

# MRI 原理簡介 與 EPI 特性

鍾孝文 教授  
台大電機系 三軍總醫院放射線部

1 of 83

## 開始介紹之前 ...

---

- 對人文社會學科介紹工程與物理？
  - 各位有基礎嗎？有興趣嗎？
- 整學期研究所課程濃縮成兩週？
  - 三學分、重量卻是 3-4 倍
- 絕對不可能詳細，但一定要學到東西

2 of 83

## 本堂課重點

---

- EPI 是 fMRI 最常使用的技術
  - 超快、多切面、血氧濃度資訊
- 但也是所有 MRI 技術中最不穩定、影像品質最糟、定位最不準的

3 of 83

## 拆字解釋 MRI

---

- 磁 (magnetic)：信號源
- 共振 (resonance)：激發偵測
- 影像 (imaging)：空間訊息編碼

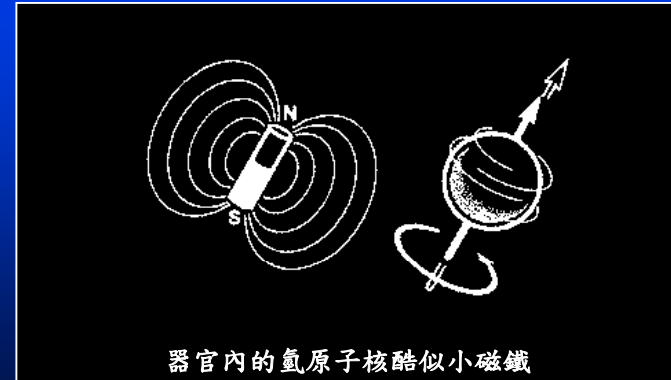
4 of 83

## 拆字解釋 (一)

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

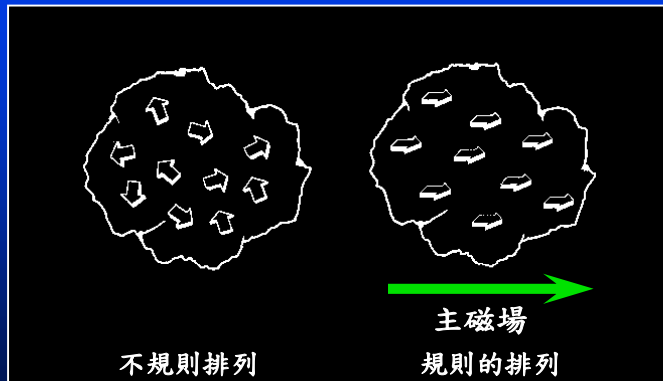
5 of 83

## “器官小磁鐵”



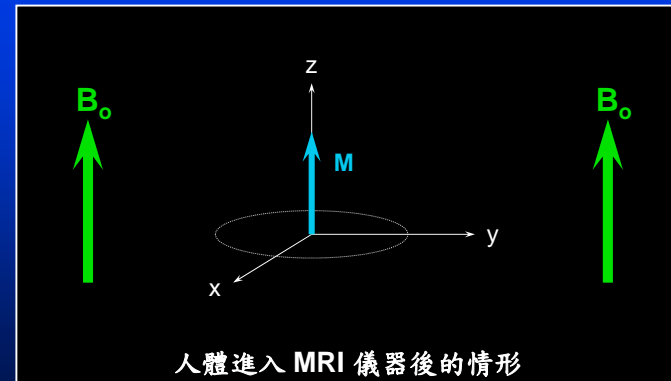
6 of 83

## 外加磁場對氫原子核小磁鐵的影響



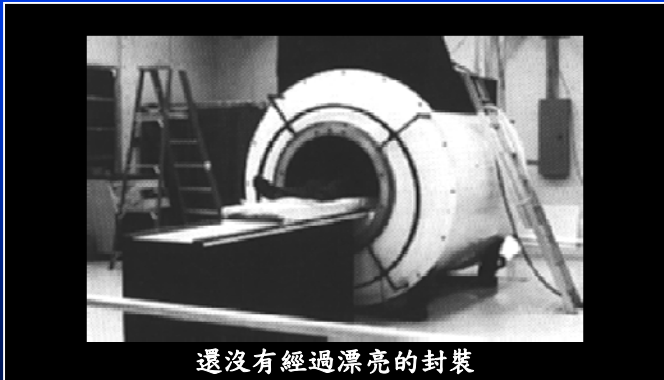
7 of 83

## 畫成座標軸的示意圖



8 of 83

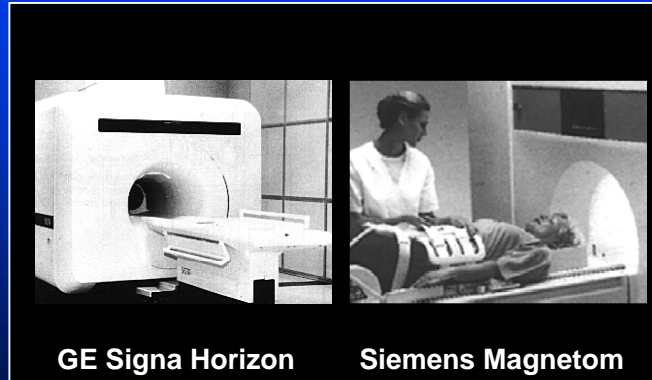
## MRI 超導體電磁鐵實體圖



還沒有經過漂亮的封裝

9 of 83

## 磁共振影像儀 (MRI Systems)



GE Signa Horizon

Siemens Magnetom

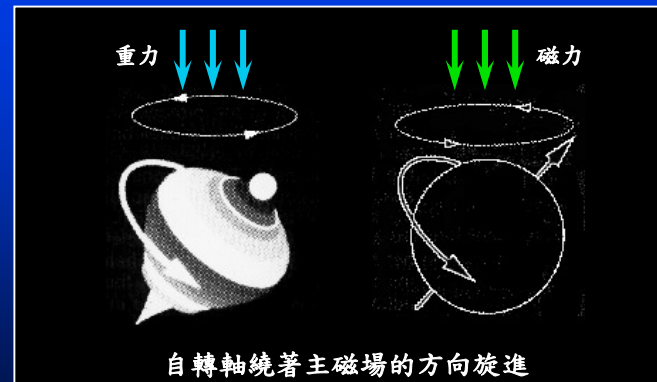
10 of 83

## 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
  - 自轉運動抗拒磁力吸引 (陀螺)

11 of 83

## 磁場中的氫原子核旋進現象



自轉軸繞著主磁場的方向旋進

12 of 83

## 旋進的快慢

- 與磁場成正比 (Larmor equation)
  - $\omega$  (頻率) =  $\gamma$  (比例常數)  $B_0$  (磁場)
- 磁性旋進 = 感應電流
- 128 MHz @ 3.0 Tesla

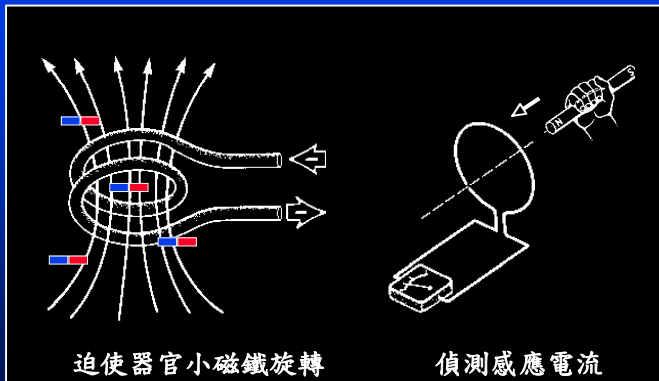
13 of 83

## 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

14 of 83

## 射頻激發與信號偵測



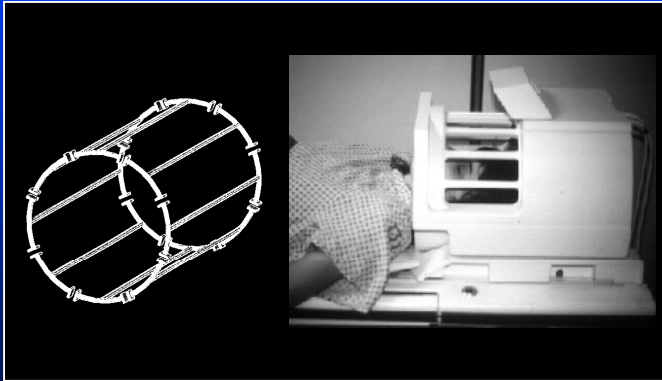
15 of 83

## 表面線圈 (Surface Coils)



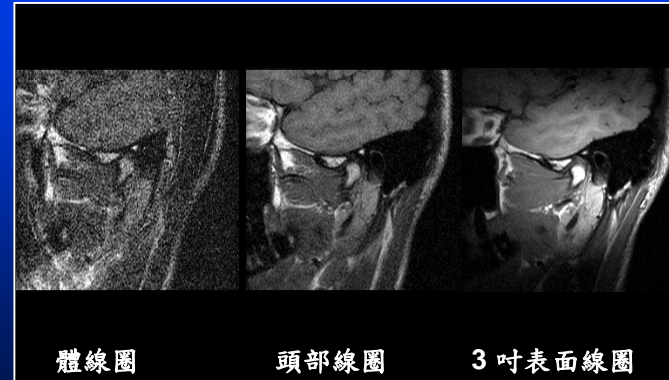
16 of 83

### 鳥籠式頭部線圈 (Head Coil)



17 of 83

### 不同線圈的影像比較



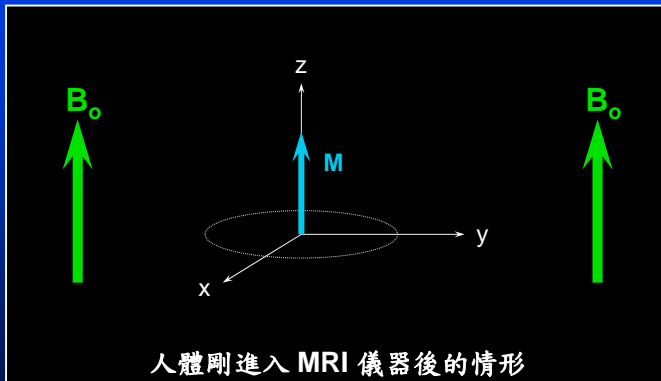
體線圈

頭部線圈

3吋表面線圈

18 of 83

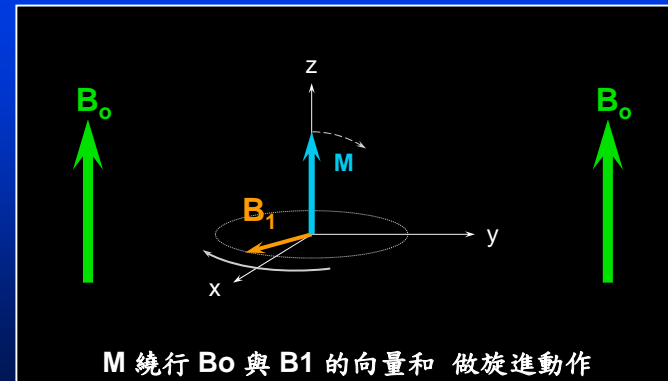
### 激發、偵測、與旋進的關係



人體剛進入 MRI 儀器後的情形

19 of 83

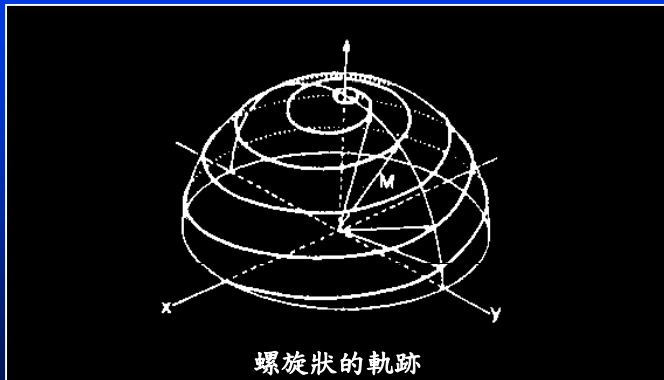
### 加入 RF pulse (旋轉磁場) 後 ...



M 繞行  $B_0$  與  $B_1$  的向量和 做旋進動作

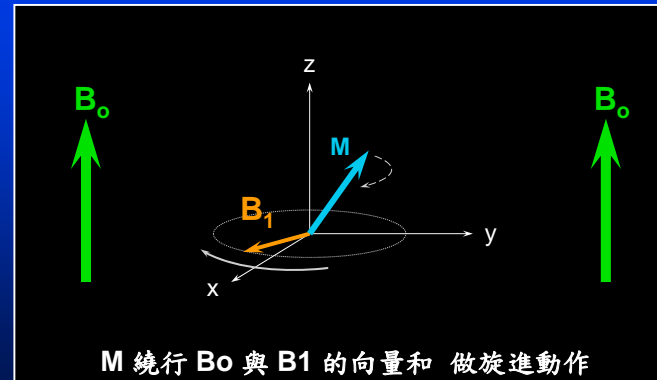
20 of 83

### 磁向量 $M$ 經射頻激發後的運動路徑



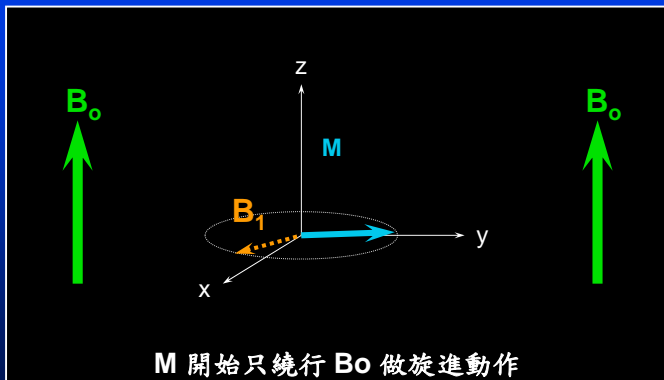
21 of 83

### 加入 RF pulse (旋轉磁場) 後 ...



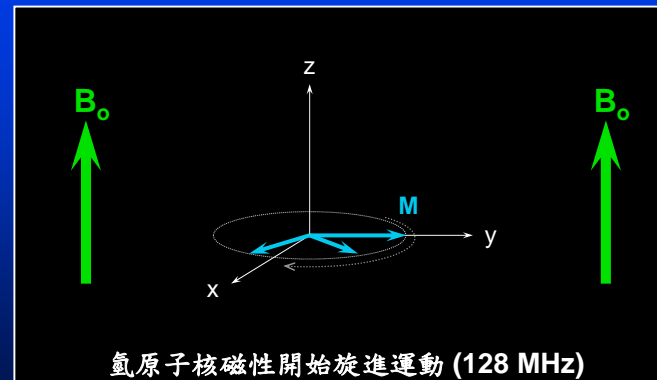
22 of 83

### 一段時間後關掉 RF pulse



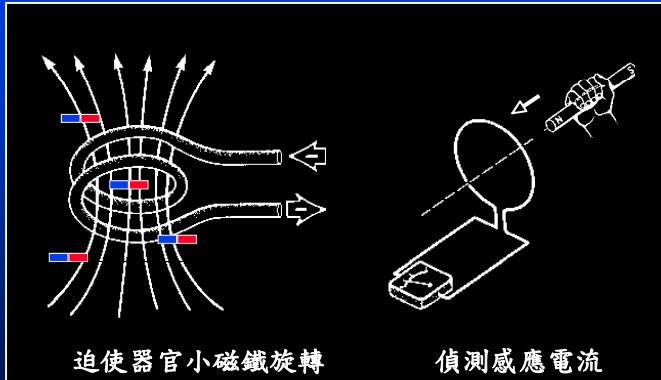
23 of 83

### 激發脈衝關閉



24 of 83

### 射頻激發與信號偵測



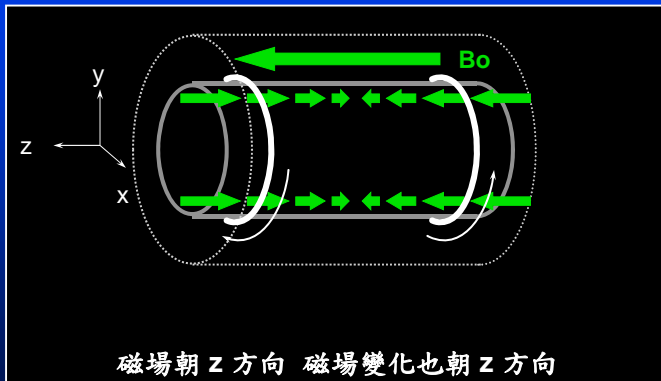
25 of 83

### 拆字解釋 (三)

- 影像 (imaging) : 空間訊息編碼
  - 靠「隨位置變化」的磁場
  - 梯度線圈 (gradient coil)
  - x, y, z 每個方向各一個

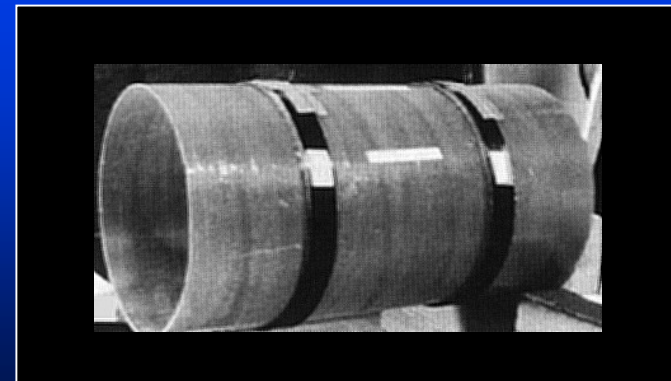
26 of 83

### z 梯度



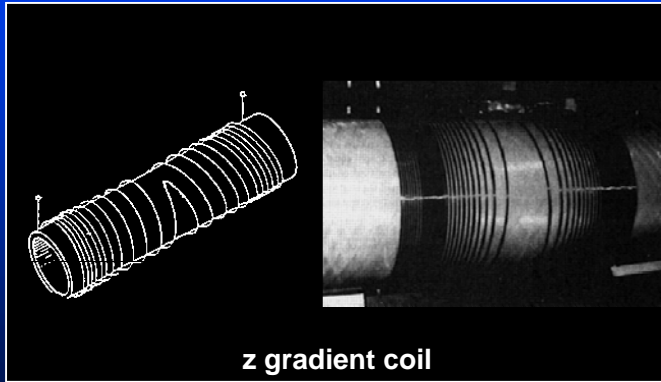
27 of 83

### z 梯度線圈實體圖



28 of 83

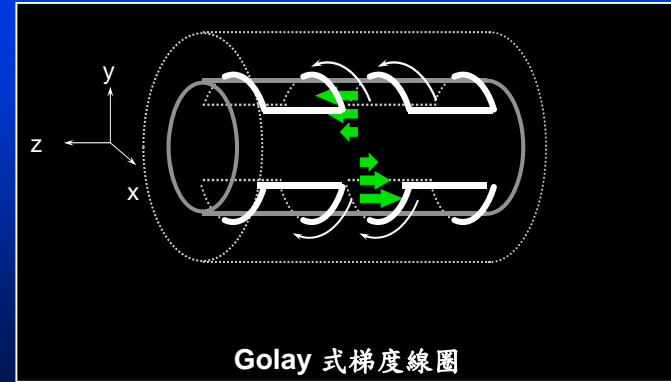
### 更精確的 z 梯度線圈



z gradient coil

29 of 83

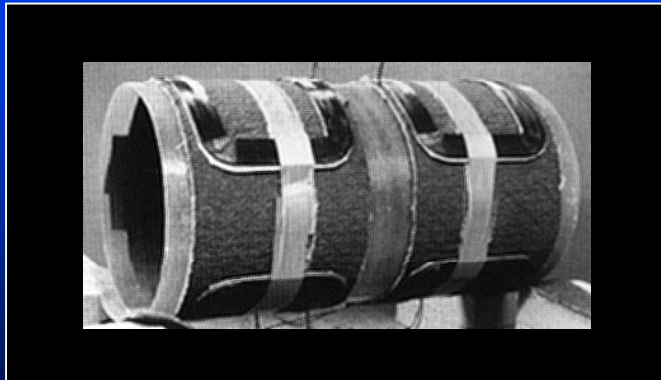
### y 梯度線圈



Golay 式梯度線圈

30 of 83

### y 梯度線圈實體圖



31 of 83

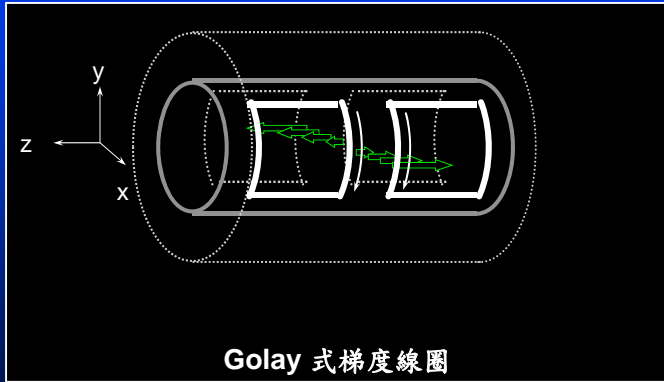
### 梯度線圈的「方向」

- 磁場仍是朝著 z 方向
- 只是磁場大小隨著某個方向變化
- y 梯度係指「z 方向磁場隨 y 方向位置不同而改變」

32 of 83

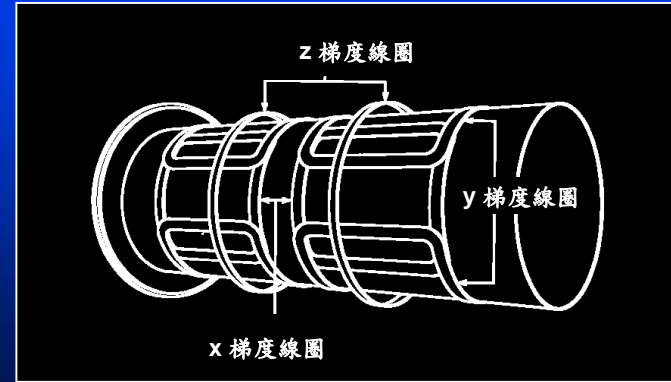


### x 梯度線圈



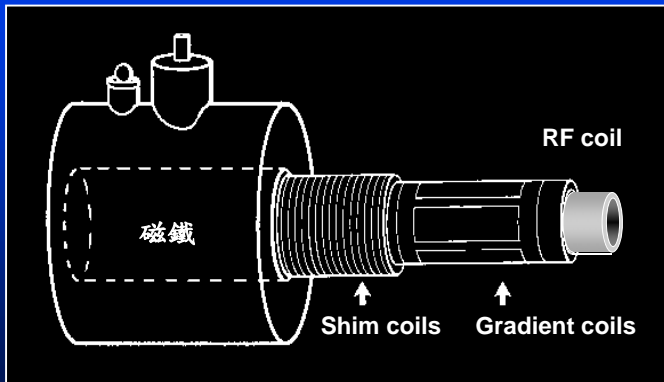
33 of 83

### x, y, z 梯度線圈組的裝置情形



34 of 83

### MRI 主要儀器元件



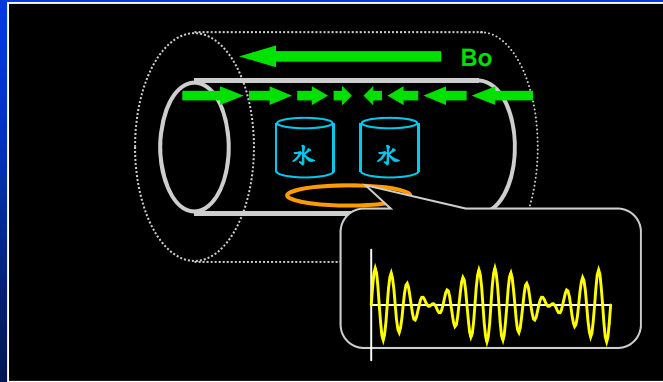
35 of 83

### 有了梯度要做什麼？

- 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

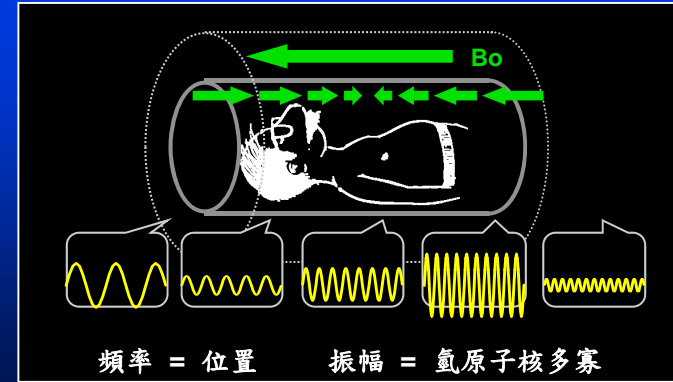
36 of 83

### 藉由磁場 (頻率) 變化判別位置



37 of 83

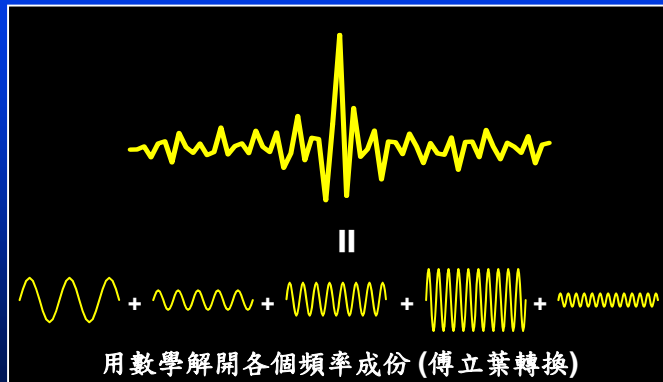
### 人體的空間編碼當然複雜得多



頻率 = 位置      振幅 = 氫原子核多寡

38 of 83

### 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)

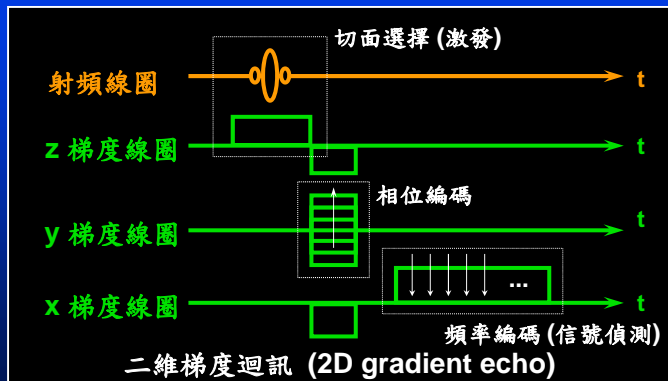
39 of 83

### 綜合討論

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

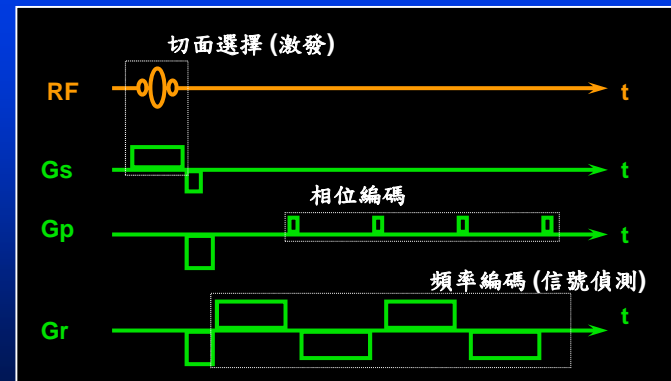
40 of 83

## 完整的成像過程 (脈衝序列)



41 of 83

## 另一種成像方式 (fMRI 常用的 EPI)



42 of 83

「呃 ... 好像太快了 ...」

- 我已經飄完一個月進度 ...
  - 早就說過不可能詳細嘛!
- 但是沒關係，會繼續折磨各位

43 of 83

以下請先背起來

- MRI 成像：旋進 (precession)
- 頻率與磁場成正比 (Larmor 方程式)
- 開啟梯度時，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

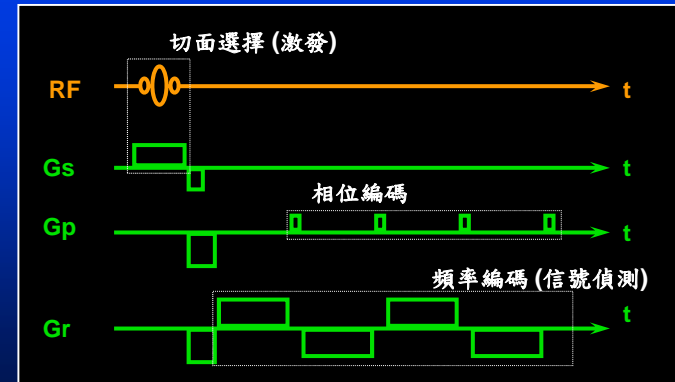
44 of 83

## MRI 的成像脈衝序列

- 切面選擇 (slice selection)
  - 梯度 + RF excitation
- 相位編碼 (phase encoding)
  - 在信號接收之前的梯度
- 頻率編碼 (frequency encoding)
  - 梯度 + 信號接收

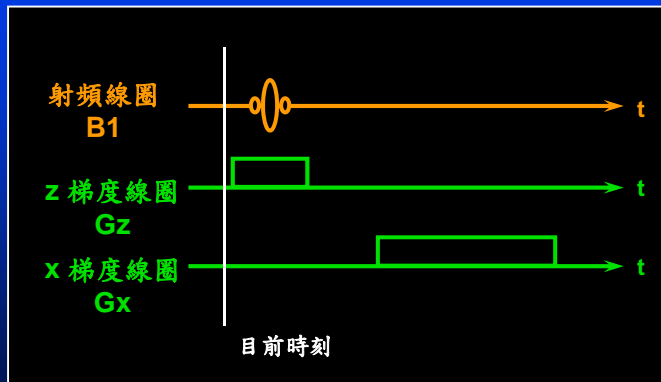
45 of 83

## 以 EPI 為例 (先看上下就好)



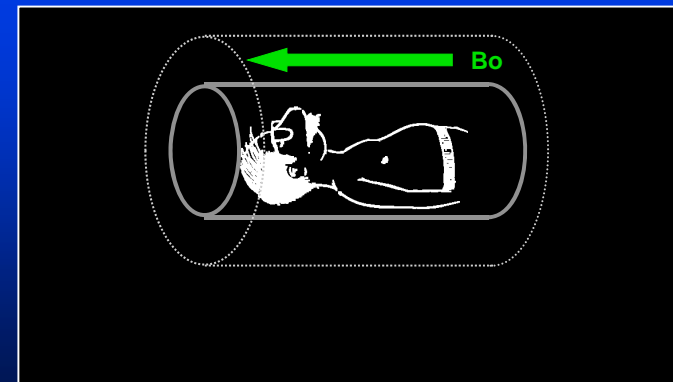
46 of 83

## 稍微簡化一下



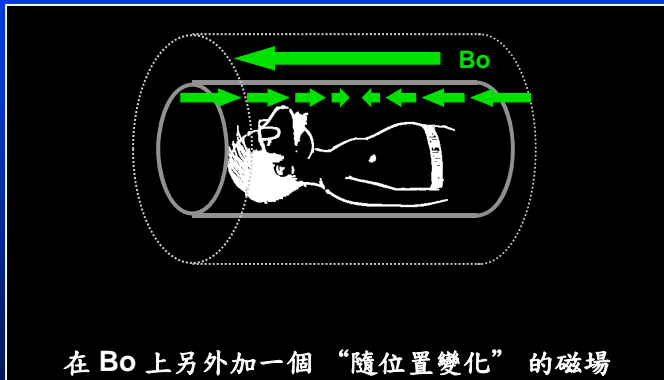
47 of 83

## 人先躺進磁場內



48 of 83

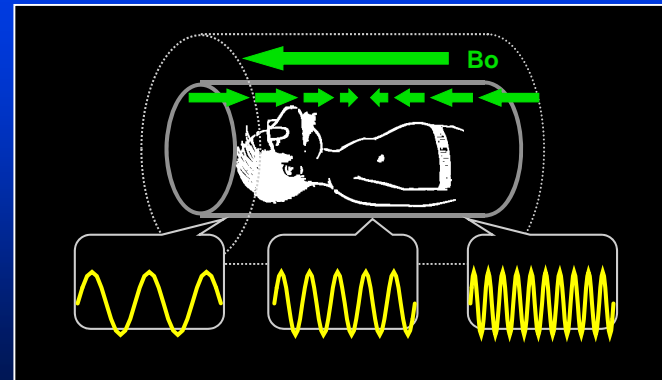
開梯度製造“隨位置改變”的磁場



在  $B_0$  上另外加一個“隨位置變化”的磁場

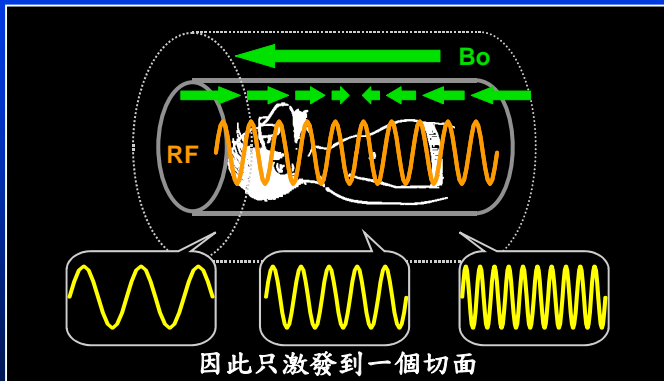
49 of 83

共振頻率因而亦“隨位置改變”



50 of 83

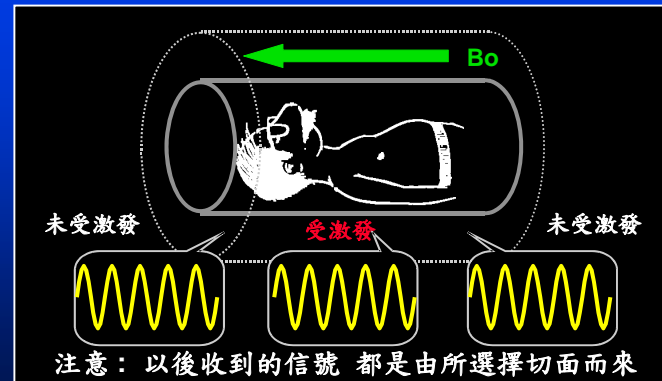
射頻脈衝只激發頻率相同的氫原子核



因此只激發到一個切面

51 of 83

$z$  梯度關閉，共振頻率回歸統一



未受激發

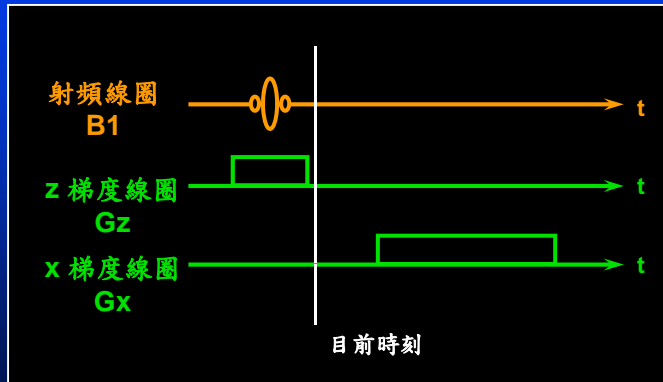
受激發

未受激發

注意：以後收到的信號 都是由所選擇切面而來

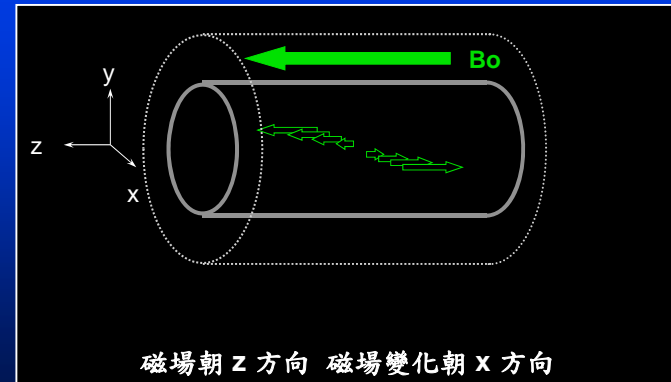
52 of 83

### 脈衝序列



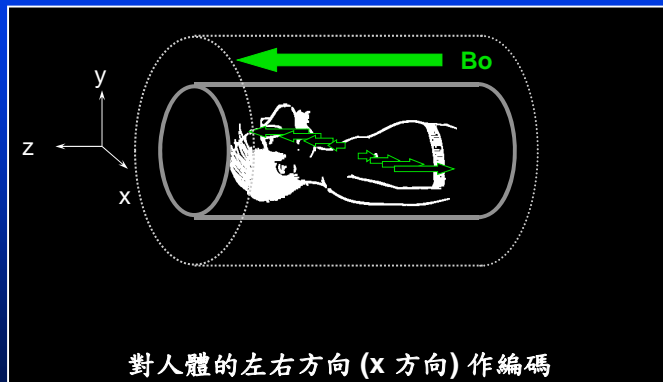
53 of 83

### 開 x 梯度



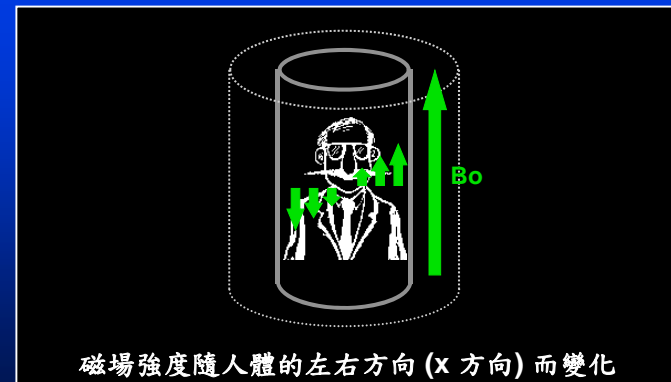
54 of 83

### 開 x 梯度



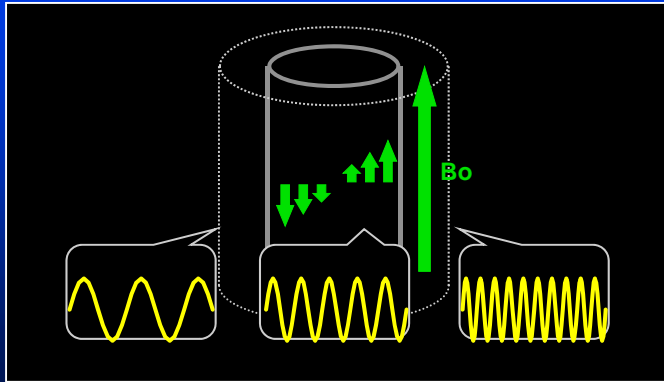
55 of 83

### 轉個方向來看



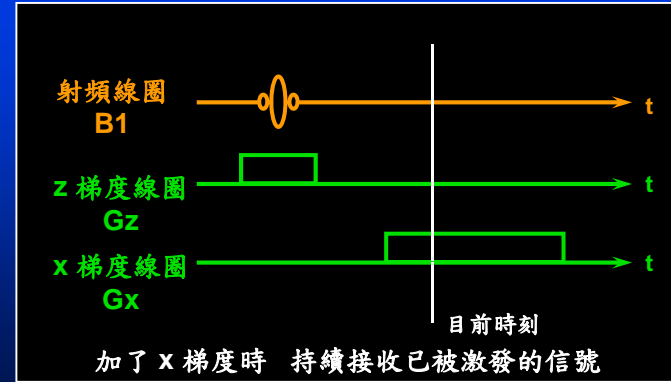
56 of 83

### 氫原子核旋進頻率隨 x 位置而變化



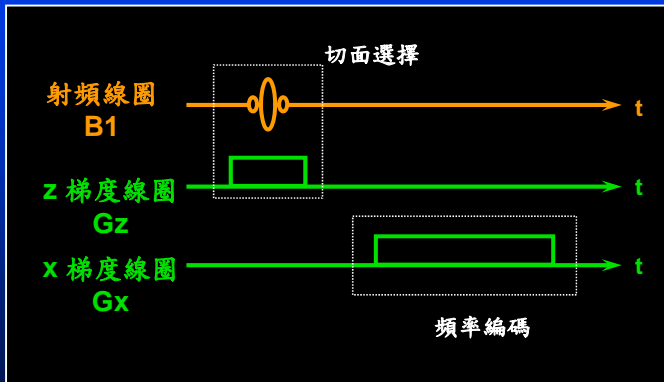
57 of 83

### 簡化版脈衝序列



58 of 83

### 脈衝序列



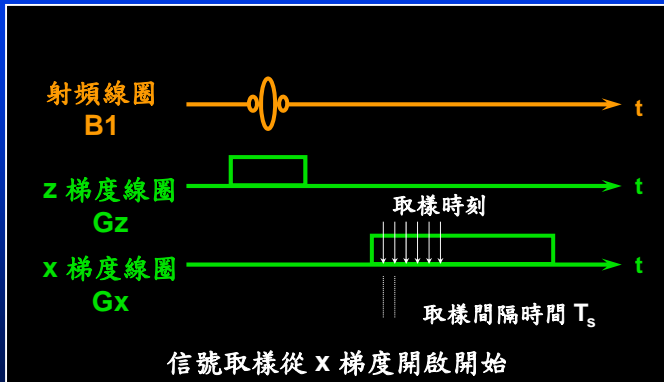
59 of 83

### 繼續加以複雜化

- 頻率編碼 = 開梯度 + 讀取信號
  - 隔一段時間「取樣」一個電壓值
  - 類似電影的連續拍攝
- 相位編碼 = 頻率編碼拆開成許多次
  - 類似「金剛」電影拍攝過程

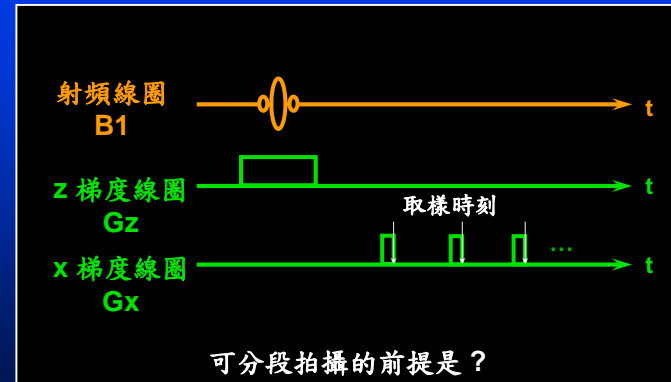
60 of 83

## 脈衝序列中的 切面選擇與 頻率編碼



61 of 83

## 連續拍攝 → 分段拍攝



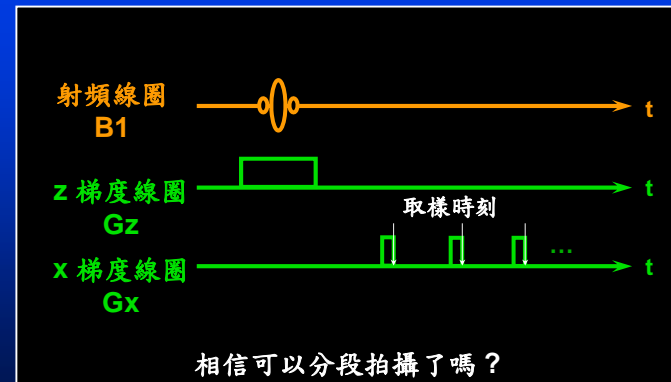
62 of 83

## 為什麼可以分段取信號？

- 梯度關閉期間，人體的磁矩只會在  $3T$  影響下旋進
- 而旋進頻率是已知的 (可預測)
- 實際上，信號讀取時的頻率，都是「與 128 MHz 的差異」的相對值

63 of 83

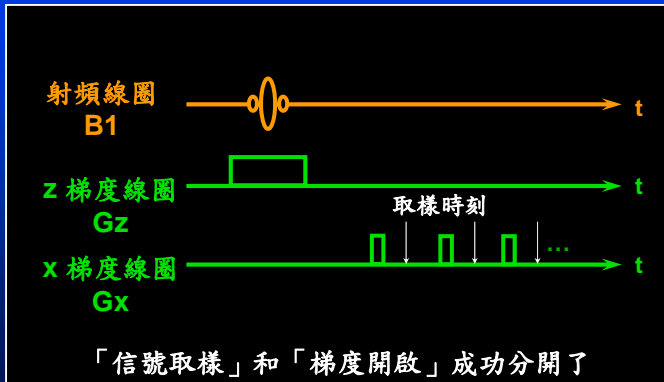
## 這是剛剛的圖



64 of 83

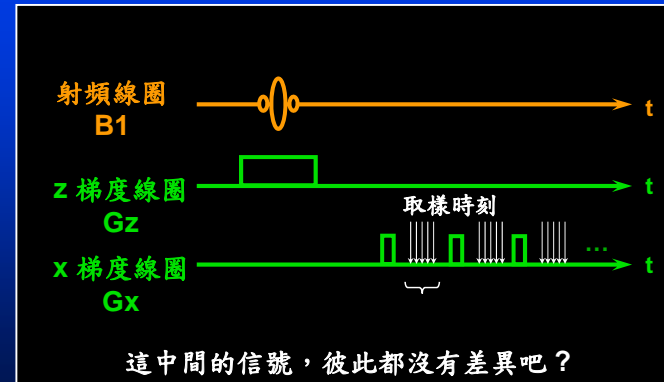


再改變一點點... 也沒差吧?



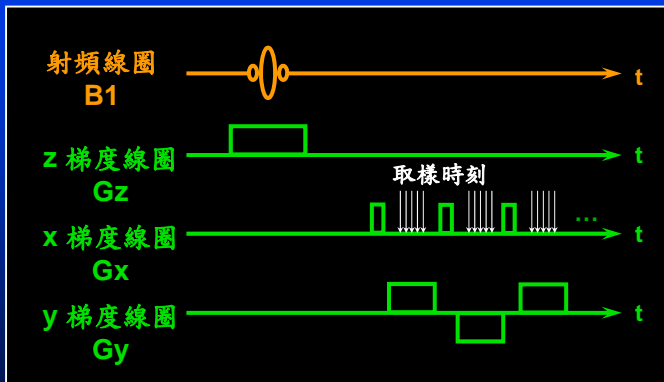
65 of 83

再改變一點點!



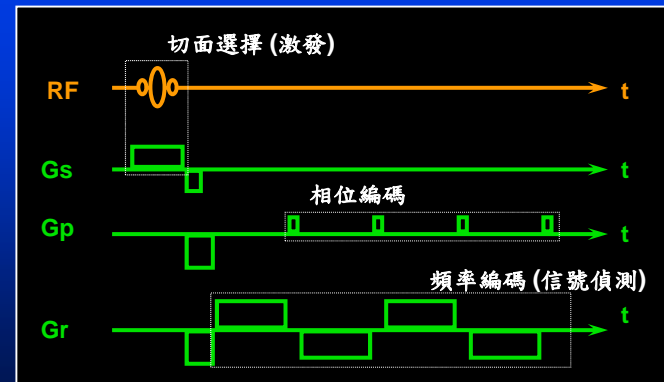
66 of 83

既然沒差，就來做另一個方向的編碼



67 of 83

哈! Echo Planar Imaging 完成了



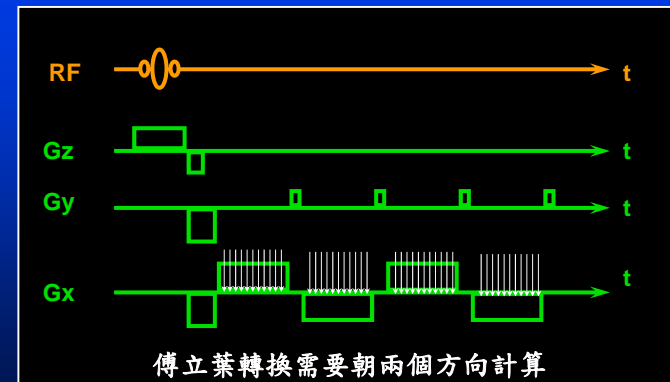
68 of 83

## 這樣是不夠的！

- 以上說明是 EPI 的極度簡化版
  - 大概又省略了 1/3 個學期左右 ...
- 但您可以藉此瞭解影像扭曲的原因
  - 因此知道為什麼影像那麼爛 ...

69 of 83

## 再畫一遍 Echo Planar Imaging



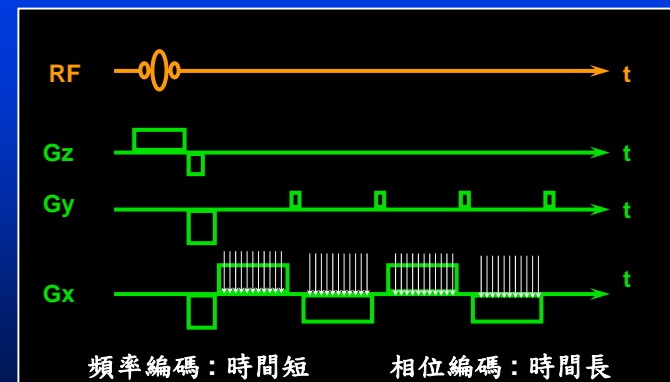
70 of 83

## 好啦！分段拍攝的前提？

- 梯度關閉期間，人體的磁矩只會在 3T 影響下旋進
- 而旋進頻率是已知的 (可預測)
- 如果磁場強度不正確呢？
  - 空間編碼錯誤 → 位置誤判

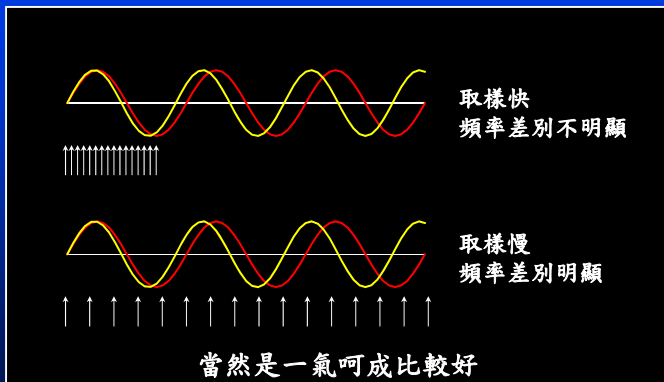
71 of 83

## 磁場到處不同時，那個方式好？



72 of 83

### 磁場不同 → 旋進頻率不同



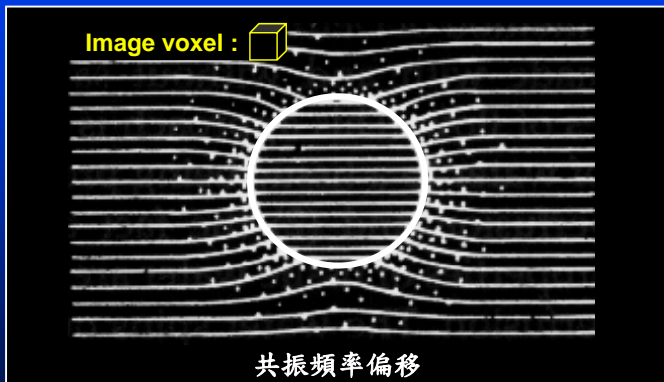
73 of 83

### 什麼原因造成磁場擾動？

- 空氣 (磁性大小與組織不同)
  - Frontal lobe、skull base
- 空氣與組織交界面附近磁場受干擾
- Susceptibility effects

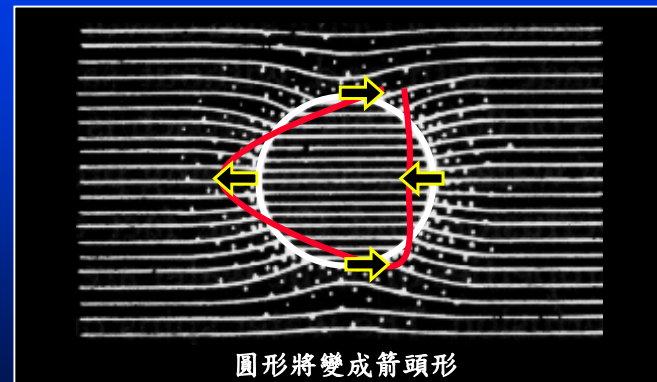
74 of 83

### 空氣產生的磁場干擾



75 of 83

### 共振頻率改變對空間編碼的影響

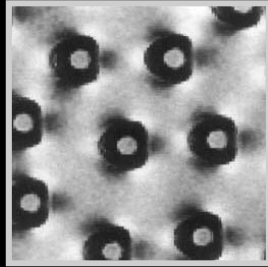


76 of 83

## 磁化率造成的影像扭曲

圓形玻璃管(反磁性)  
硫酸銅水溶液(順磁性)

1.5 Tesla  
Gradient echo  
圓形都變成箭頭形狀



扭曲程度與 readout bandwidth 有關

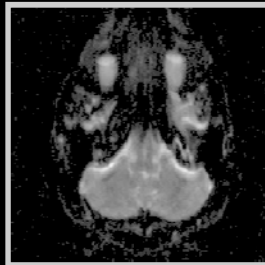
77 of 83

## 整理一下

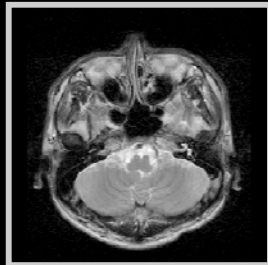
- 空氣干擾磁場，幾何形狀將扭曲
  - 圓形 → 箭頭形
- EPI 中，相位編碼扭曲方向較嚴重
- 頻率編碼時間相當短，看不到扭曲

78 of 83

## 各位現在可以告訴我成因了嗎？



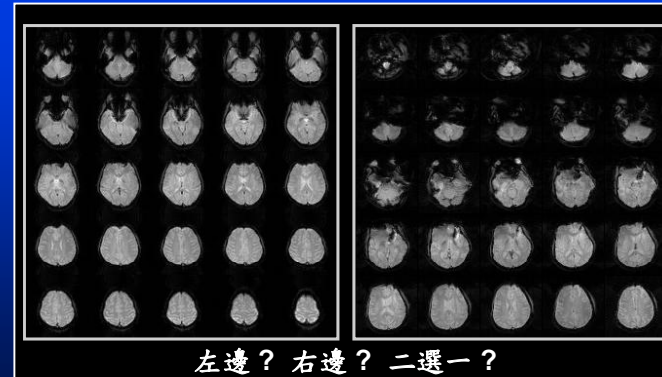
EPI 影像



一般 MRI

79 of 83

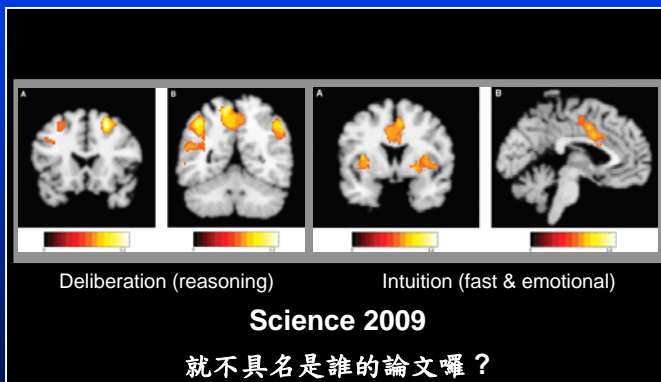
## 哪種 fMRI 是各位應該使用的？



左邊？右邊？二選一？

80 of 83

不要小看這種影響！



81 of 83

結論是什麼？

- fMRI 最常使用的 EPI 極不穩定
- 請各位好好學習 EPI 缺點與限制
  - 好像沒有人有這個耐心 ...
- 不然，請您感念技術團隊的辛勞

82 of 83

## MRI 原理簡介 與 EPI 特性

鍾孝文 教授  
台大電機系 三軍總醫院放射線部

83 of 83