

磁共振造影影像最佳 化的設定

新光醫院放射診斷科
李正輝

基本參數

TR
TE
TI
FA (flip angle) } contribute to *image contrast*

$\Delta z = \text{slice thickness}$
Interslice gap } contribute to *coverage*

FOV_x }
FOV_y }
N_x : # of frequency-encoding steps
N_y : # of phase-encoding steps }
NEX
Bandwidth }
Contribute to *resolution*:
 Δx : spacing in x direction
 Δy : spacing in y direction }
Contribute to *S/N ratio*

討論內容

- Scan time
- Contrast
- SNR
- Resolution
- coverage

How about the scan time?

- TR
- NEX (Number of excitations)
- Number of phase encoding

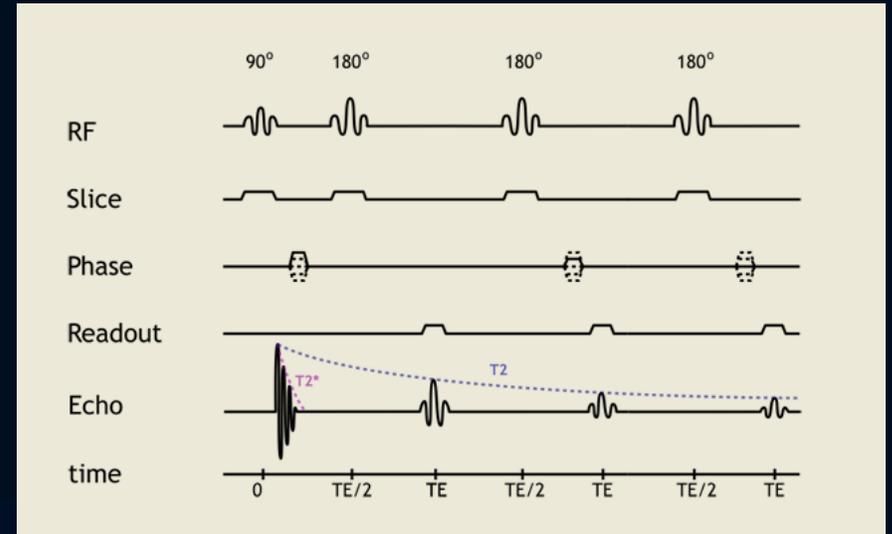
$$\text{Scan time} = \text{TR} \times \text{NEX} \times \text{PEs}$$

如何降低掃描時間(Scan time)

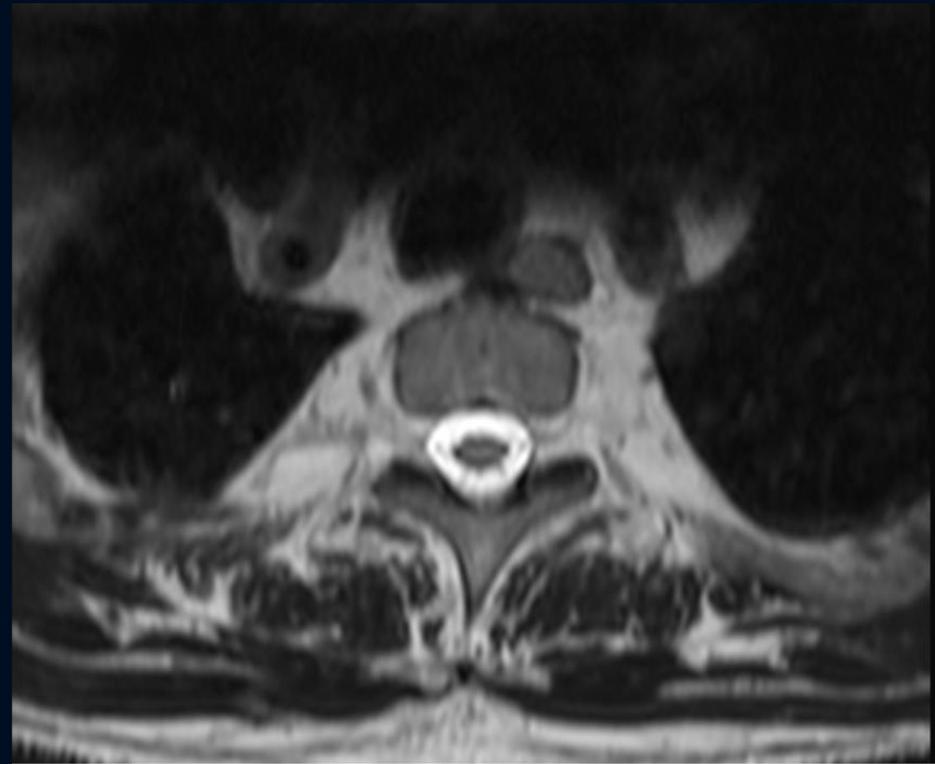
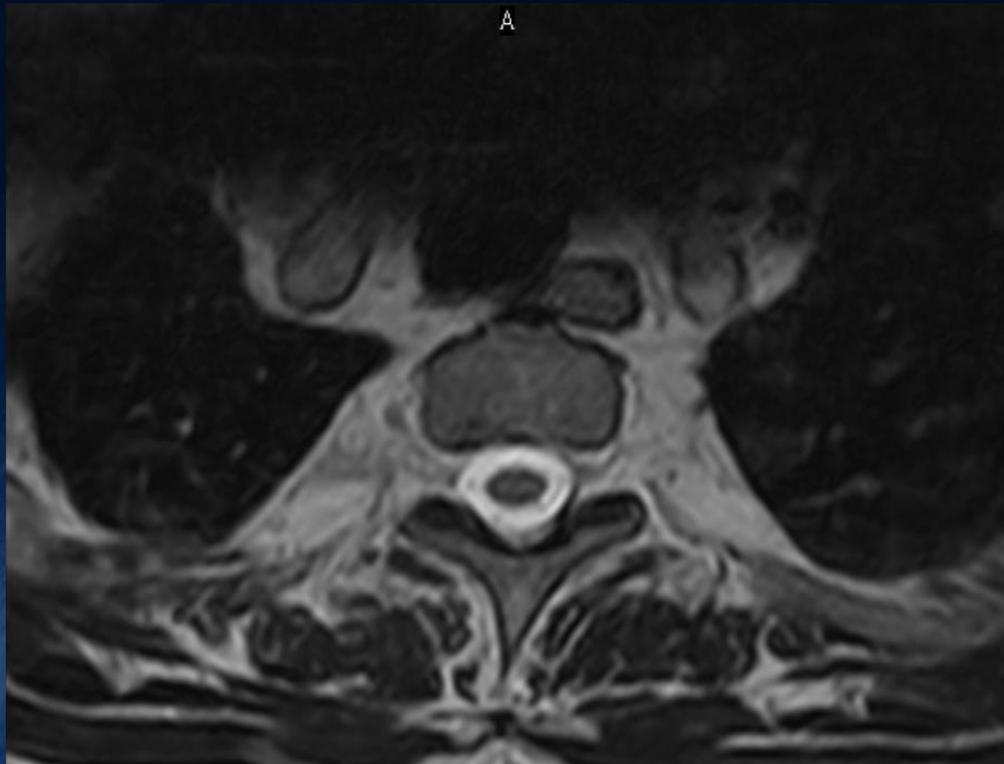
- FSE or TSE
- Gradient echo sequence
- HASTE
- EPI
- SENSE

FSE or TSE (快速自旋回波序列)

- 傳統自旋回波+ 回音列車(Echo Train Length)
- 90° RF 後 實施一連串 180° RF
- 每一個180° RF 完成一條 K space 填充
- **Scan time = (TR x NEX x PE) / ETL**
- ETL 太長的缺點:
 1. 影響T1加權的影像對比
 2. 影像邊緣模糊
 3. Fat訊號加強

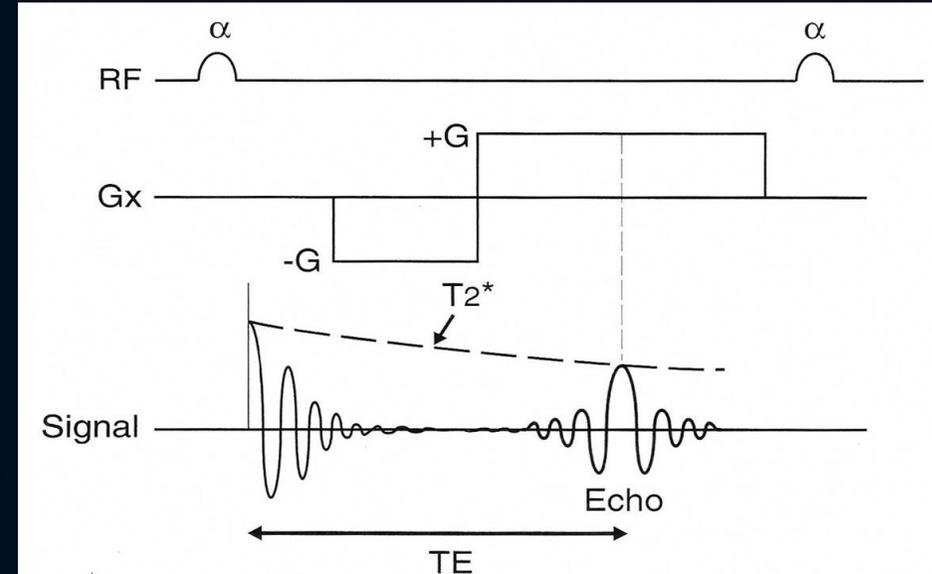


ETL 25 vs. 45



Gradient echo sequence(梯度回訊序列)

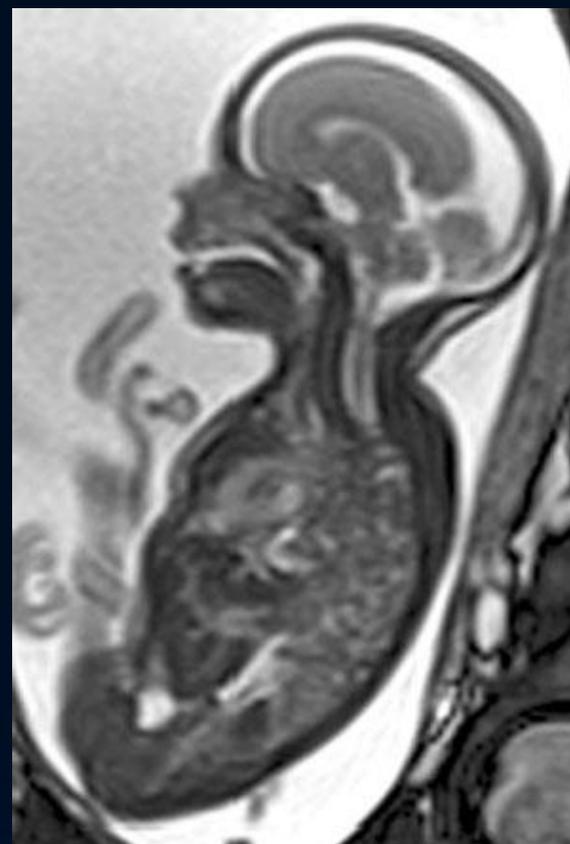
- 小於 90° 的 RF
- 沒有 180° 的 RF 重聚相
- 短TR、短TE，用於快速造影
- 運用 Bi-lobed Gradient 進行重聚相
- SNR較低
- 對於磁敏性假影(susceptibility artifact) 較敏感



HASTE

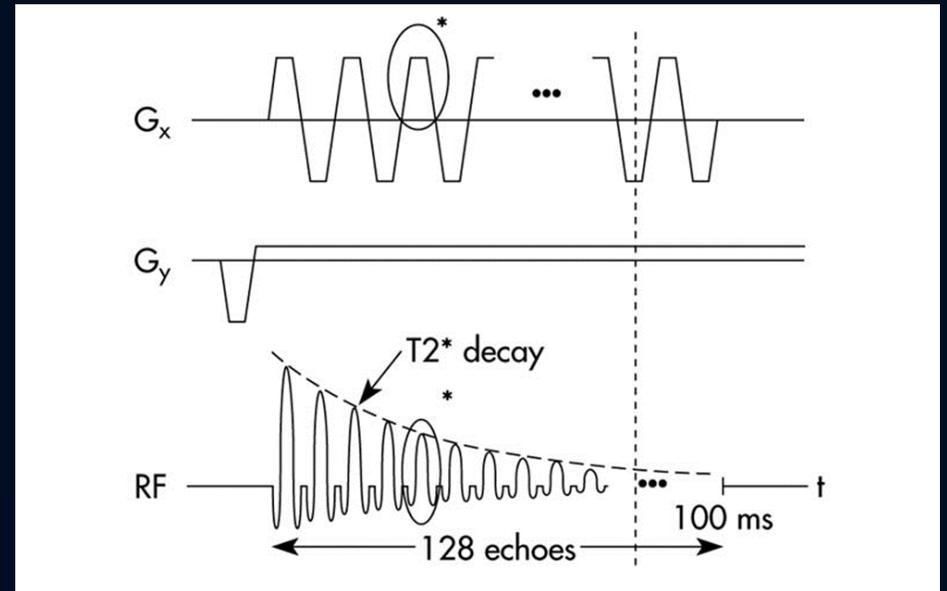
- *Half-Fourier Acquisition Single-shot Turbo spin Echo* imaging
- 在一次激發下取得影像(**single-shot technique**)
- ETL很長....., 問題又出現了.....
- 訊號的特性--- 360° 相位變化，正、負半波對稱
- 只取正半波，複製成負半波(一半再多一些...)
- PE下降，SNR降低
- 用於快速造影

HASET影像



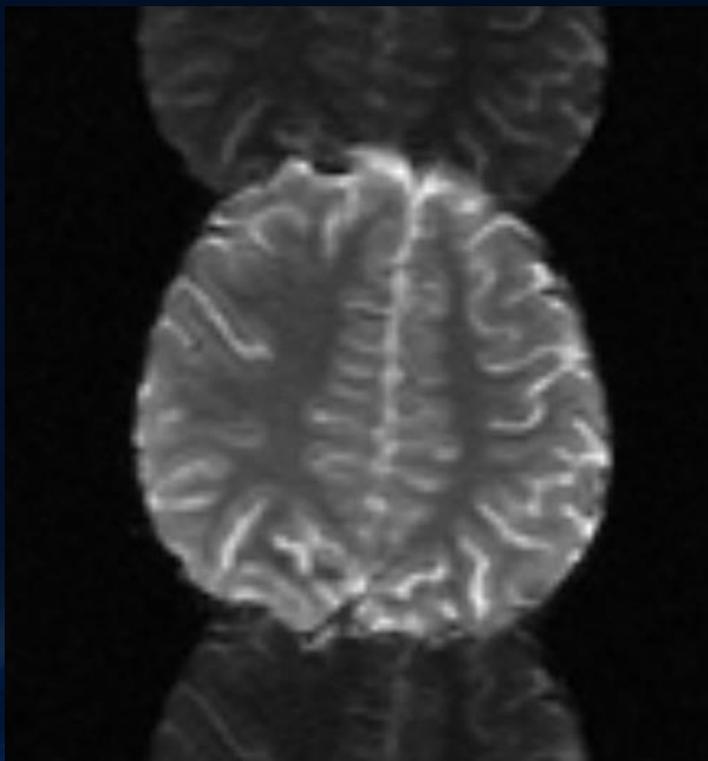
EPI (Echo-Planar Imaging)

- 運用梯度磁場的快速轉換
- 在一次的激發中完成影像的擷取
- 超快速成像
- 易產生下列假影:
 1. N/2 artifact
 2. Susceptibility artifact
 3. Chemical shift artifact



EPI假影

N/2 artifact



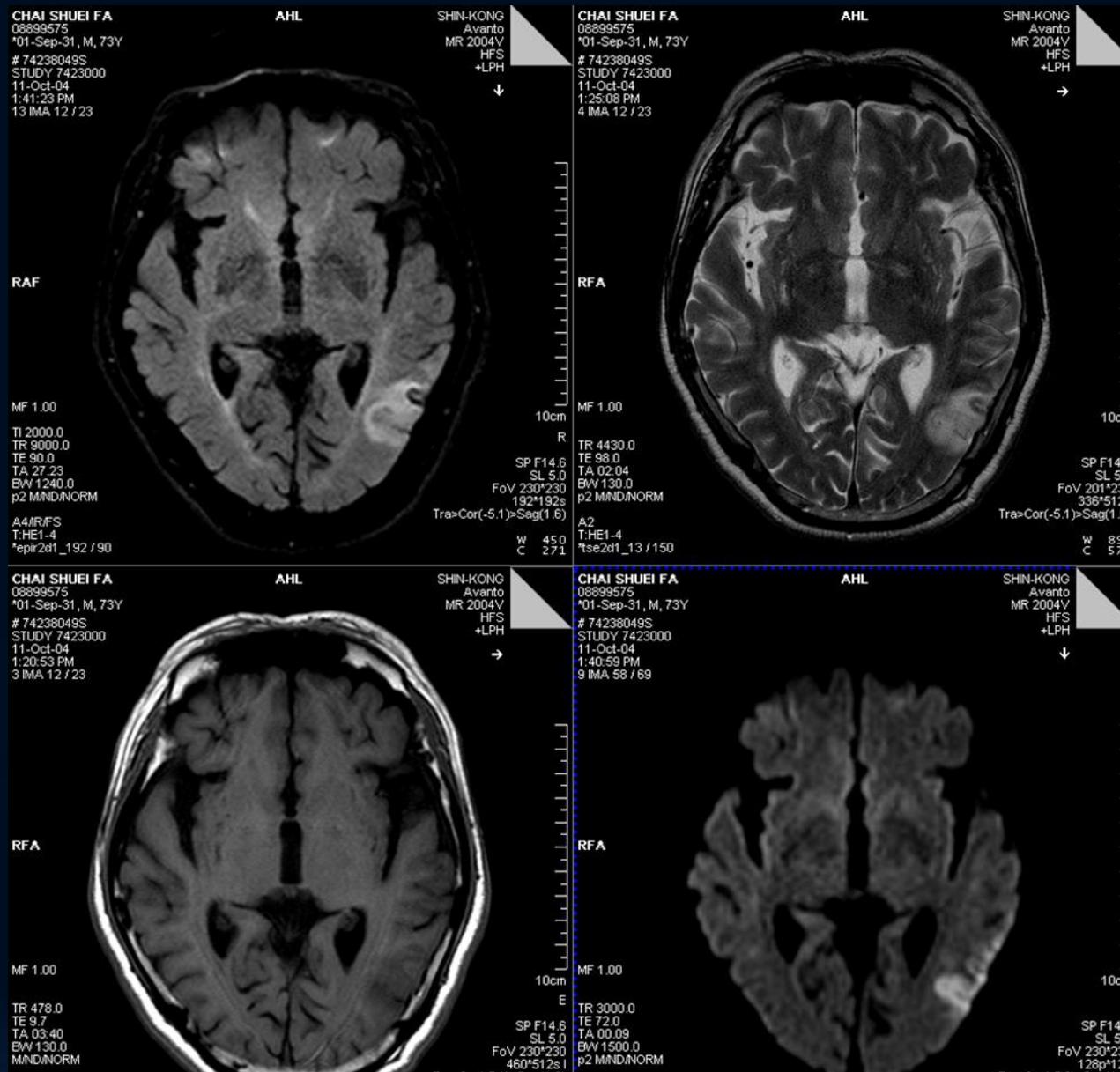
Susceptibility artifact



EPI 在臨床上的應用

- Diffusion imaging of the brain.
- Dynamic perfusion studies of the brain.
- Abdominal imaging.
- Cardiac imaging:
 1. Coronary arteries
 2. Cine cardiac imaging within a single heart beat.
 3. Dynamic perfusion studies of the myocardium.

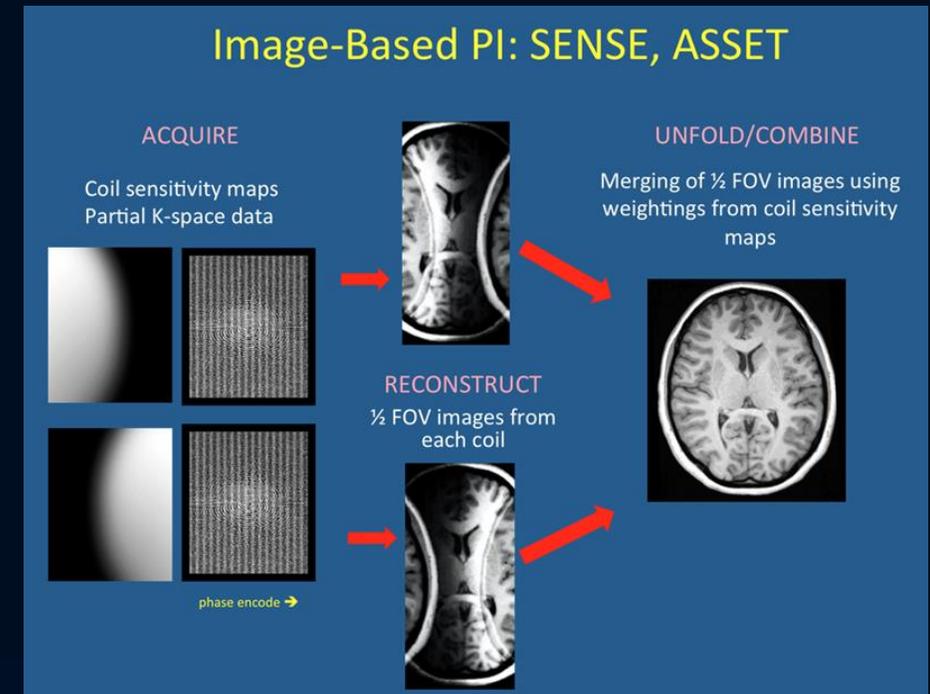
DWI 成像



SENSE(平行成像技術)

簡單來說.....

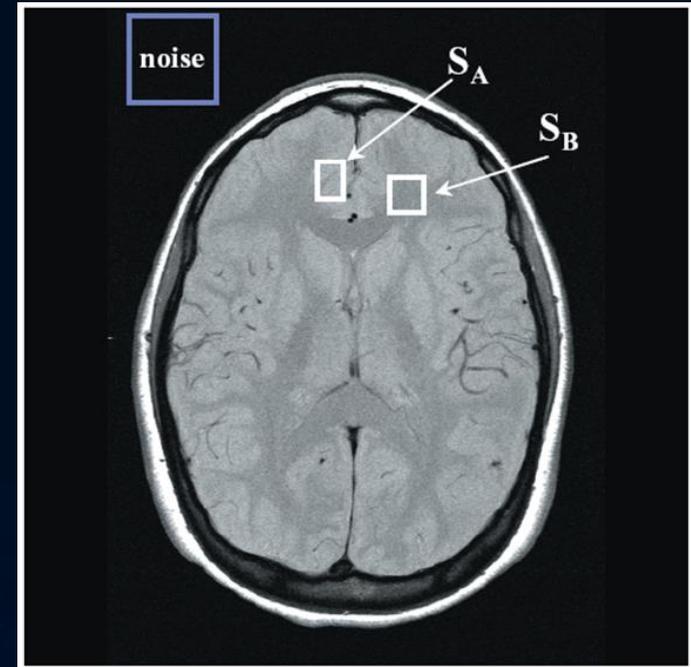
- 運用多重元件(elements)組成的相位陣列線圈 (phased array coil)
- 由個別線圈的元件分別擷取部分K space的訊號，產生反摺影像
- 經由後處理運算，將反摺影像重組為正常影像

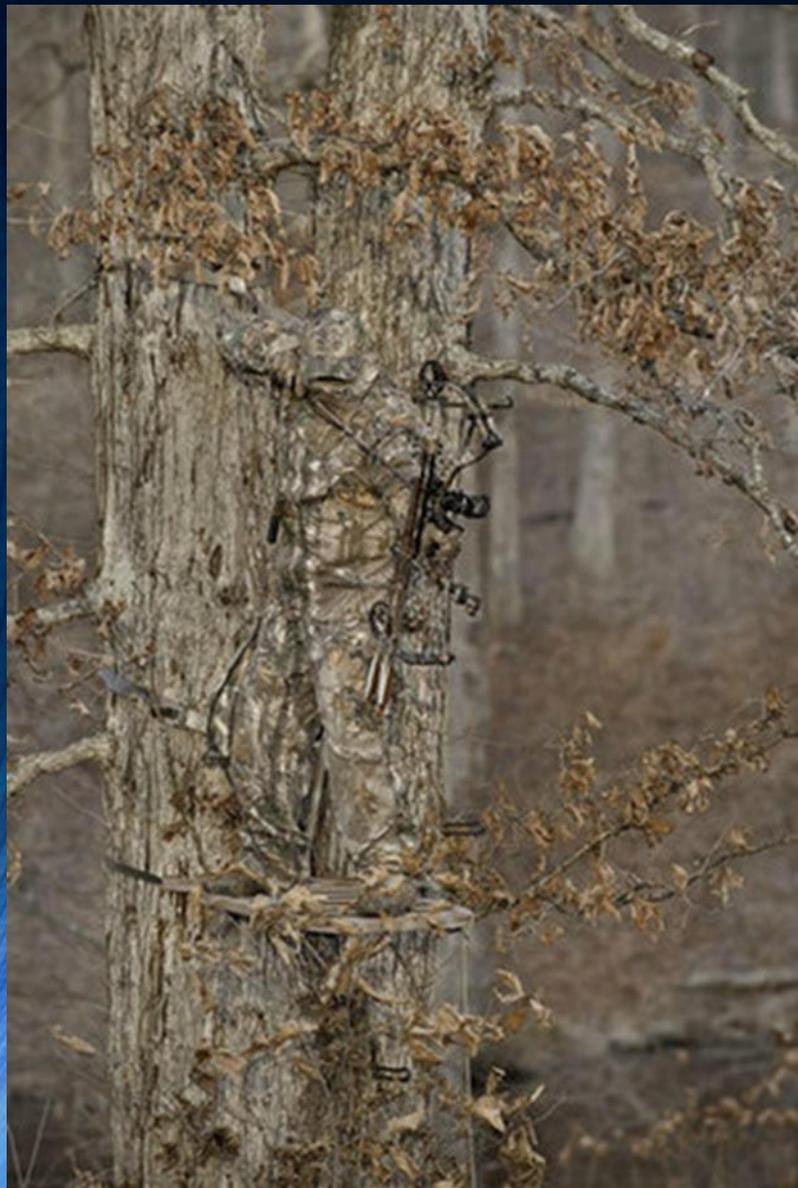


Contrast(對比)

- 定義: 不同組織或病理結構間在影像中相對亮度的差異
- 在MRI的成像中，主要因不同組織的物理特性的差異而產生，如T1及T2遲豫時間、質子密度等.....
- 公式:

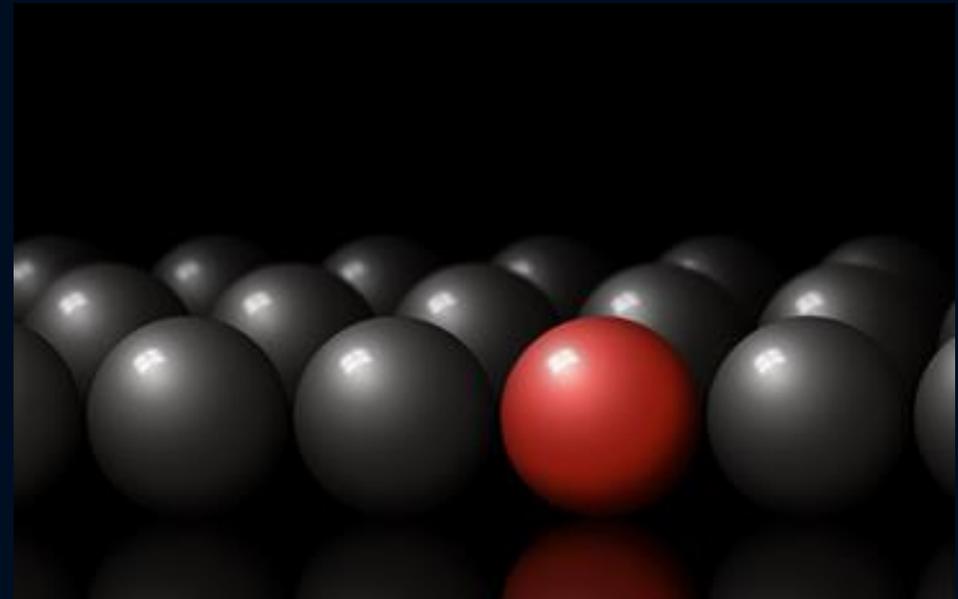
$$\text{Contrast}(C) = (S_A - S_B) / (S_A + S_B)$$





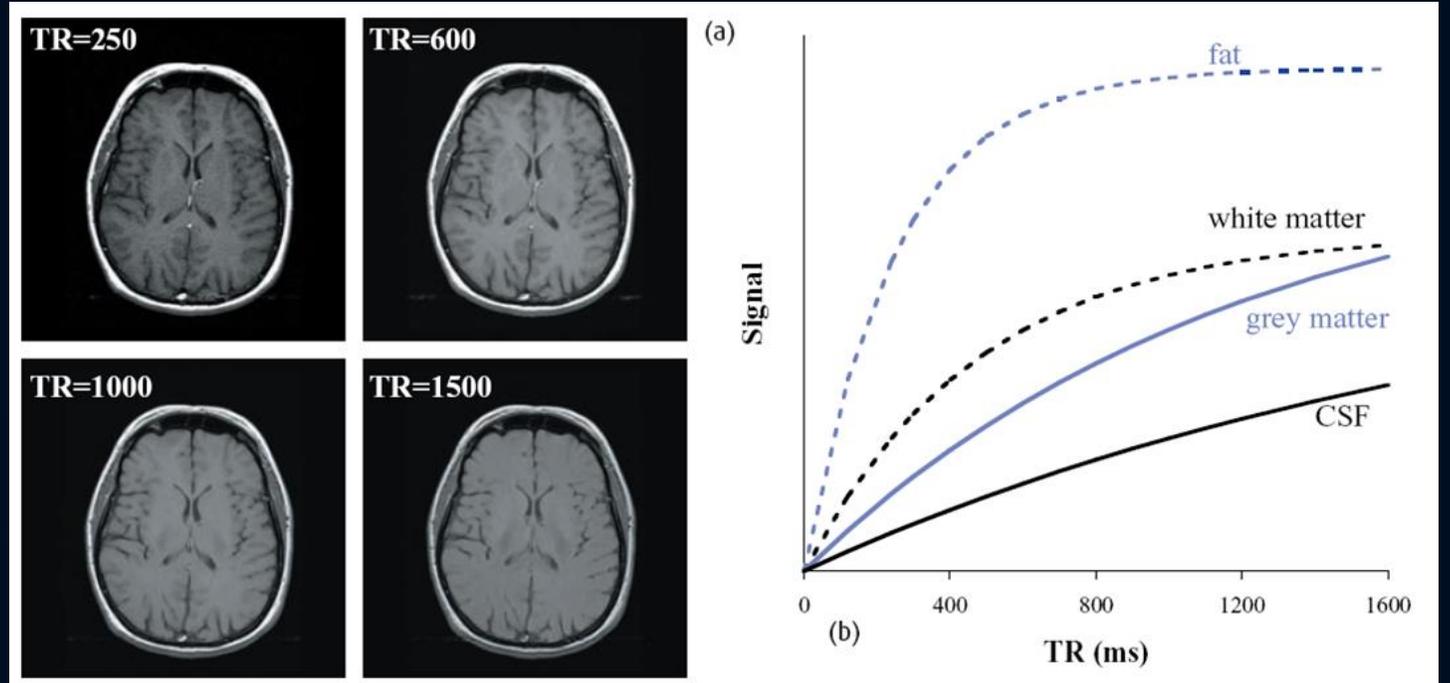
影響組織對比的因素

- 重複時間(TR)
- 回訊時間(TE)
- 偏轉角(FA)
- 反轉時間(TI)



重複時間(TR)與組織對比

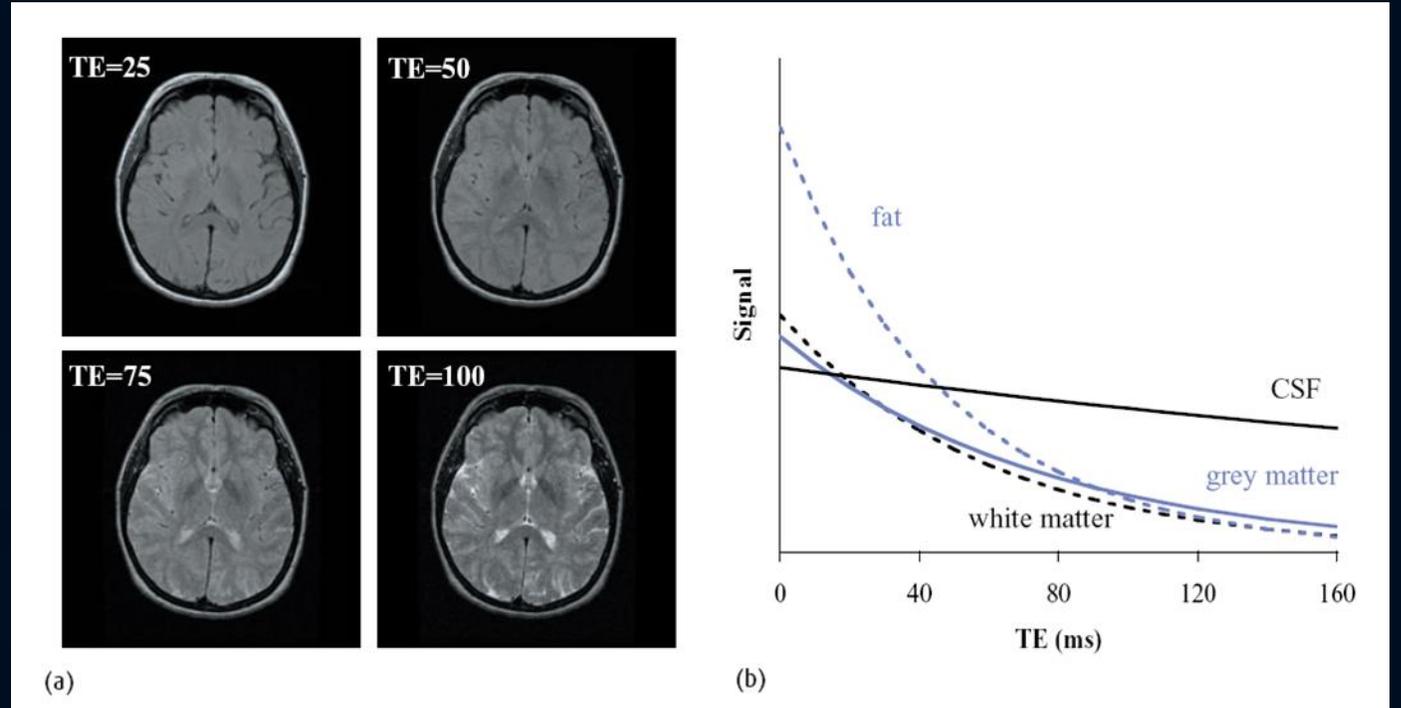
- TR的定義: 兩次 RF 之間所需要的時間
- 與掃描時間有關
- TR越長，組織間的對比越差



TE=10

回訊時間(TE)與組織對比

- TE的定義: 施加 RF後, 到擷取訊號間所需要的時間
- 與掃描時間無直接的關係, 和可掃描的張數有關
- TE時間越長, 在長TR的狀況下, 水與其他組織的對比越強



TR=1500

關於TR and TE.....

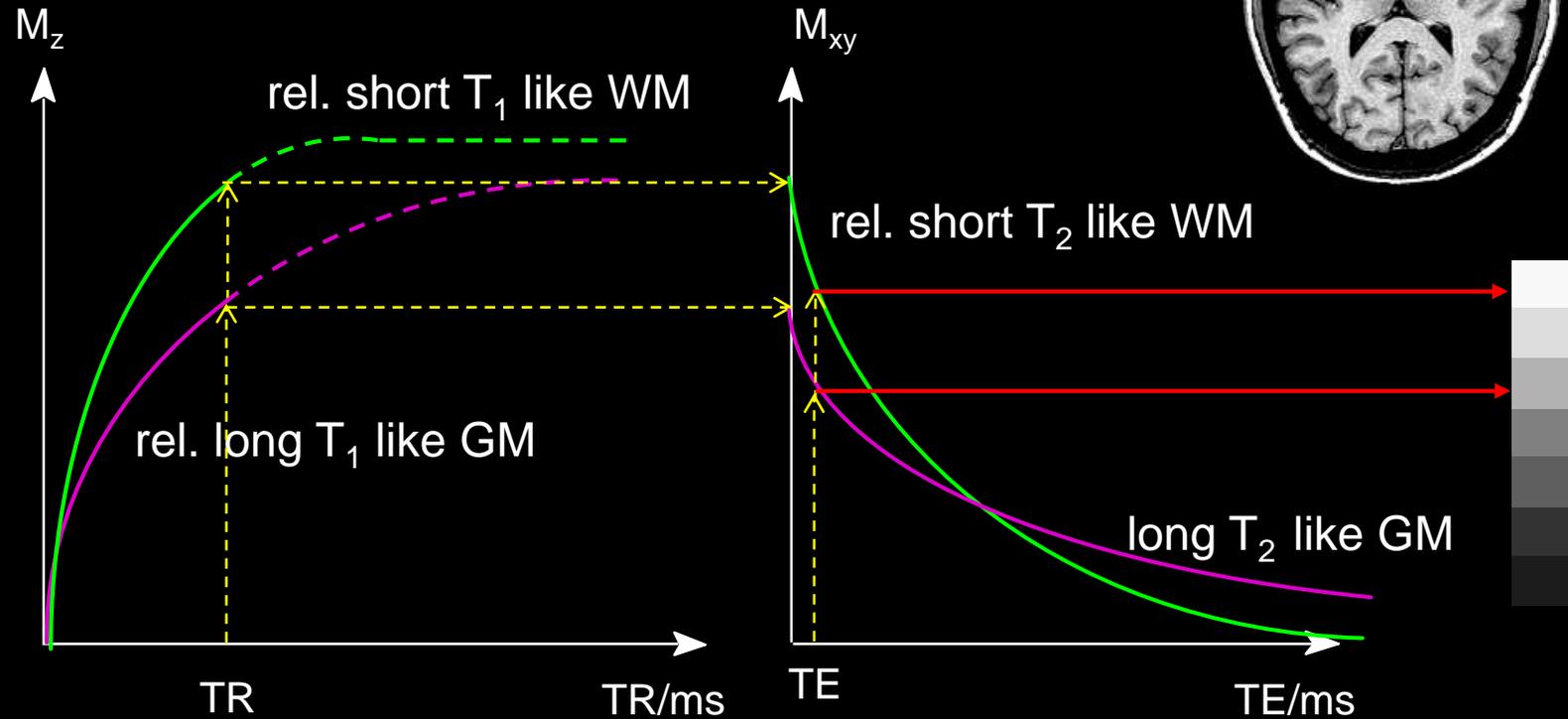
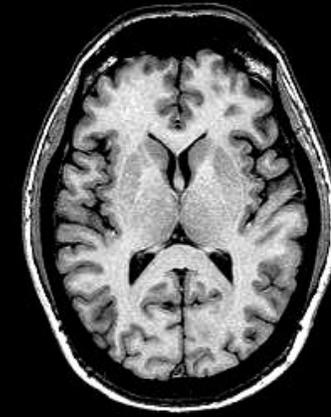
- 在訊號的擷取中，TR和TE都是重要且須同時考慮的因子
- 在波序中，TR決定T1加權的程度，而TE決定T2加權的程度
- 在不同長短TR的前提下，TE時間也需做調整以獲的最佳的影像對比
- 訊號的基本公式:

$$\text{Signal} = H(N)(1 - \exp^{-TR/T1})(\exp^{-TE/T2})$$

Spin Echo

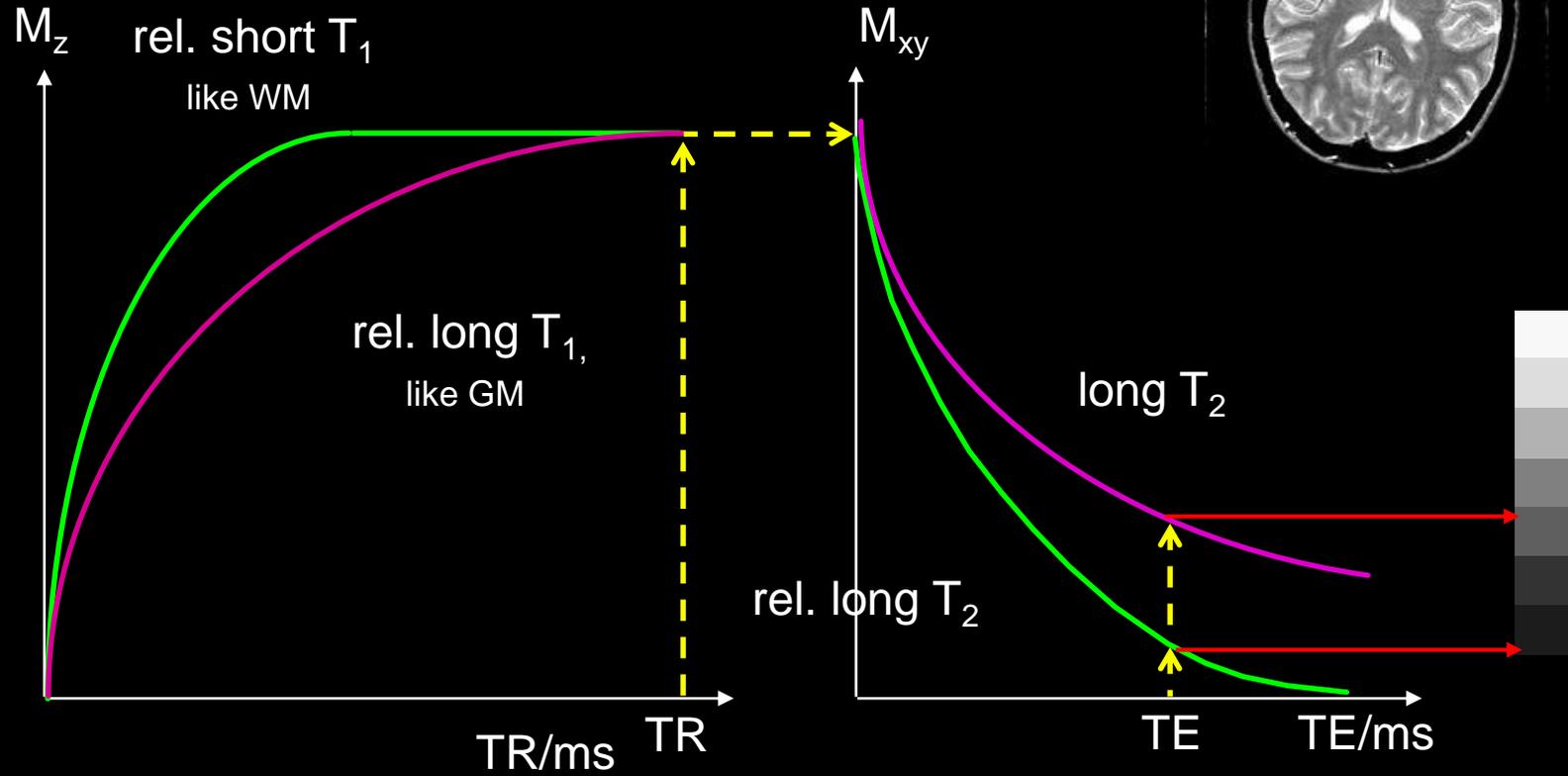
short TR, short TE

T1-weighted



Spin Echo long TR, long TE

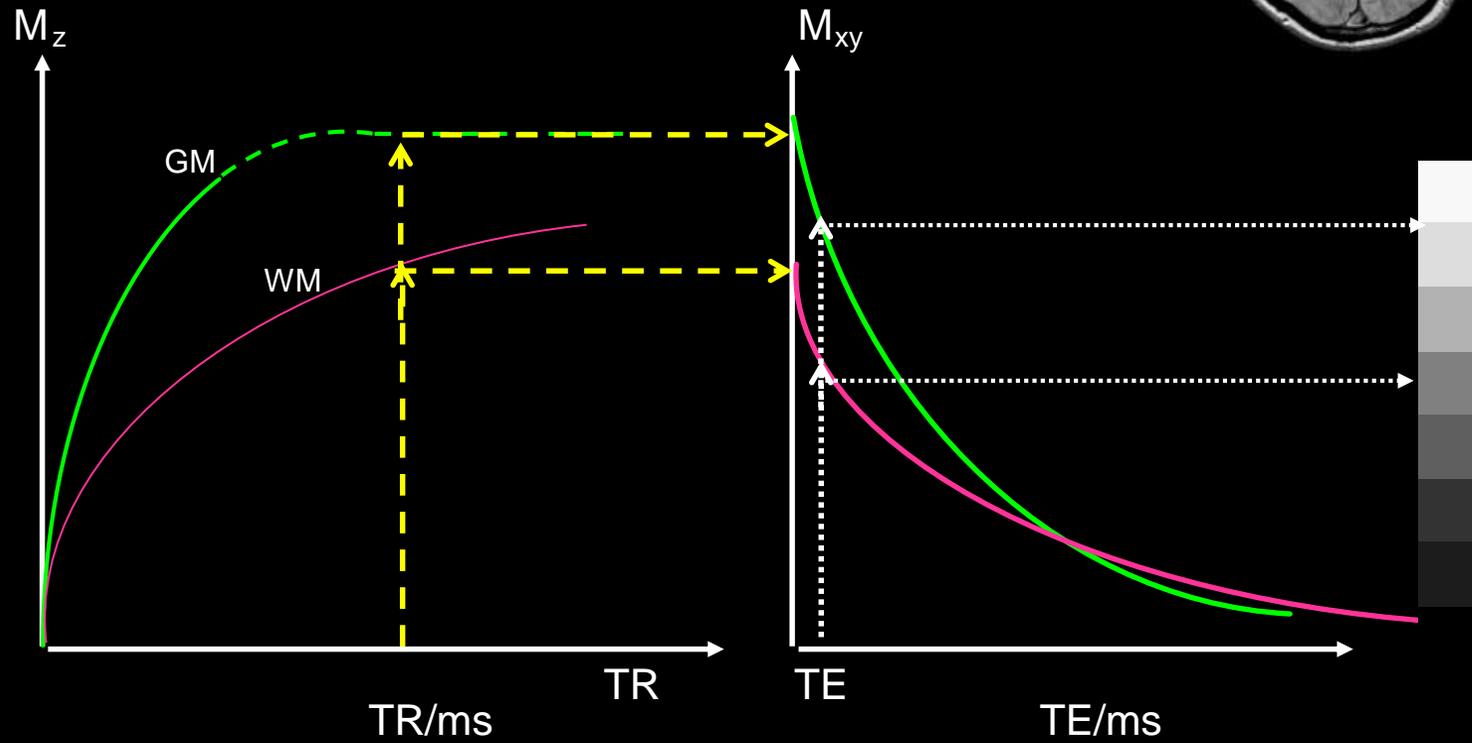
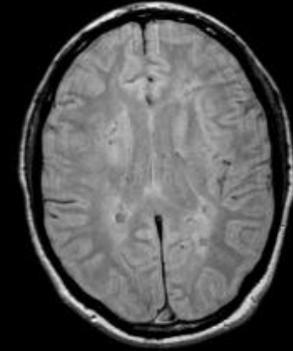
T2-weighted



Spin Echo

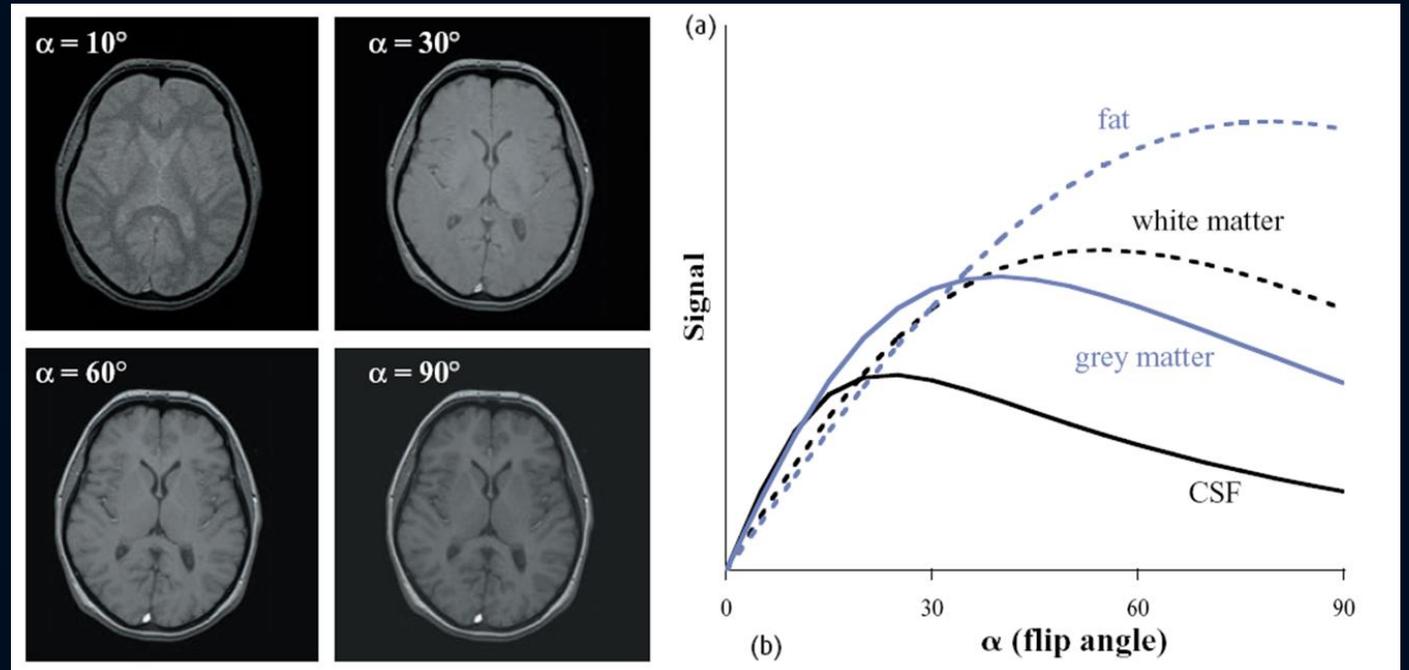
rel. long TR, short TE

proton density
weighted



偏轉角(FA)與組織對比

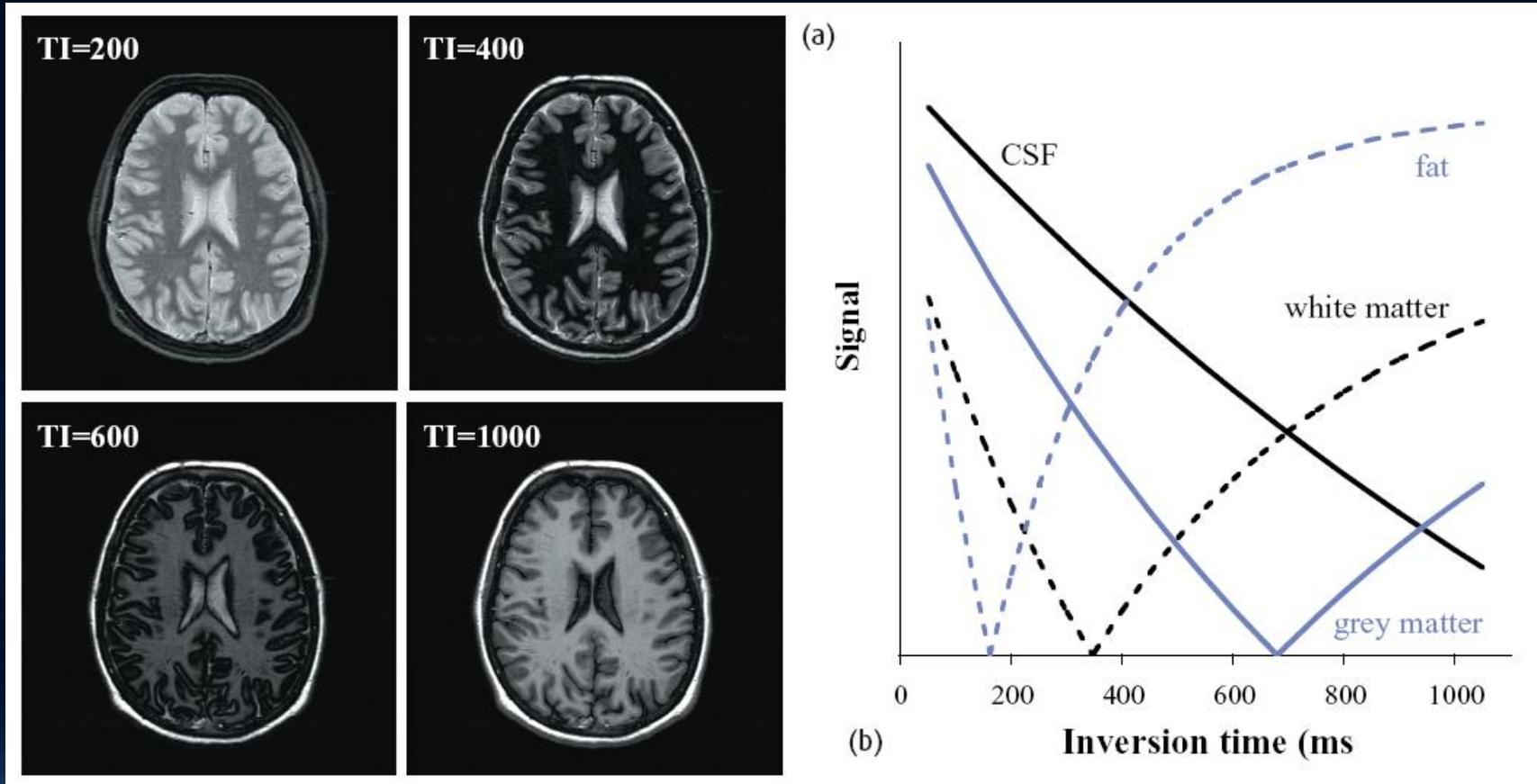
- FA的定義: RF施加後, 將M0偏轉至xy平面的角度
- 運用於梯度回訊波序 (gradient echo)
- FA的角度, 決定GE的影像加權:
 1. 大FA \rightarrow T1影像
 2. 小FA \rightarrow T2影像



反轉時間(TI)與組織對比

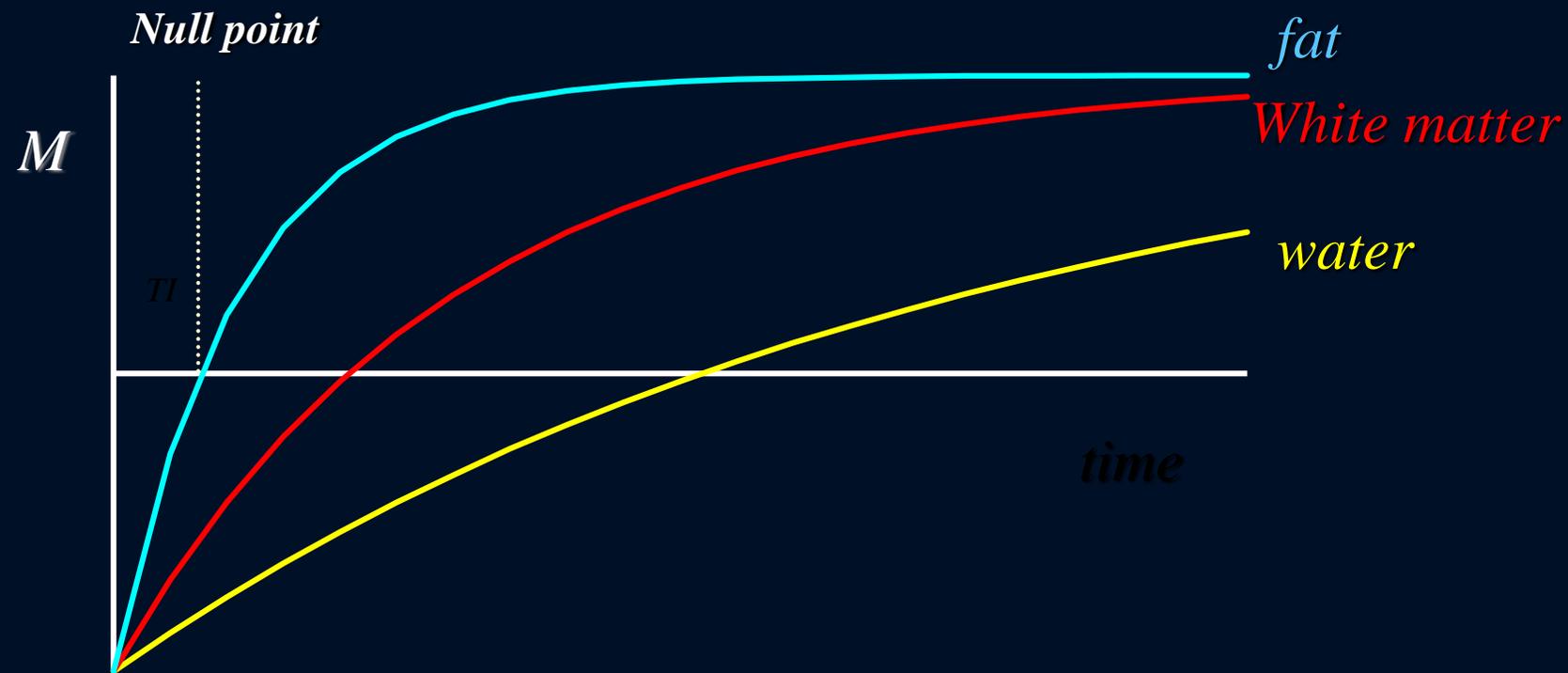
- TI的定義: 施加 180° RF 後，到施加 90° RF 間所需要的時間
- 用於反轉回復波序(Inversion Recovery)
- 需增加TR時間
- 作用:
 1. 壓抑特定組織訊號(null point)
 2. 增強組織間的對比

TI and contrast



TR=4000, TE=19

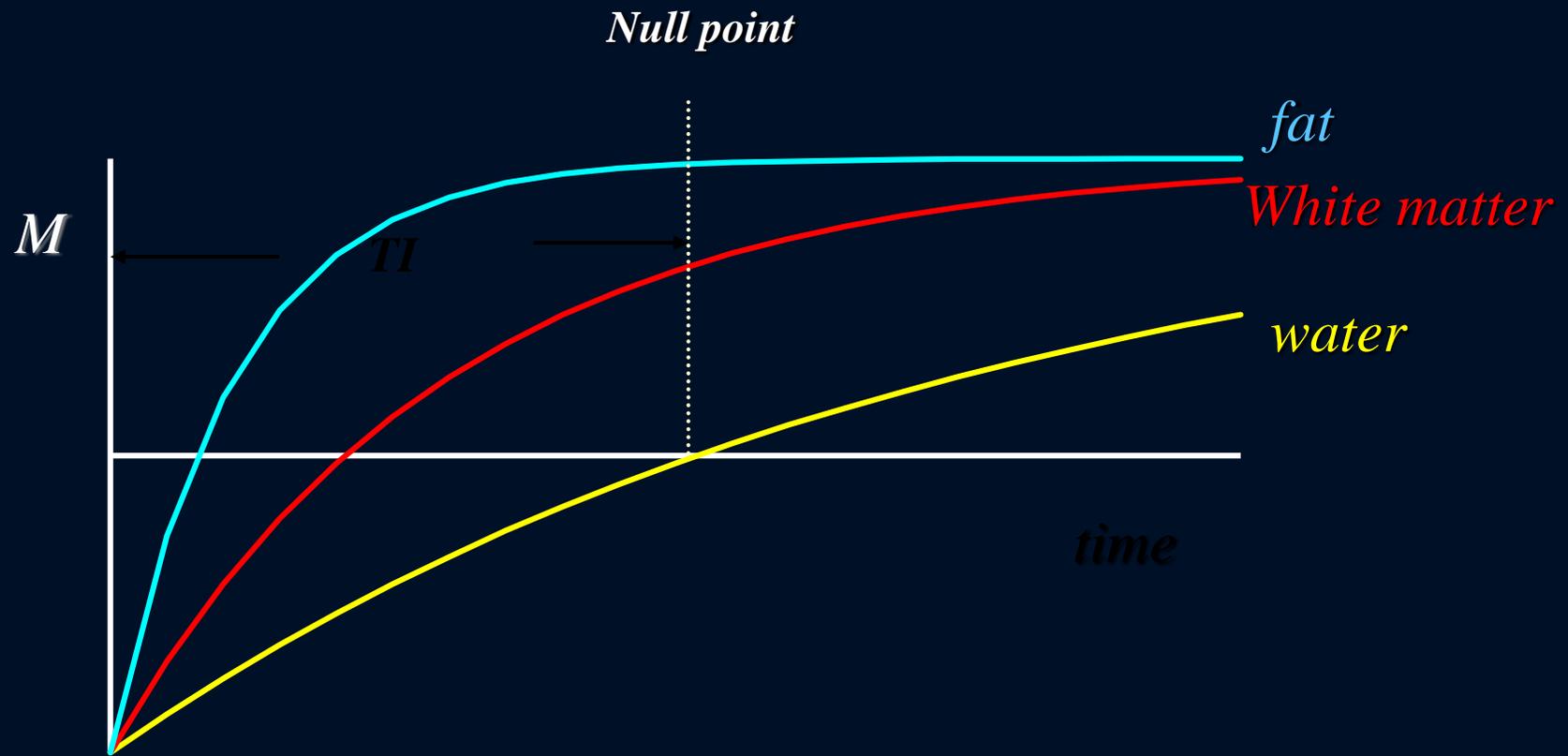
STIR



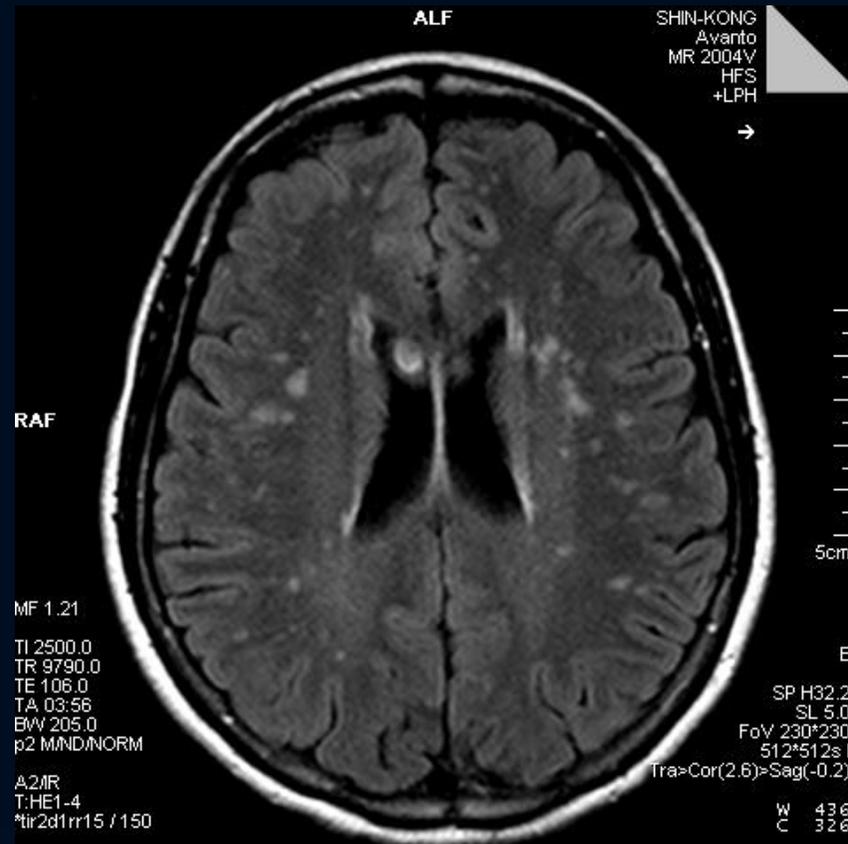
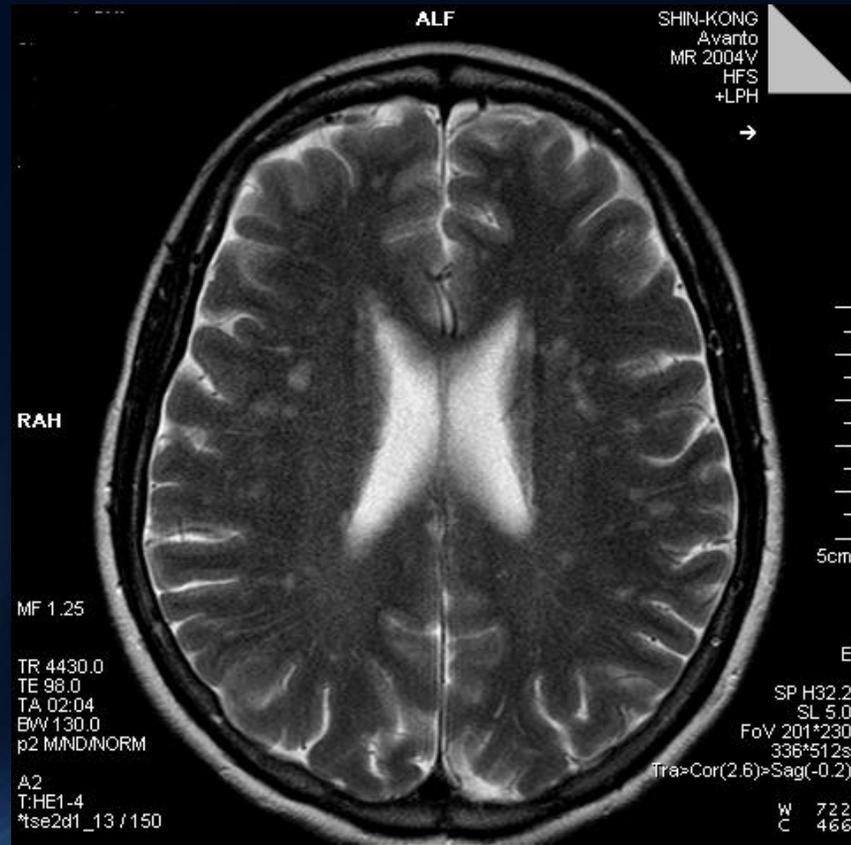
STIR image



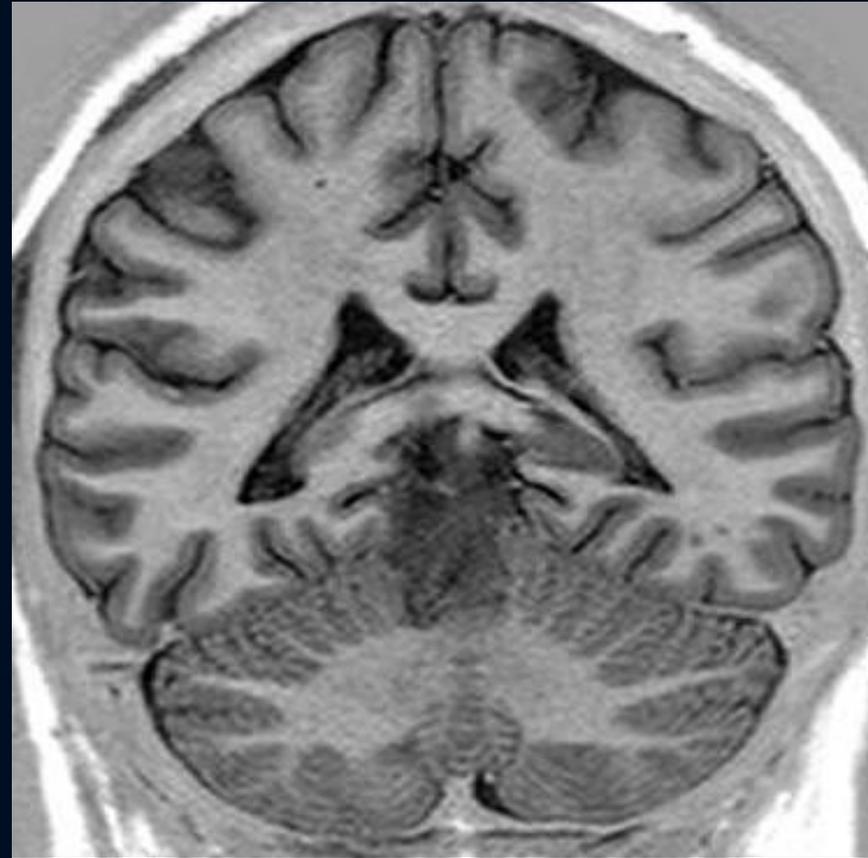
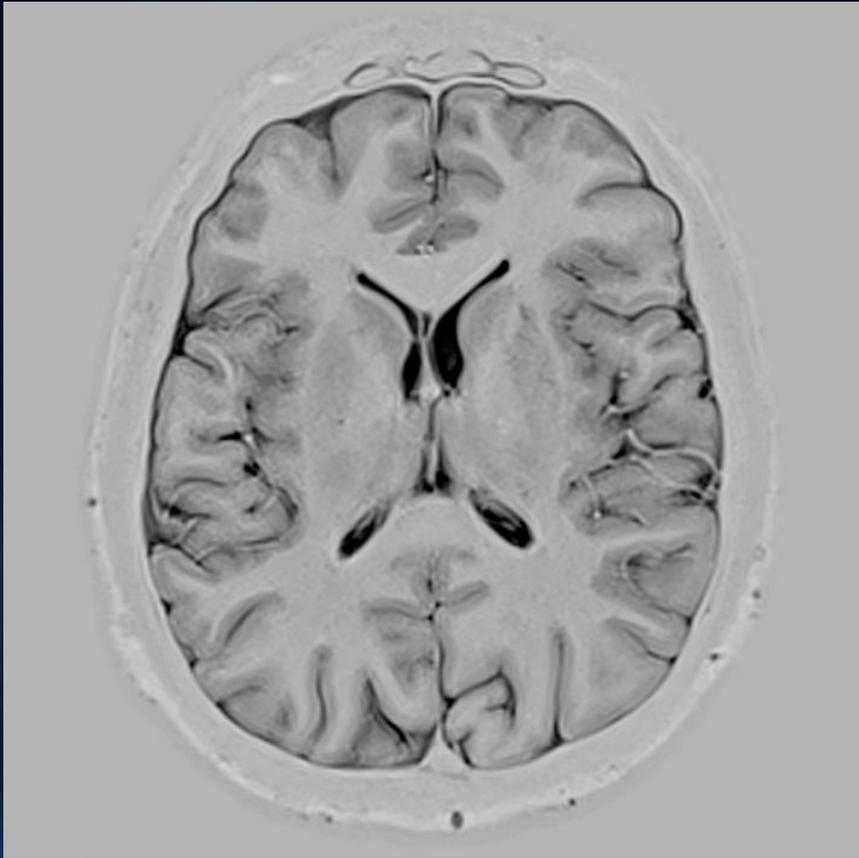
Flair



FLAIR in Brain MRI



T1 IR (TI=400ms)



Signal to Noise Ratio(訊雜比)

Signal(訊號)

- 影像中像素或體素中的相對亮度
- 與物質中的氫原子密度有關

Noise(雜訊)

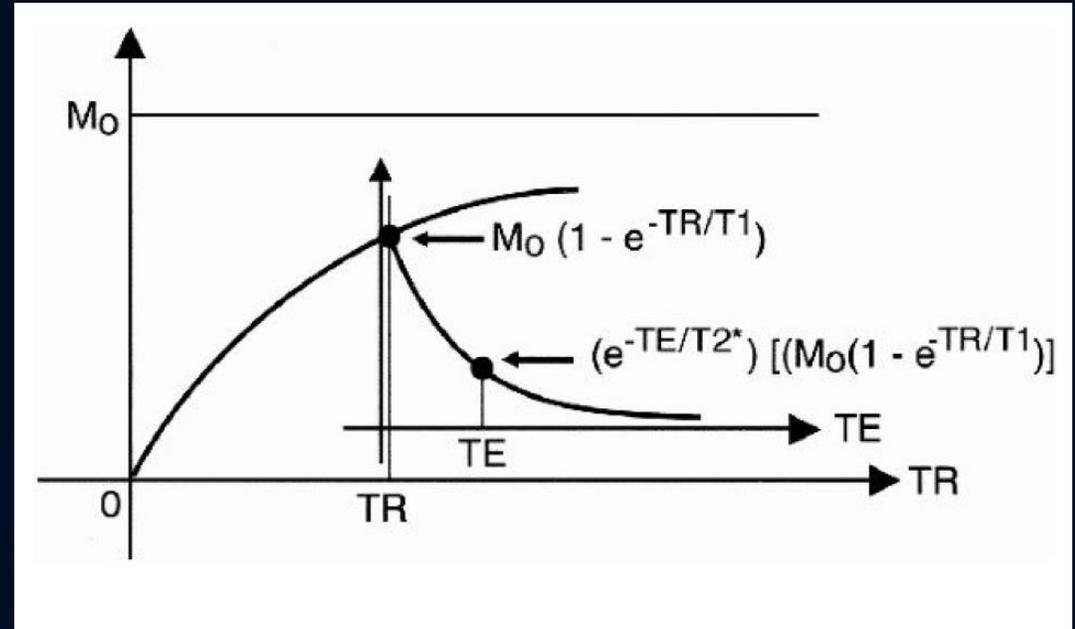
- 影像中隨機出現的雜點
- 多數由病患組織中產生

影響SNR的因子

- 重複時間(TR)
- 回訊時間(TE)
- 體素大小
- 平均次數(NSA)
- 切面厚度
- 頻寬

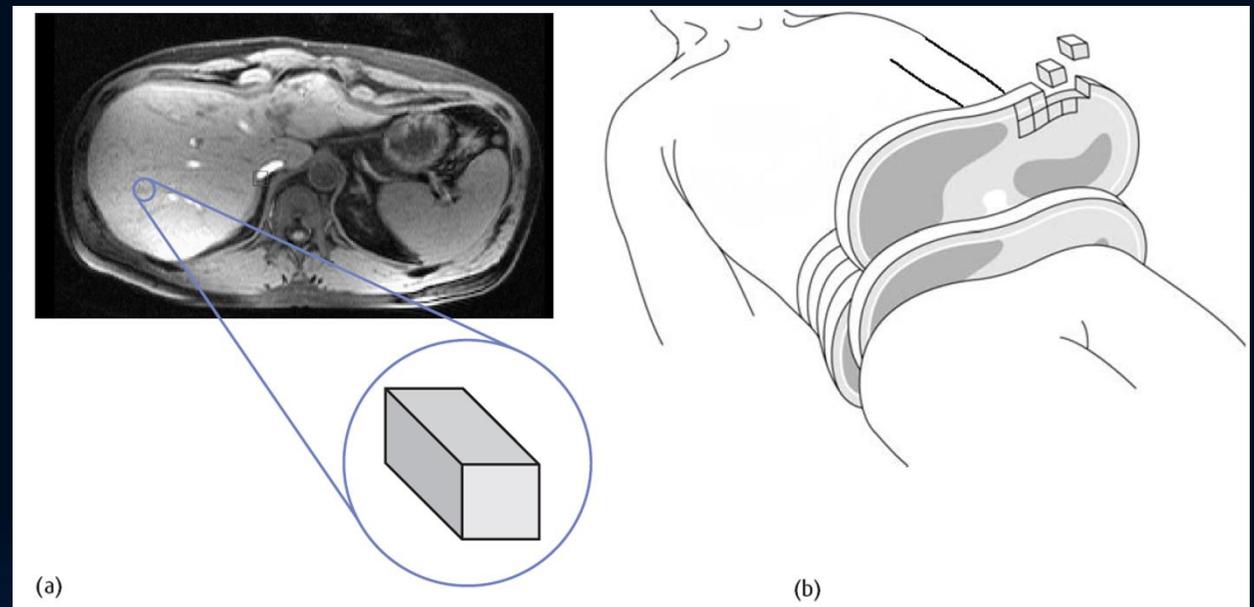
TR, TE 與 SNR

- 重複時間(TR)
 - TR越長，SNR越高(下次可偏轉到xy平面上的越多)
- 回訊時間(TE)
 - TE越長，SNR越低(訊號衰減越多)

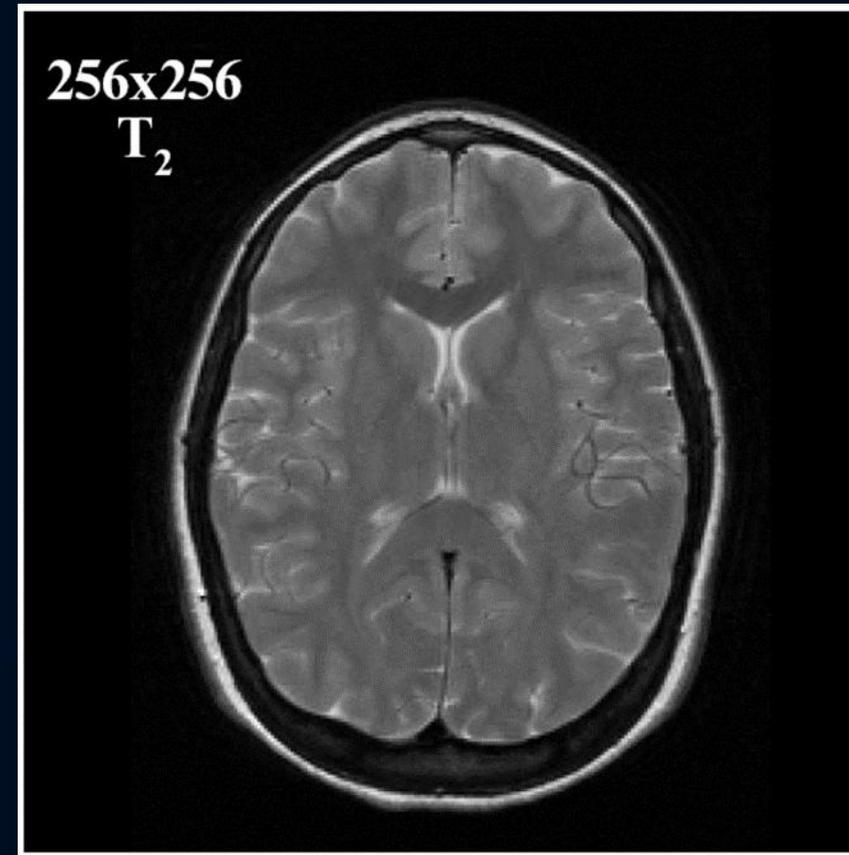
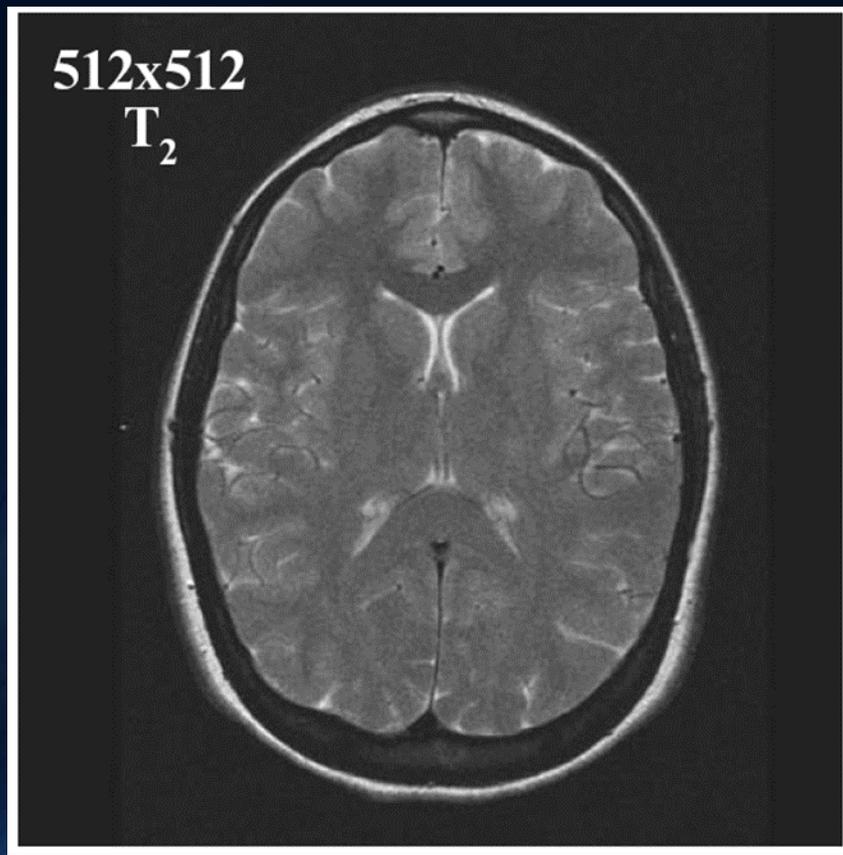


體素大小 (Voxel size)

- 大牛排理論
- 體素越大，單位體積內所含氫原子數量越多
- SNR越高

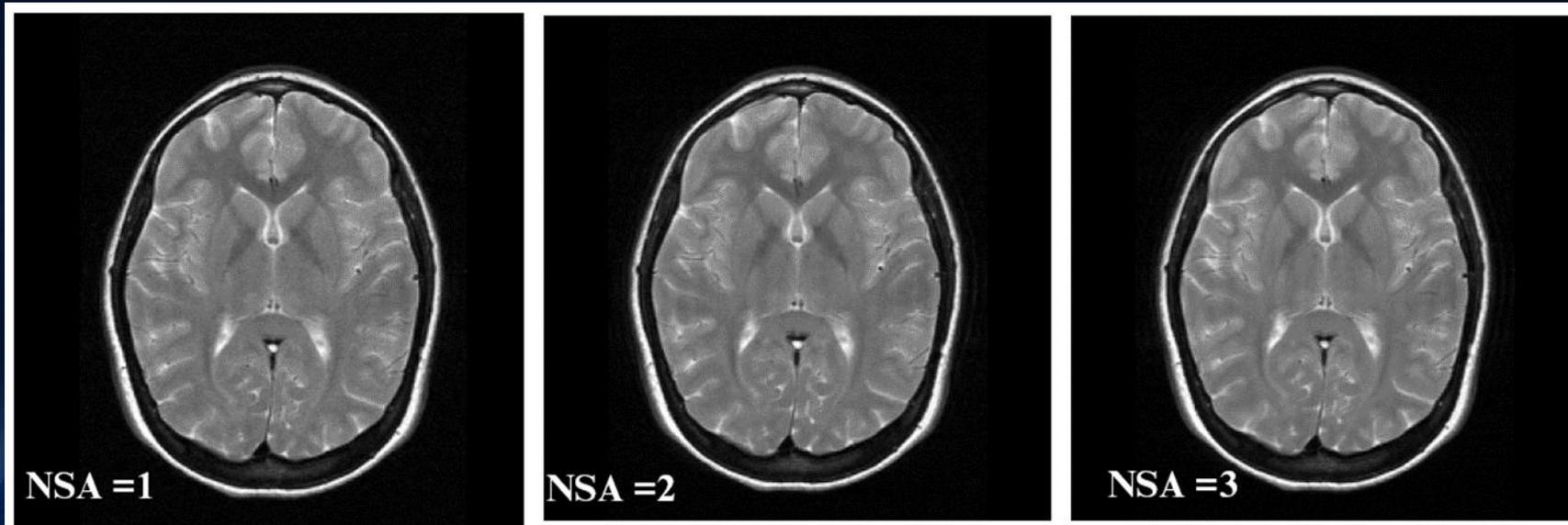


Voxel size



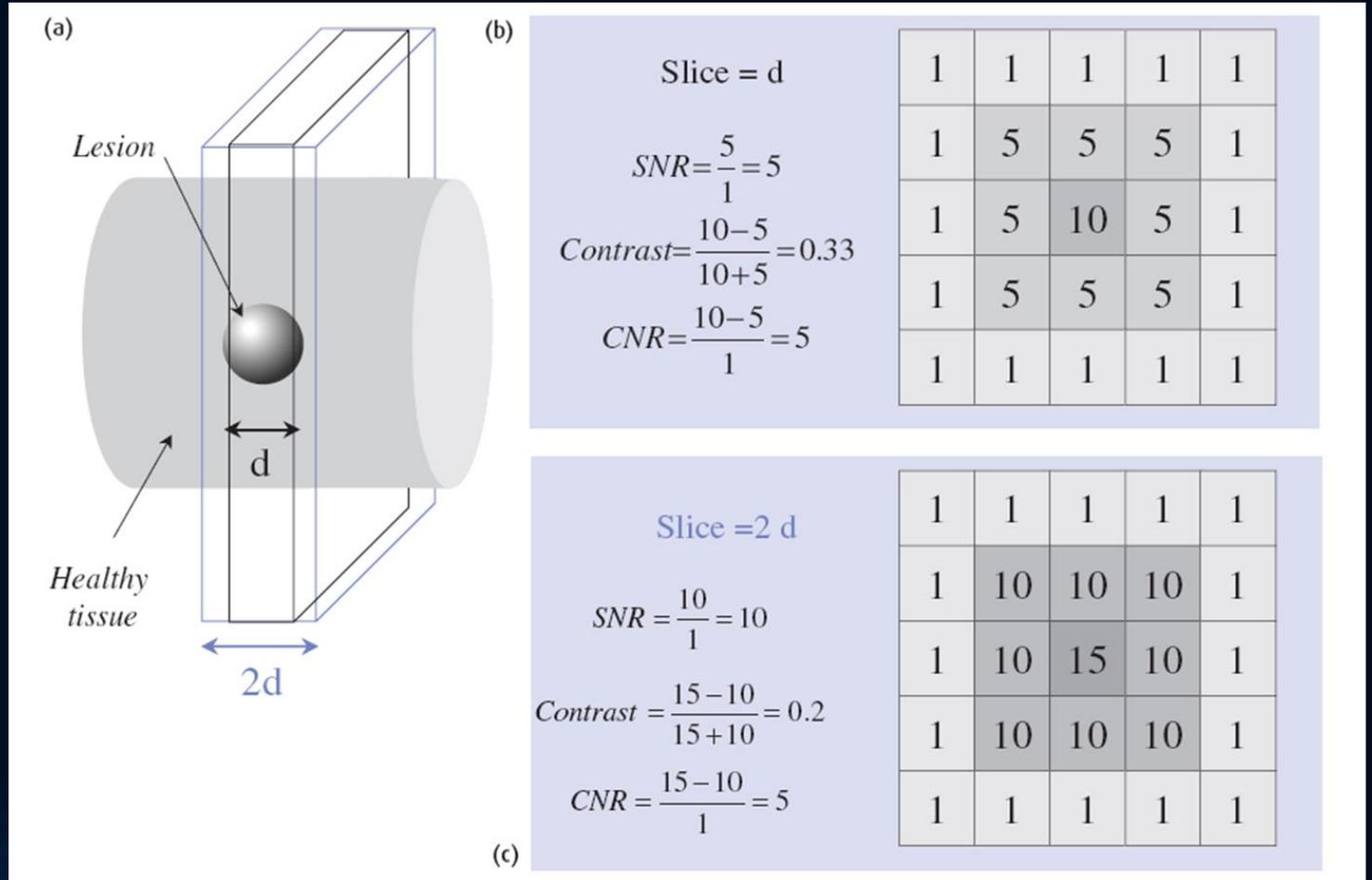
平均次數(NSA)

- 針對特定區域內組織，訊號重複擷取的次數
- 擷取的次數每增加一倍，相位編碼的次數也增加一倍
- 所需Scan time 加倍，SNR增加 $\sqrt{2}$ 倍



切面厚度

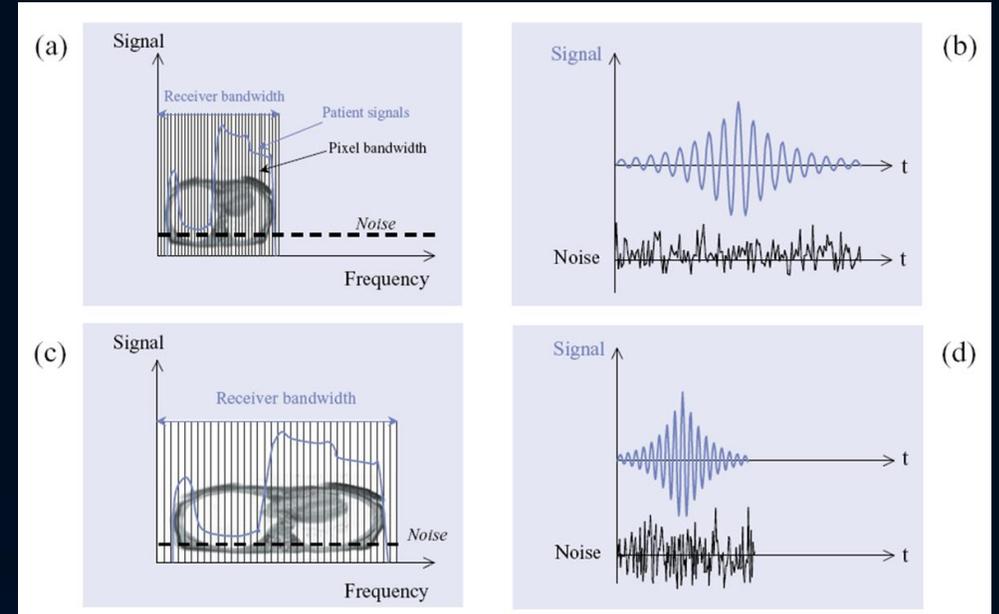
- 大牛排理論
- 切面厚度越厚，單位體積內所含氫原子數量越多
- SNR越高
- 解析度降低



頻寬(Bandwidth)

- BW 與SNR 成反比
- 當BW降低:
 - SNR 上升 (BW 降低2倍，SNR 增加 $\sqrt{2}$ 倍)
 - 化學位移假影(chemical shift artifact)增加
 - TE 時間增加

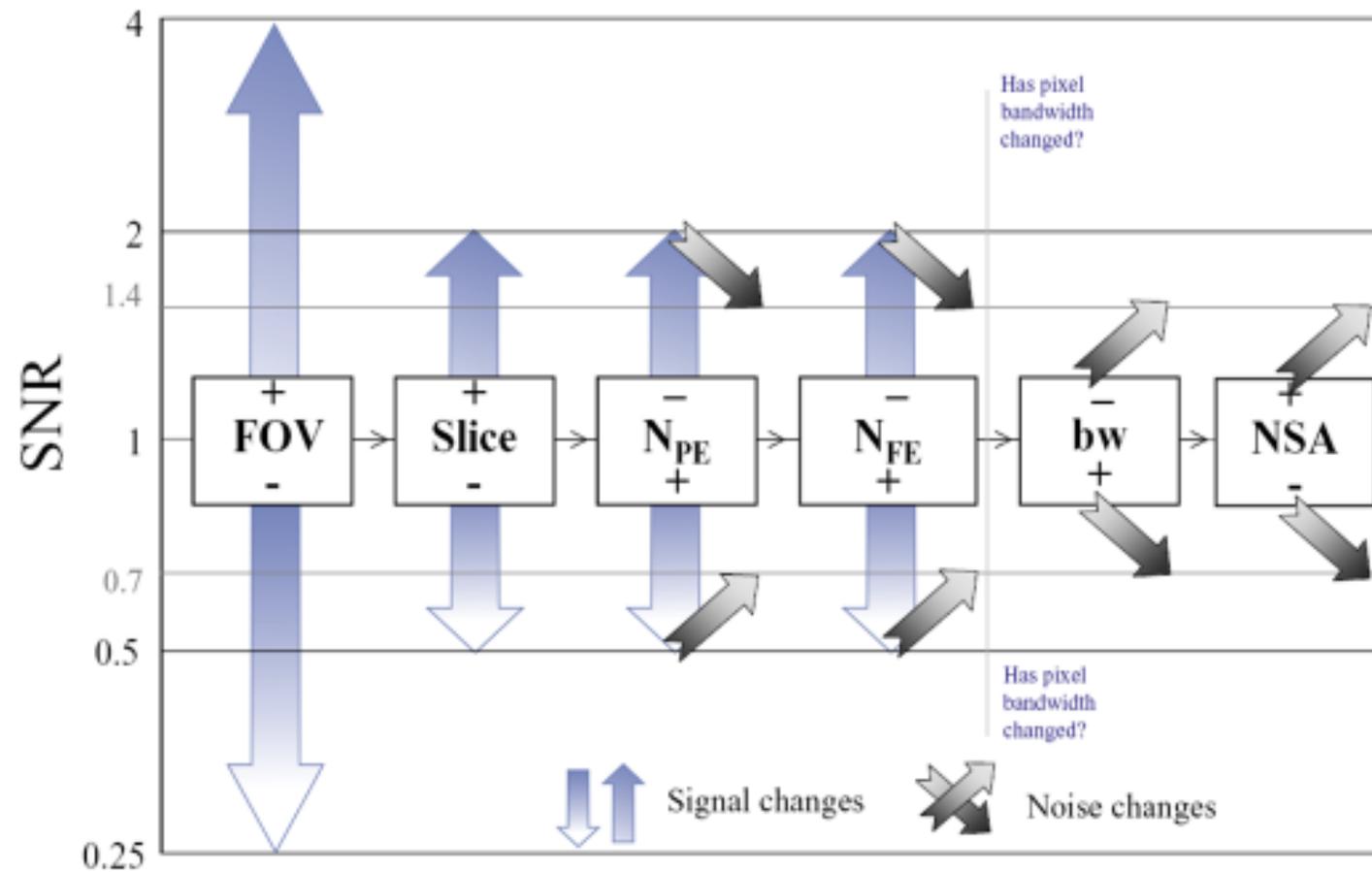
$$\text{Bandwidth} = 1/\Delta T_s = N_x / T_s$$



SNR???

$$SNR \propto \frac{\Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z \cdot F_{\text{sequence}} \cdot \sqrt{NSA \cdot N_{\text{PE}} \cdot N_{\text{FE}}}}{\sqrt{BW}}$$

$$SNR \propto \frac{FOV_{\text{FE}} \cdot FOV_{\text{PE}} \cdot \Delta z \cdot F_{\text{sequence}} \cdot \sqrt{NSA}}{\sqrt{BW \cdot N_{\text{FE}} \cdot N_{\text{PE}}}}$$



Resolution(解析度)

- 空間解析度(Spatial resolution)

與體素大小有關

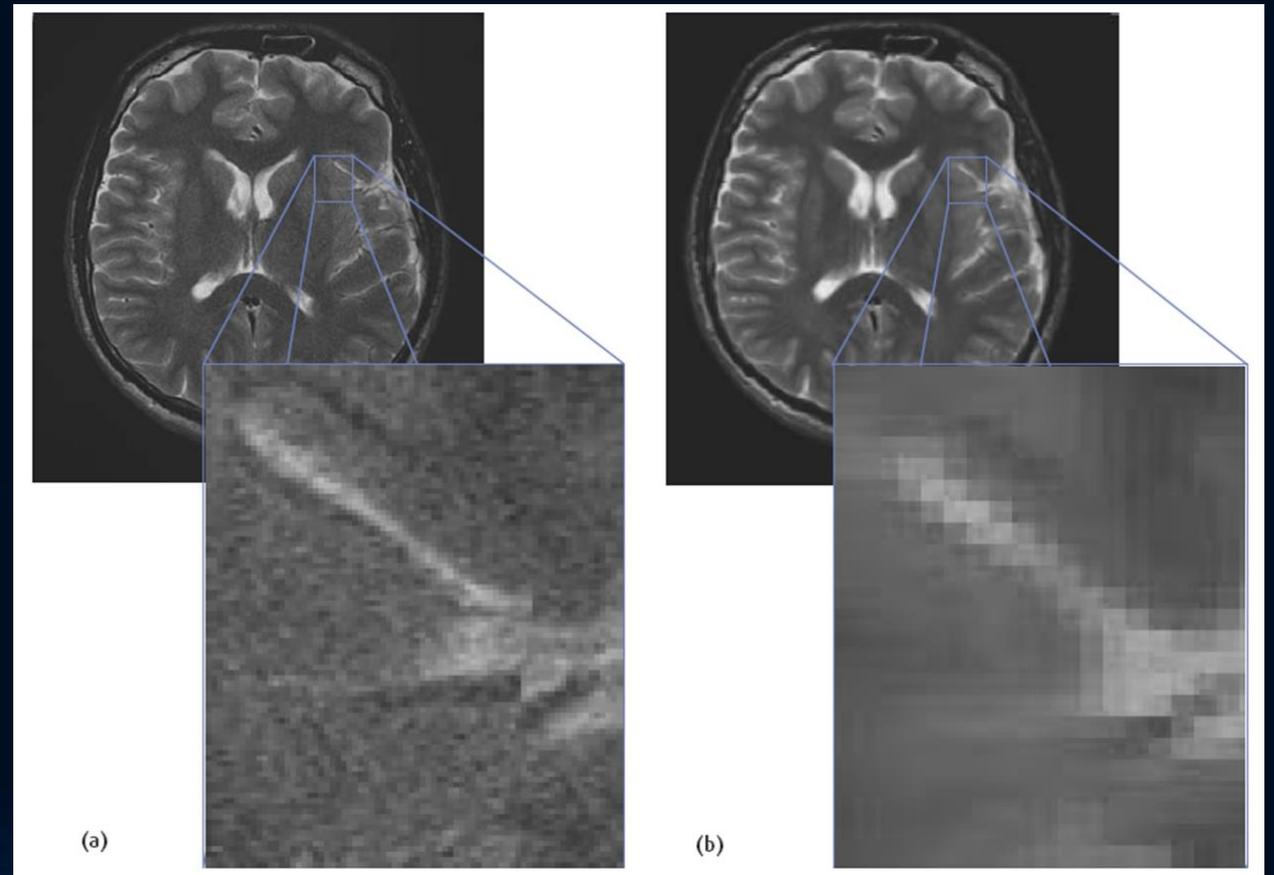
- 時間解析度(Temporal resolution)

與掃描時間有關

用於dynamic scan

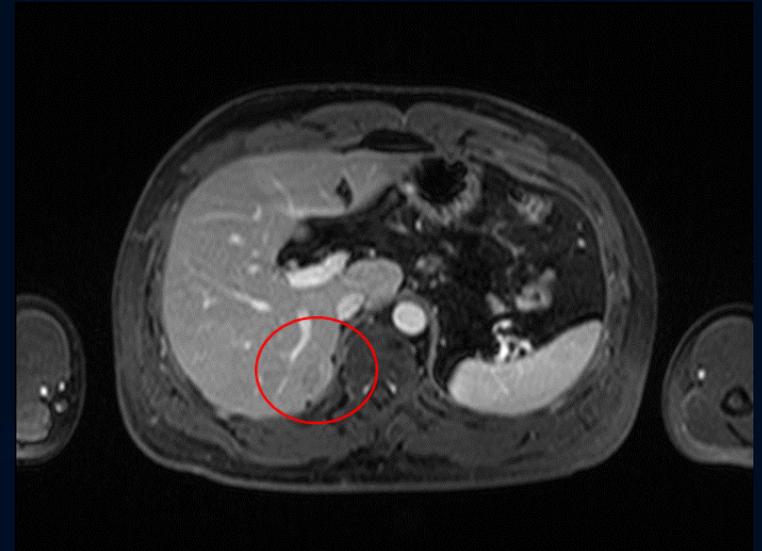
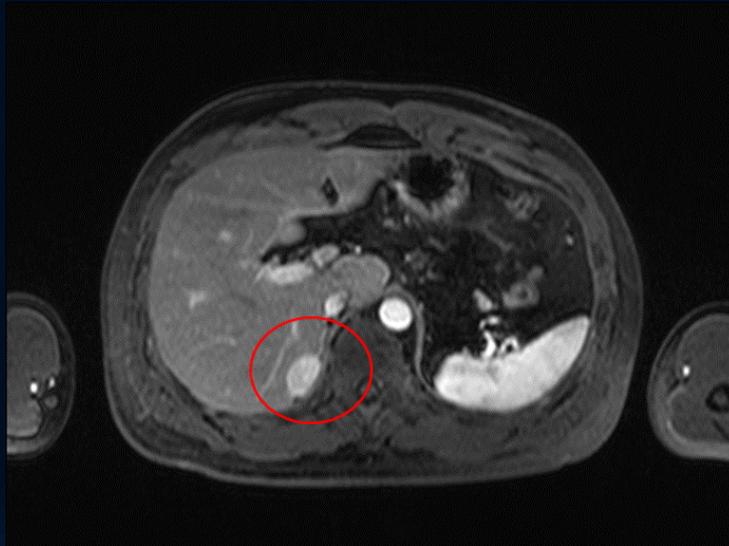
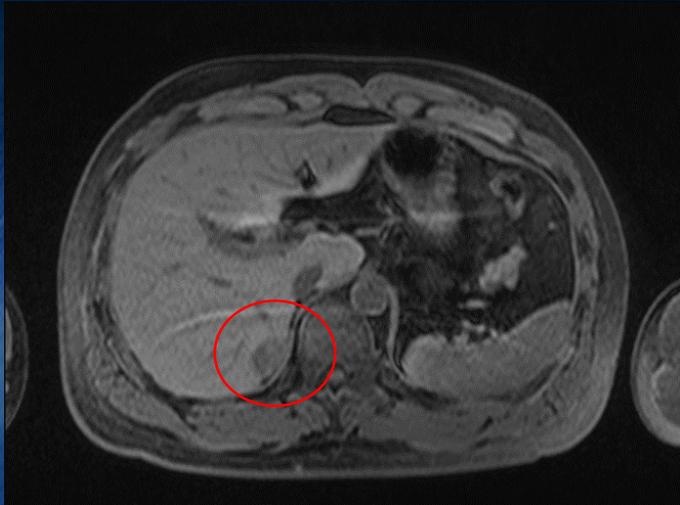
空間解析度(Spatial resolution)

- 分辨兩點之間的最短距離
 - 影響體素的大小
 - 高解析度，SNR下降
- 增加平均次數(NSA)
- 掃描時間增加



時間解析度(Temporal resolution)

- 運用快速掃描波序
- 針對同一掃描範圍進行多次影像擷取
- 應用在對比劑注射後的動態掃描



Coverage(涵蓋範圍)

- 定義: 在多重切面掃描波序中可以涵蓋的距離
- 影響因子:

--- Number of slices

$$\# \text{ slices} = TR / (TE + T_s / 2 + T_0)$$

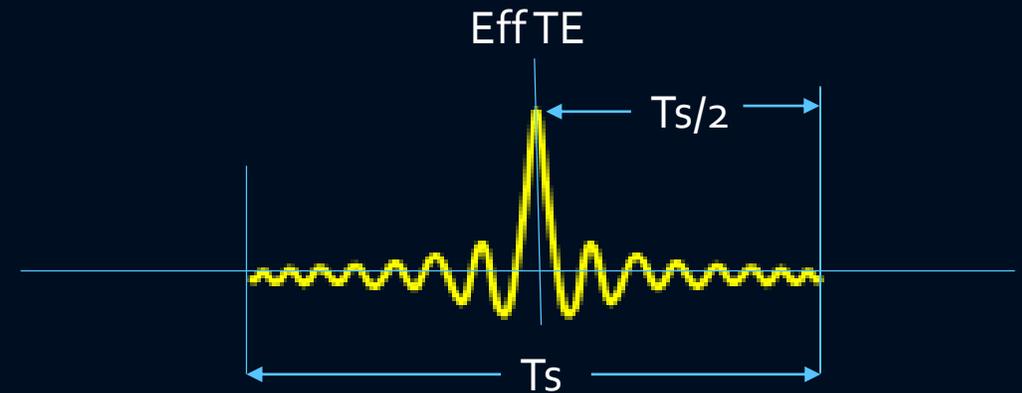
--- Slice thickness

--- Gaps

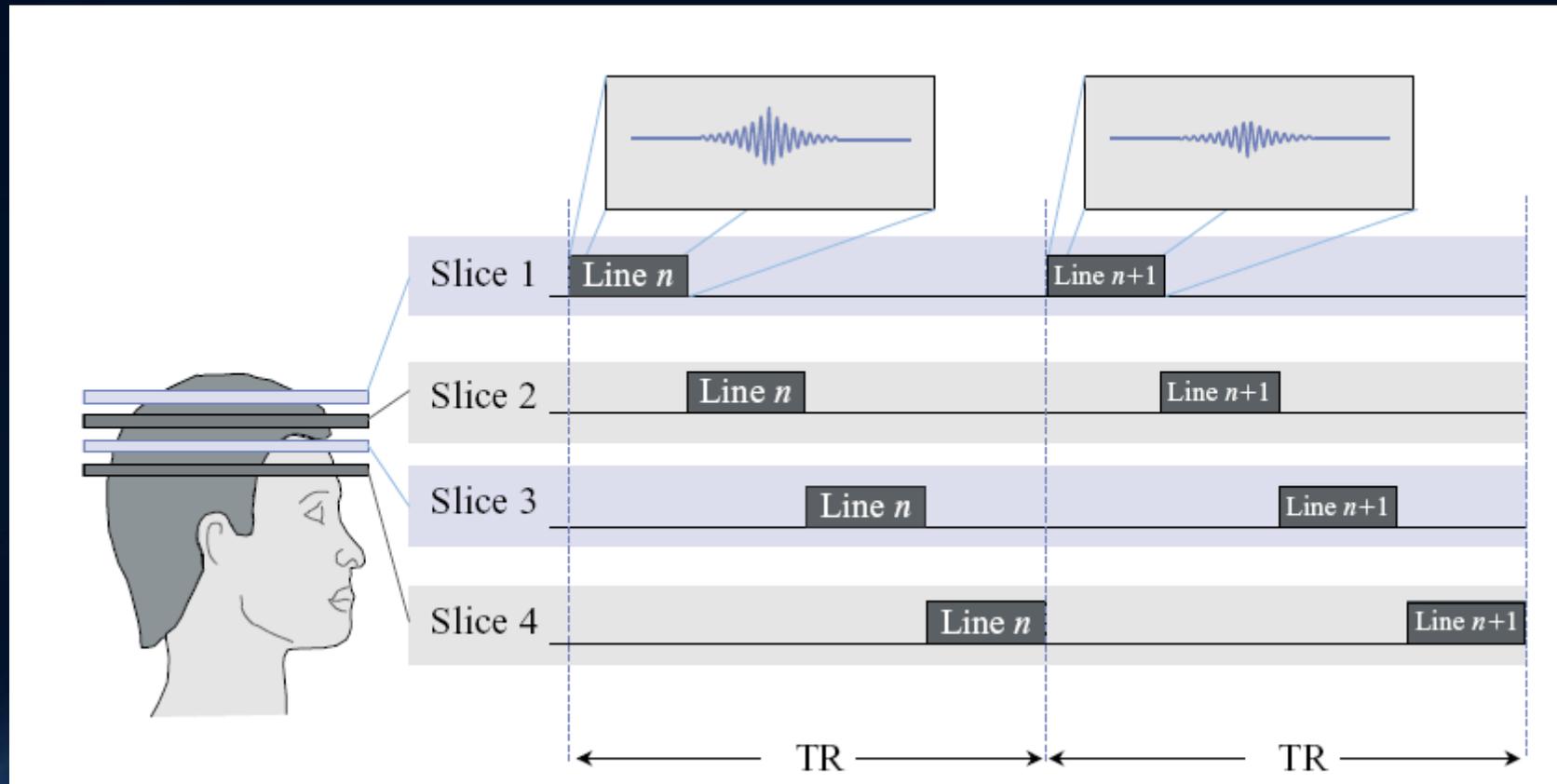
--- ETL

$$\# \text{ slices} = TR / (TE + T_s / 2 + T_0)$$

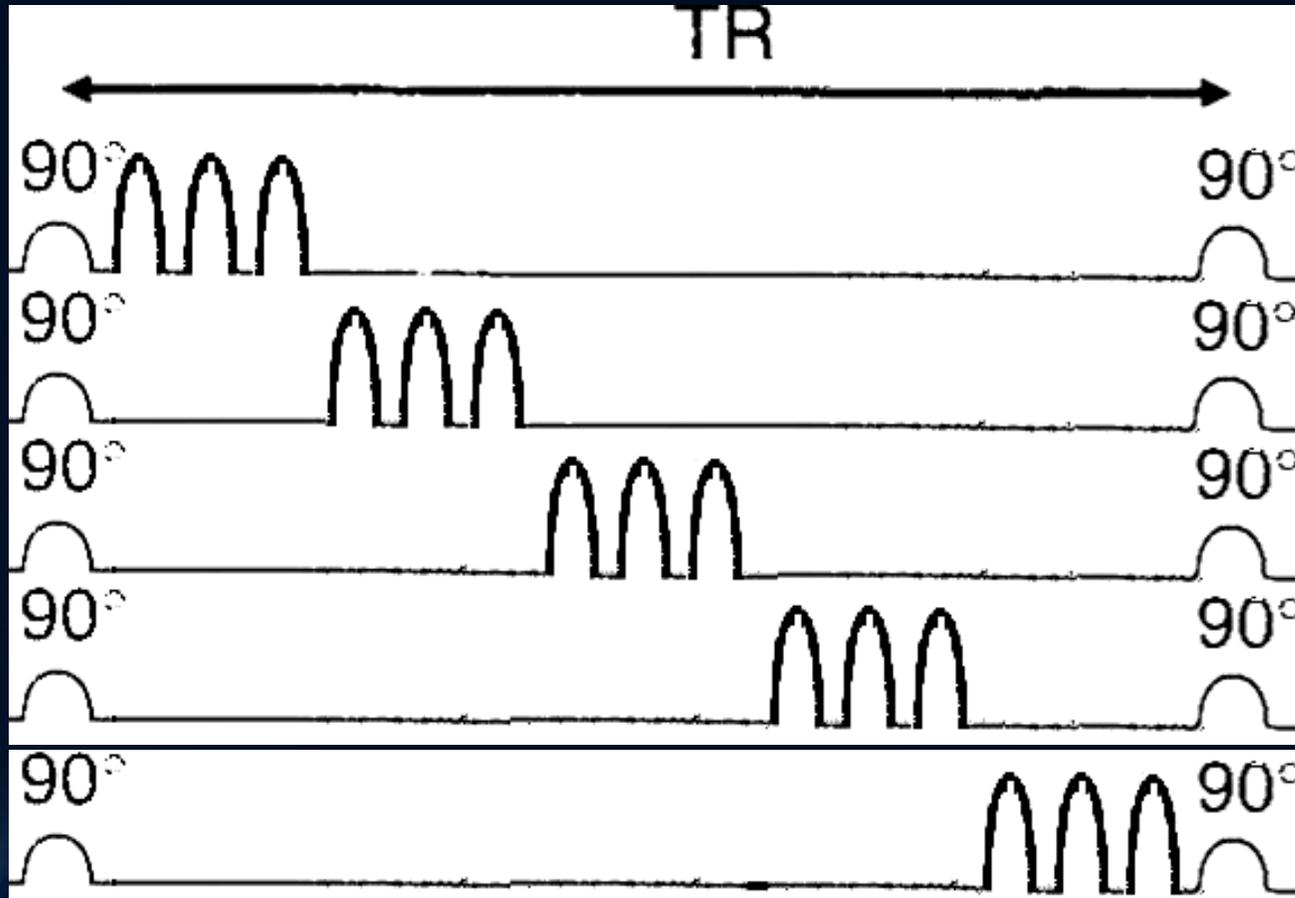
- TR:重複時間，TR越長，可切的切面張數增加
- TE:回訊時間，TE越長，單位TR內可切的切面張數減少
- TS:取樣時間，TE越長，單位TR內可切的切面張數減少
- T0:準備時間，用於波序的前置準備，如IR、FS等.....



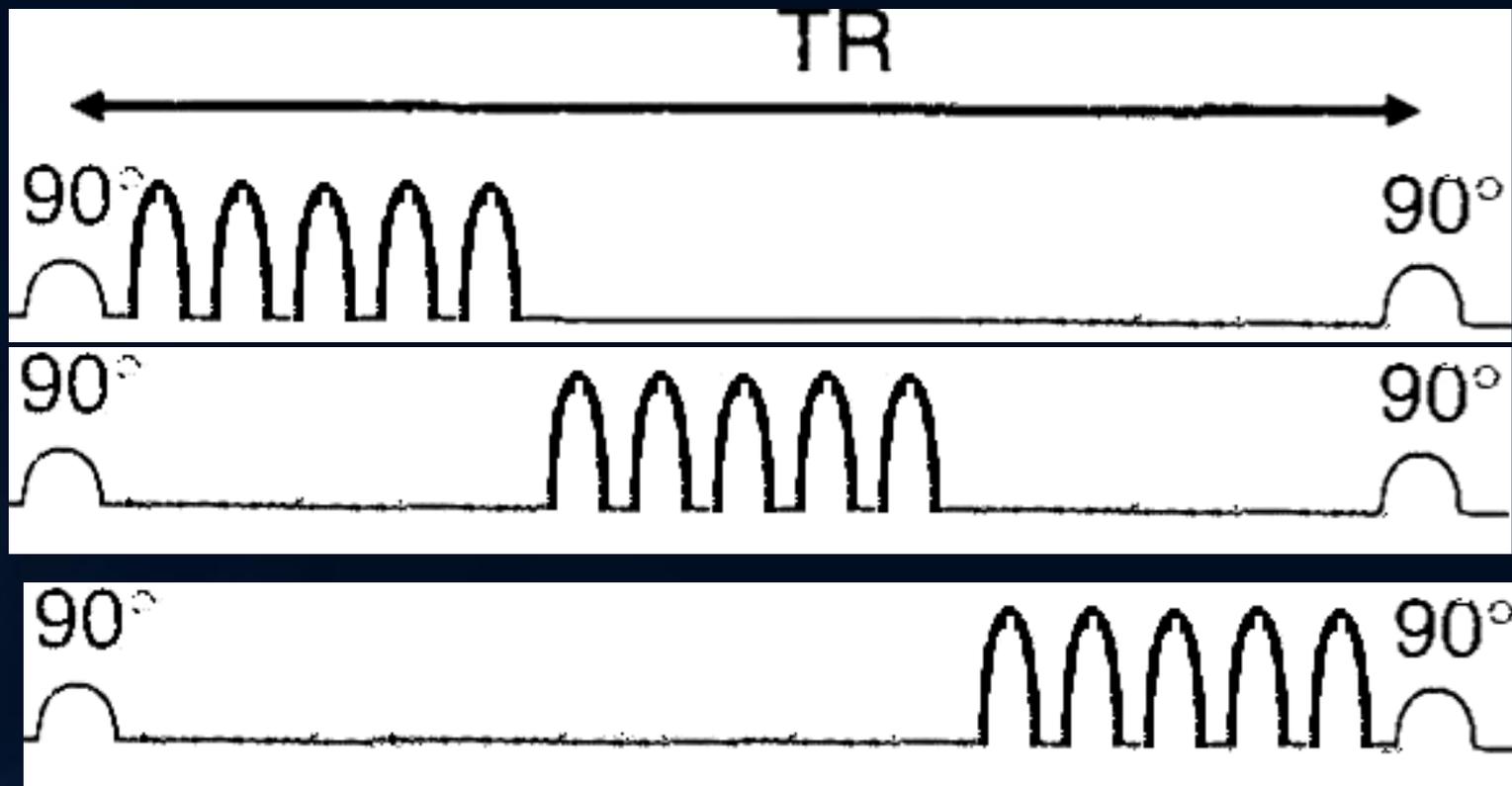
TR vs. slices



ETL vs. coverage

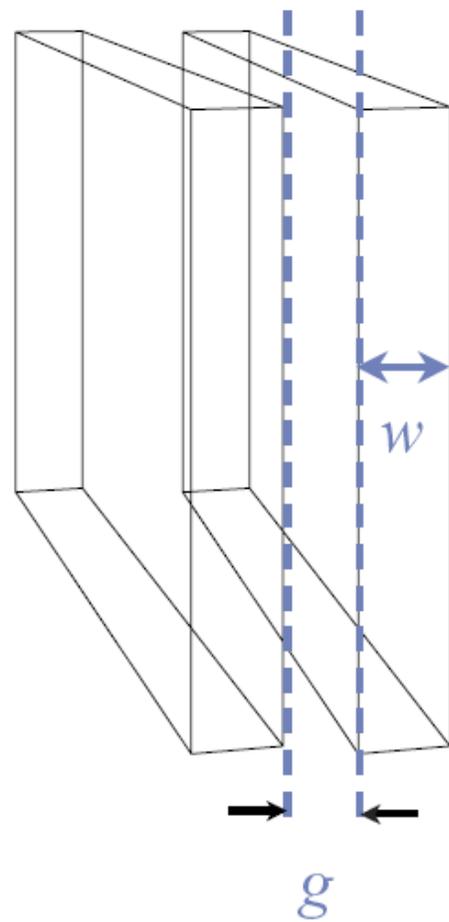


ETL=3

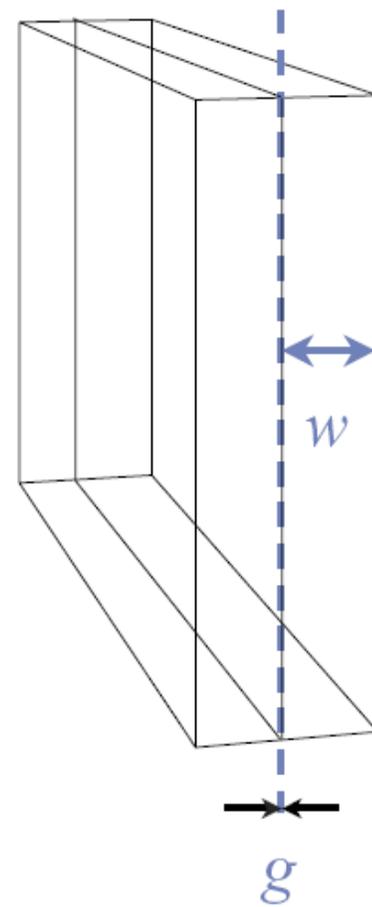


ETL=5

Gap



(a)



(b)

Increasing interslice gap causes:

- increased coverage
- decreased “cross-talk” artifact
- increased SNR (due to increasing effective TR by reducing cross-talk)

Gap vs. cross talk

