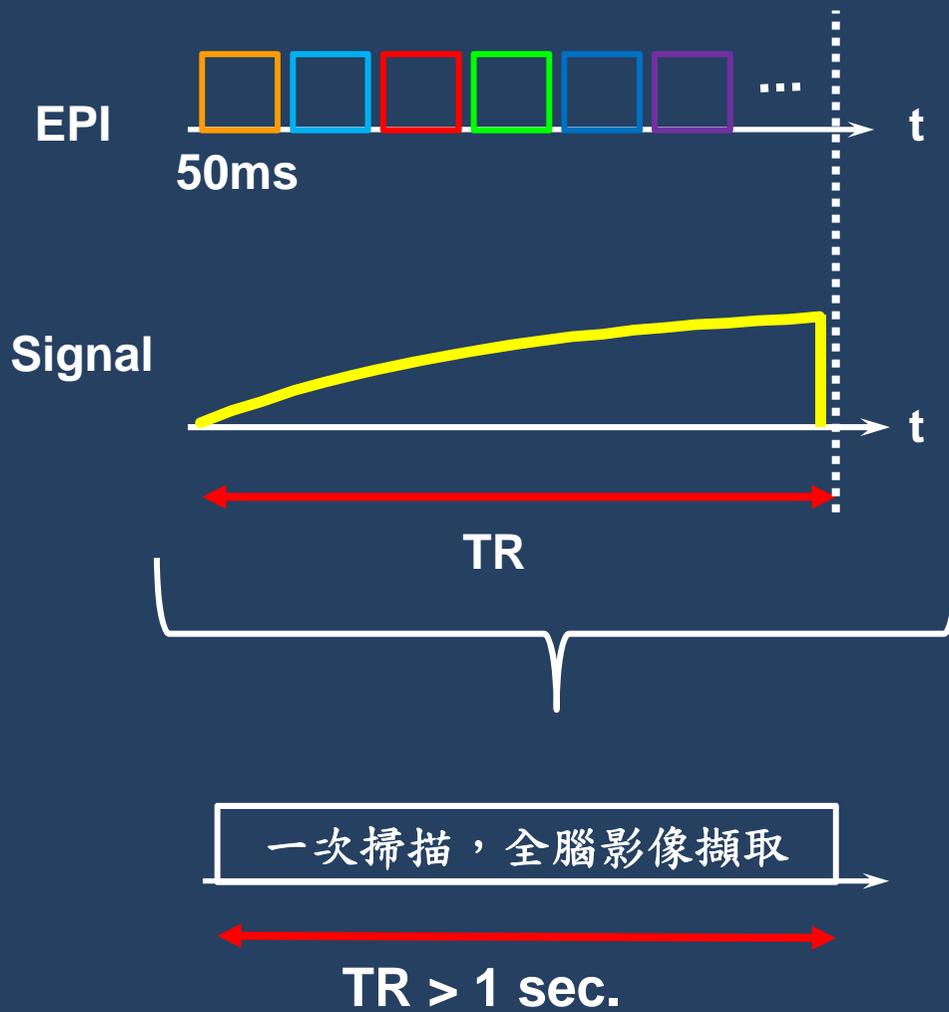
- 經過激發的磁性，會在時間久了之後恢復原狀 (熱平衡)
 - XY平面旋轉磁矩慢慢變小，接收到的訊號漸漸減少
 - Z軸磁矩慢慢回復，回復到夠大時，可以進行下一次激發



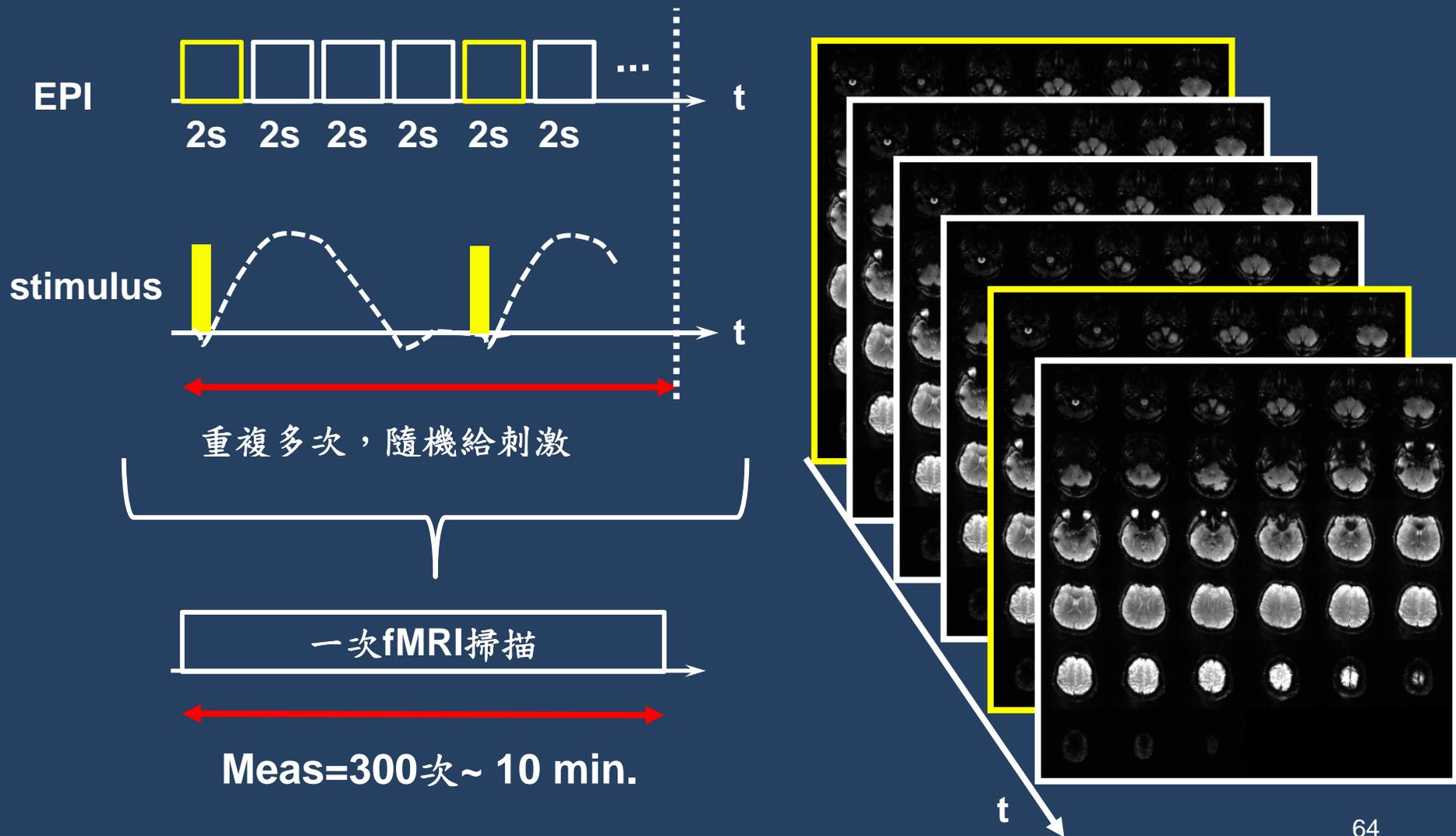
影像擷取過程-1



影像擷取過程-2



影像擷取過程-3



回覆時間(TR)

- 訊號回復的速度(T1)
 - 太短訊號尚未完全回復，訊號下降
 - > 1 sec.
- 切面張數
 - 單張切面約50 ms
 - 涵蓋全腦需多張切面
- 一般設定為 **2 sec**
- 可以根據不同實驗需求調整

回訊時間(TE)

- 根據訊號變小的快慢($T2^*$)決定
- 理論上，最佳TE剛好等於組織的 $T2^*$
- 折衷全腦的 $T2^*$
 - TE在3T下通常定為30~40 ms左右