

## EPI 與 fMRI

蔡尚岳 助理教授  
應用物理研究所

1

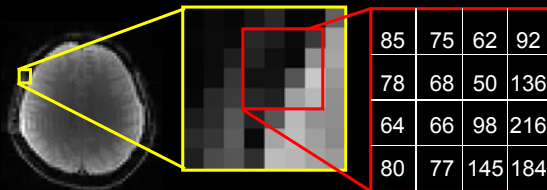
## 大綱

- 基礎fMRI影像概念
  - 訊號擷取方式、影像資料格式
  - EPI影像特性
- fMRI實驗參數
  - 影像和時序相關參數

2

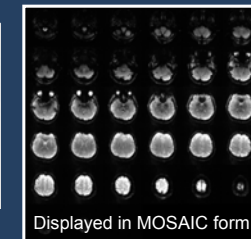
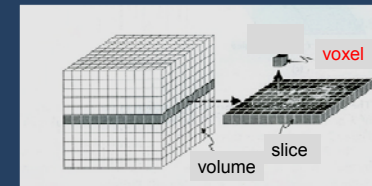
## MRI影像的基本觀念

- MRI影像由許多點組成
- 稱為 volume element (voxel)
- 每個 voxel 的數值代表亮度
  - 灰階(gray scale)



## MRI影像的資料格式

- 單張影像為有厚度的二維切面(片)
- 完整頭部影像資料
  - 多個切片(面)以三維矩陣方式儲存 [x y z]
- fMRI影像資料
  - 多個頭部影像以四維矩陣方式儲存 [x y z t]



4

## fMRI 影像檔案格式

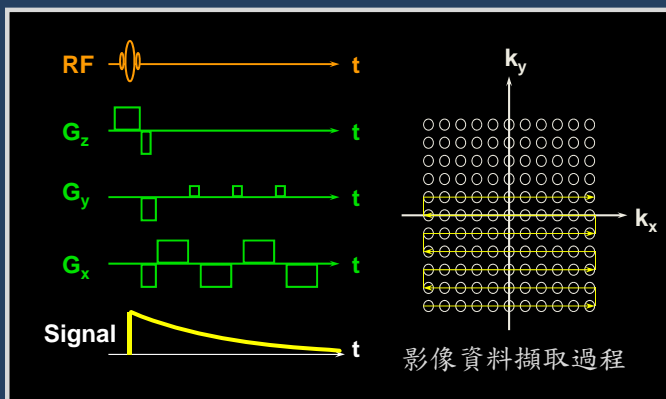
- 醫學影像通用格式
  - Dicom 格式, “.ima” or “.dcm”
  - MRI系統自動產生
  - 一開始拿到的影像格式
- Neuroimaging 通用格式
  - NIFTI 格式, “.nii” or “.img”+“.hdr”
  - 各種分析軟體均支援此格式, 例如: AFNI、freesurfer、FSL、SPM、Brainvoyager 等等....
  - 基本上就是以多個檔案或單一個檔案儲存fMRI影像的四維矩陣

5

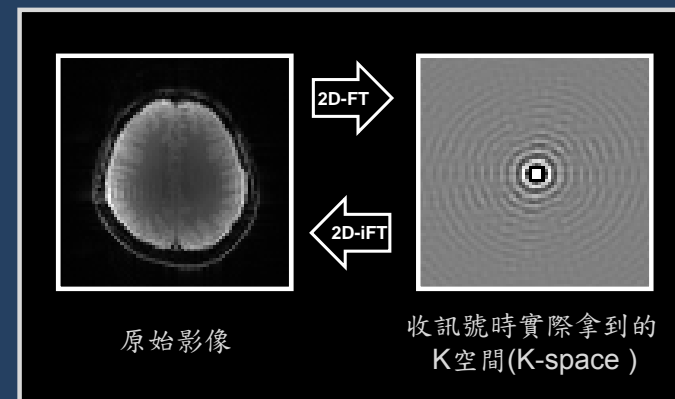
## fMRI 成像需求

- 快：大約能以「秒」為單位
- 敏感：能偵測細微的BOLD現象
- 目前最佳：Echo Planar Imaging (EPI) 面迴訊影像
  - 脈衝序列(pulse sequence)的名稱
  - 控制MRI系統內部硬體的程式語言(C++)

## Echo Planar Imaging (EPI)



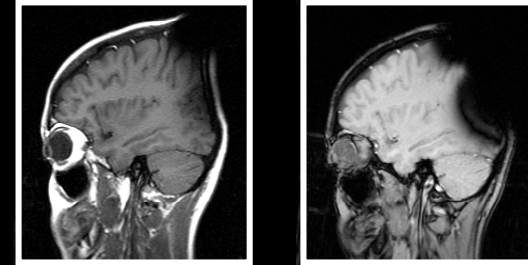
## 影像與 K 空間



## EPI 影像特性

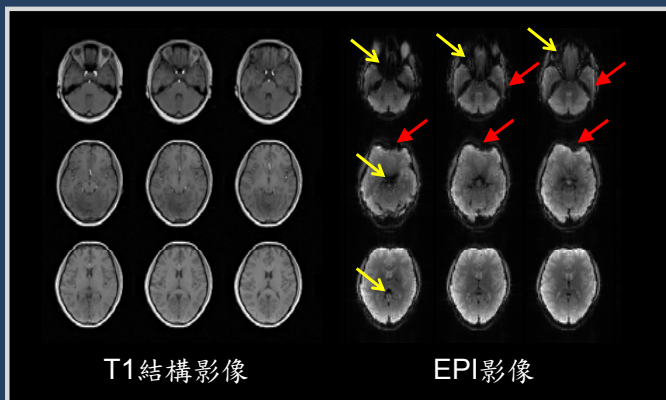
- 磁場不均勻的區域
  - 訊號衰減(影像變黑)
  - 幾何扭曲的現象
- 一般影像都會受影響
- 但是EPI 中此現象被放大，更顯嚴重

## 何謂訊號衰減?幾何扭曲?



鐵質髮夾對 MRI 影像的影響

## 在EPI影像上的情形



T1結構影像

EPI影像

## fMRI 實驗中，EPI最主要參數

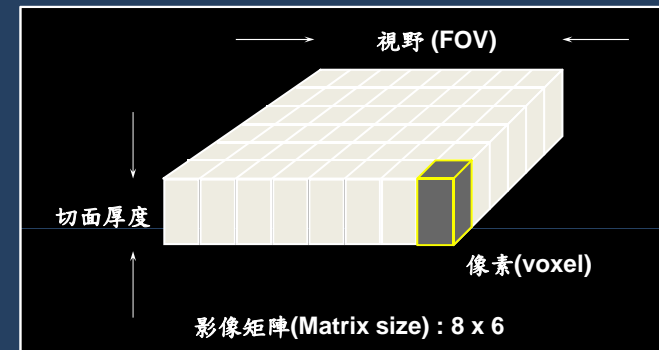
- 影像相關參數
  - FOV、Matrix size、Slice、Thickness
- 時序相關參數
  - TR、TE、BW、Measurement、Slice order
- 其他參數
  - 實際掃描時實際操作介面還有更多參數

## fMRI實驗參數

- 影像相關參數
  - Field of view (FOV) : 視野
  - Matrix size : 矩陣
  - Thickness : 厚度
  - Slice : 切面張數

13

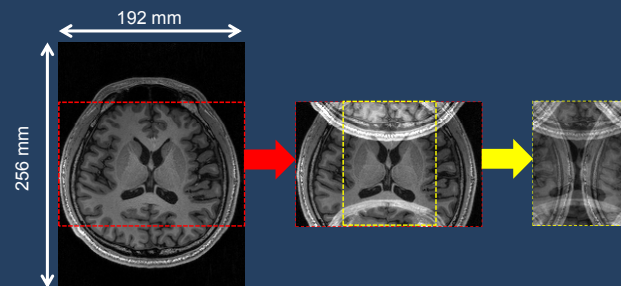
## 影像參數: 視野與解析度



14

## 視野(FOV)

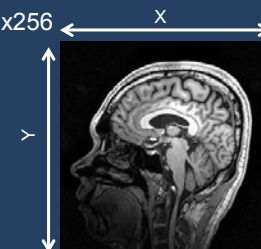
- 必須大於頭部範圍
- 正方形或矩形，192 mm ~ 256 mm



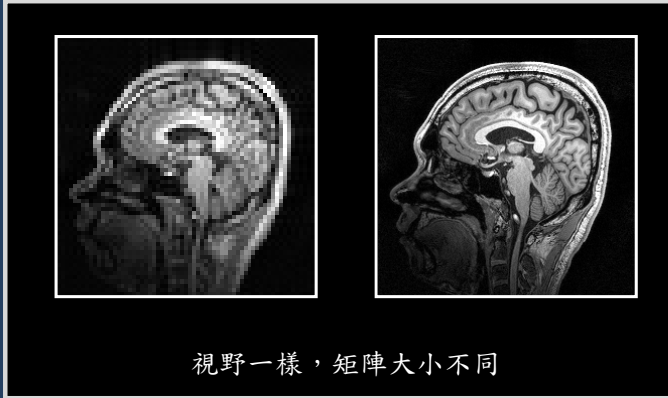
15

## 矩陣大小 (Matrix)

- 在 x 及 y 方向的像素數目，影響影像解析度
- 收訊號時並不是體積像素一個一個收，實際收到的訊號叫做 k空間(k-space)
- 影像解析度 = FOV / Matrix
  - FOV=256x256 mm<sup>2</sup>, MAT=256x256
  - X方向解析度 256/256 = 1mm
  - Y方向解析度 256/256 = 1mm

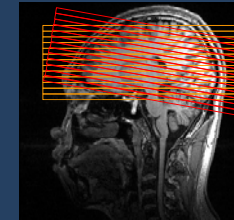


## 64x64 影像 與 256x256 影像



## fMRI 實驗中的影像解析度

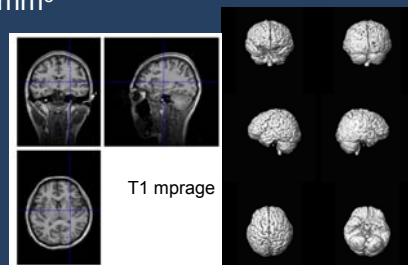
- 矩陣大小：**64x64** ~ 128x128
- 切面厚度：**3 ~ 4 mm**
  - 覆蓋全腦需100~120 mm
  - 切面張數：**35~40**
  - 調整角度達到最大覆蓋
- 影像解析度
  - 每個體積像素(voxel)的大小
  - **3x3x3 mm<sup>3</sup> ~ 4x4x4 mm<sup>3</sup>**



18

## 參考影像

- 高解析度T1結構影像 (MPRAGE)
  - FOV: 256x256 mm、MAT: 256x256、
  - Slice:192, thickness: 1 mm
  - 解析度 1x1x1 mm<sup>3</sup>
  - 約6分鐘



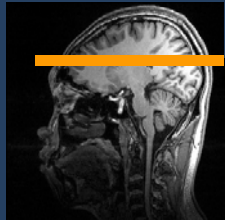
## fMRI 實驗參數

- 時序相關參數
  - Echo time (TE)：回訊時間
  - Repetition Time (TR)：重複時間
  - Measurement：重複次數
  - Slice order：切面擷取順序
  - Bandwidth (BW)：頻寬

20

## 影像擷取過程

- 面回訊影像 (EPI)
  - 視野大小、解析度、切面張數、厚度
- 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

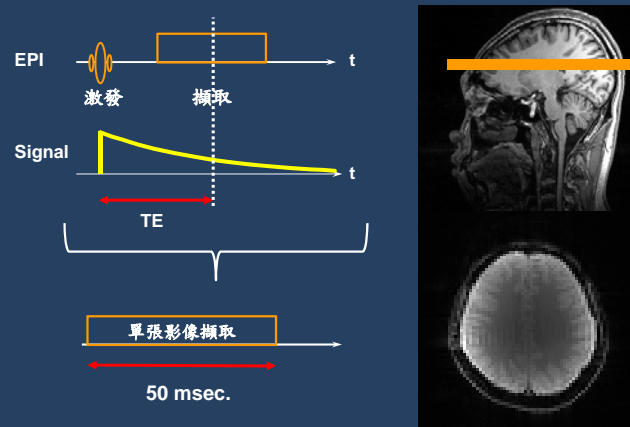


## 激發以後，訊號會慢慢減小

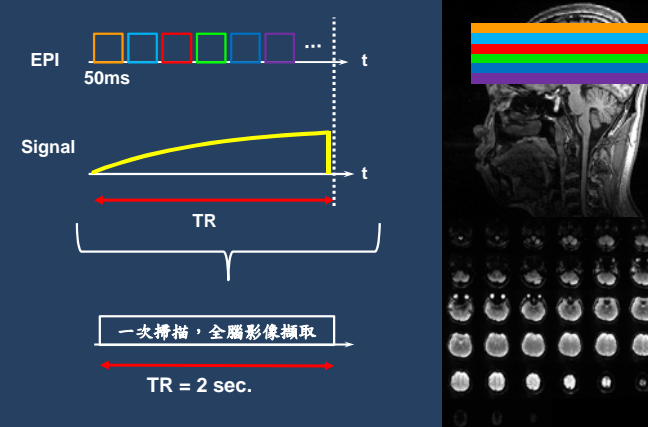
- 經過激發的磁性，會在時間久了之後恢復原狀 (熱平衡)
  - 可以接收到的訊號漸漸減少 ( $T2^*$ )
  - 可以激發的訊號慢慢回復，回復到夠大時，可以進行下一次激發 ( $T1$ )



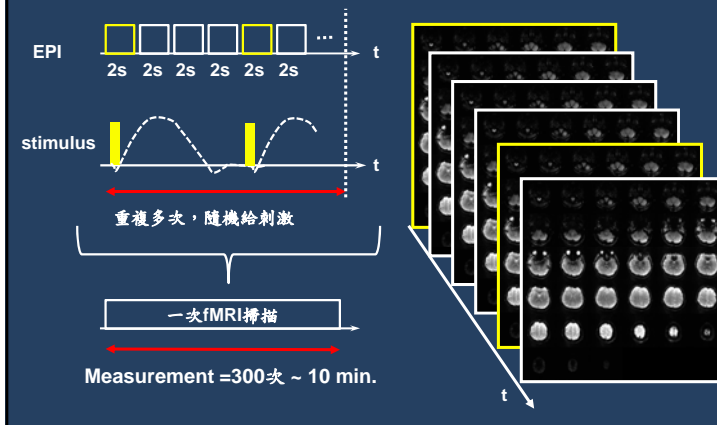
## 單張影像擷取過程



## 全腦影像擷取過程



## fMRI 影像擷取過程



## 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
- 切面張數
  - 單張切面約50 ~ 70 msec.
  - 涵蓋全腦需多張切面

26

## 回覆時間(TR)

- 刺激依據TR時序設計
  - BOLD反應延續時間有限，TR過長BOLD反應期間數據點數變少
  - 實驗延續過久
- 一般設定為 1 ~ 3 sec.
- 根據不同實驗需求調整

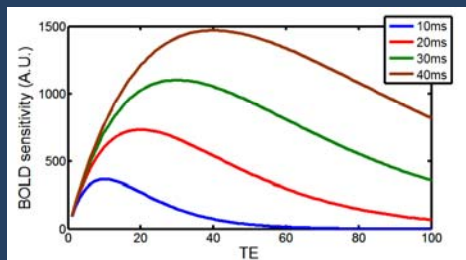
27

## 回訊時間(TE)

- 根據訊號變小的快慢(T2\*)決定
  - 短TE: 訊號衰減少，有訊號才能計算
  - 長TE: BOLD對比上升，刺激造成訊號變化增加，後續fMRI分析較容易
- 不過大腦T2\*不盡相同
  - 跟每次掃描的磁場均勻度有關
  - 每個區域都不同，每次掃描也可能不同

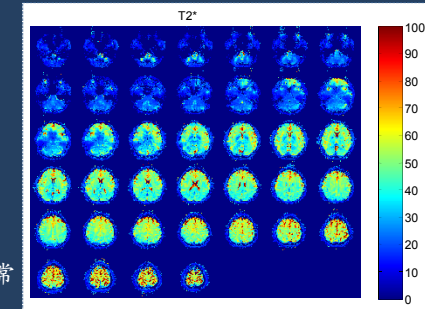
## BOLD sensitivity (BS)

- $BS \propto (TE) \times (\text{訊號強度})$
- 訊號強度跟  $T2^*$  及  $TE$  有關
- 理論上，最佳  $TE$  剛好等於組織的  $T2^*$



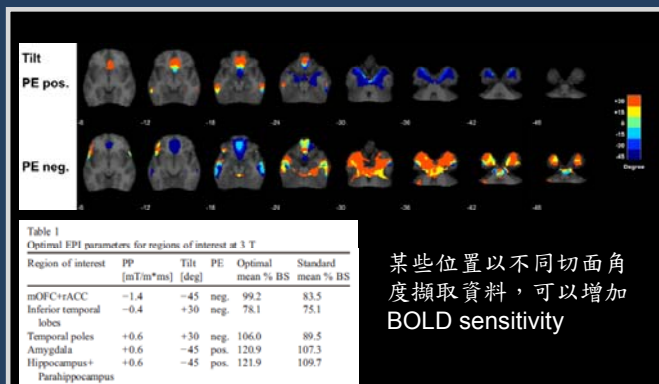
## 人腦的 $T2^*$ 分佈

- 灰質  $T2^*$  在 3T
  - 5ms~70ms
- 短  $T2^*$  區域
  - orbital frontal cortex, temporal lobe, amygdala 等
- 折衷全腦的  $T2^*$ 
  - 最佳  $TE$  在 3T 下通常定為 30ms 左右



30

## 切面方向與資料擷取方式



某些位置以不同切面角度擷取資料，可以增加 BOLD sensitivity

Weiskopf, N., et al., NeuroImage, 2006

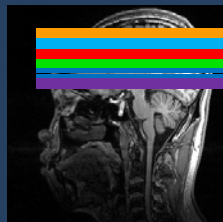
## 重複次數 (Meas)

- 依據實驗設計長度決定
  - 刺激次數
- 實驗時間總長度 = 重複次數  $\times$  重複時間
  - $TR=2 \text{ sec.}$ 、 $MEAS = 300$
  - 10 minutes
- 考慮到受試者的疲勞和專心程度

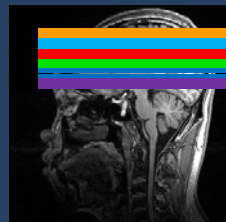


## 切面擷取順序(slice order)

- 每張切面在不同時間點取得
  - Sequential: 1,2,3,4,5.....
  - Interleaved : 1,3,5...,2,4,6.....
- 外加刺激跟資料擷取的時間點需同步



Interleaved

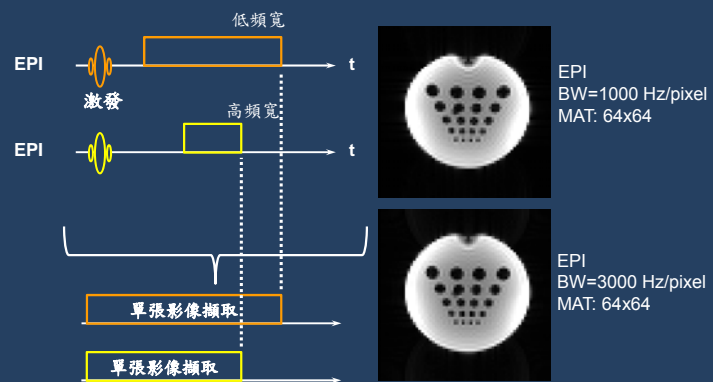


Sequential

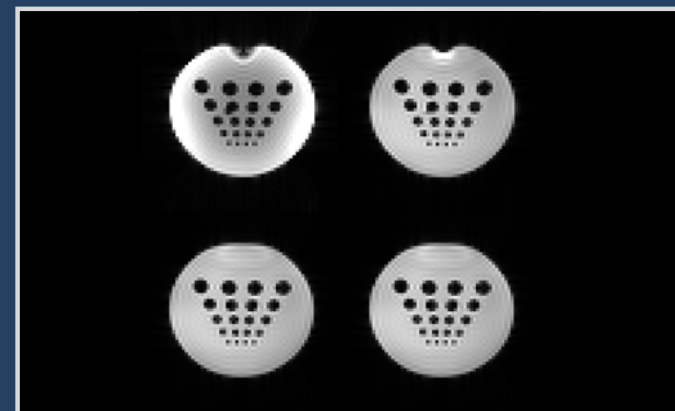
## 頻寬 (BW)

- 簡單來說跟收訊號的速度有關
  - 以得到K空間裡的一條線的時間倒數顯示
  - 越大收訊號的速度越快
  - 可以減少EPI幾何扭曲
- 硬體限制最大頻寬
- 一般設定
  - BW = 2000 ~ 3000 Hz/pixel
  - 0.3 ~ 0.5 ms

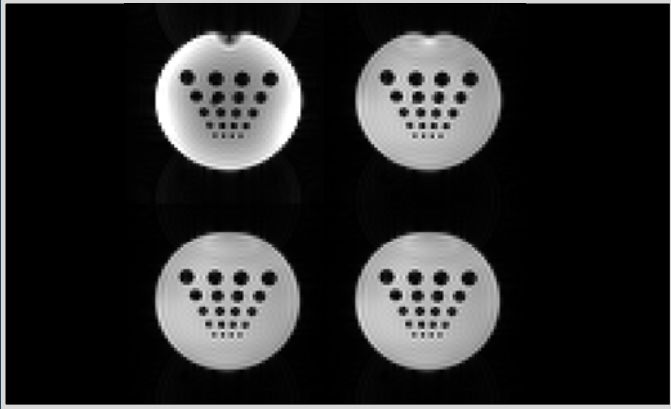
## 頻寬的影響



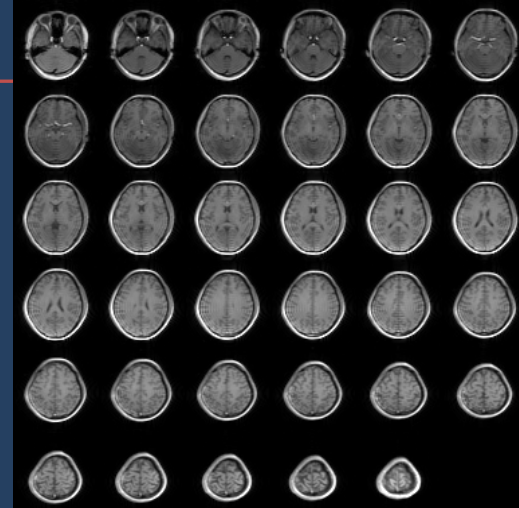
## 仔細比較一下...BW=1000



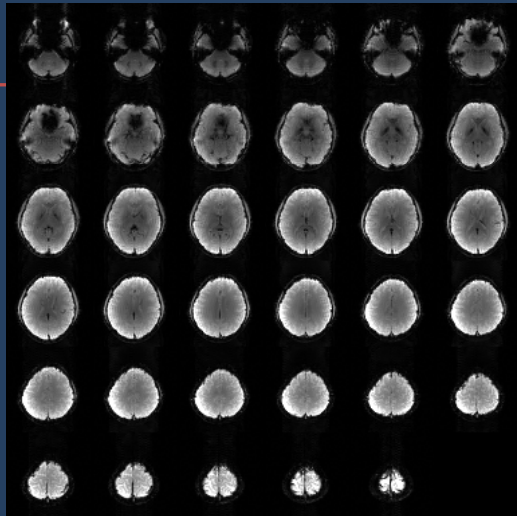
仔細比較一下...BW=3000



T1結構影像  
影像扭曲無  
訊號衰減無



梯度回訊影像  
影像扭曲 些許  
訊號衰減 有



面回訊影像(EPI)  
影像扭曲 嚴重  
訊號衰減 有

