

快速自旋迴訊

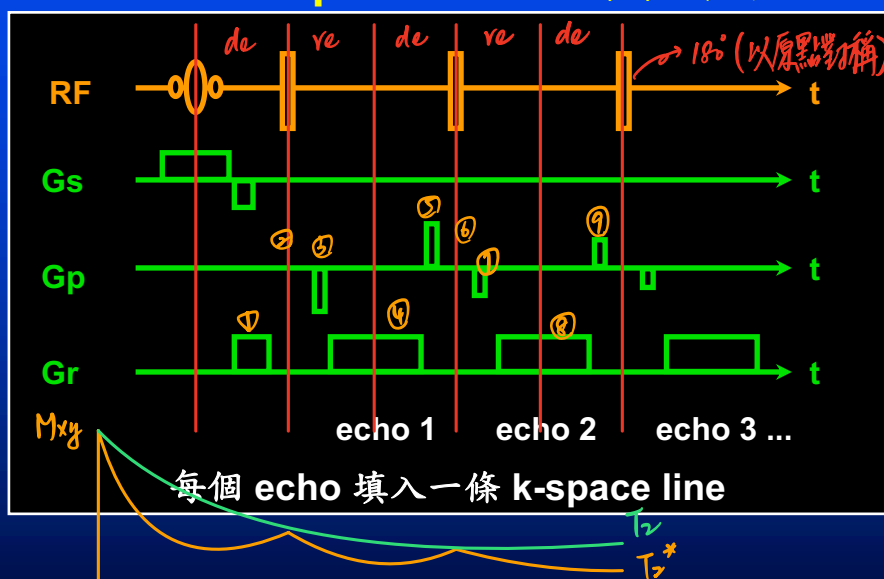
Fast Spin-Echo

吳明龍 副教授
成大資訊系/醫資所
minglong.wu@csie.ncku.edu.tw
辦公室: 資訊系新館12樓

1

1

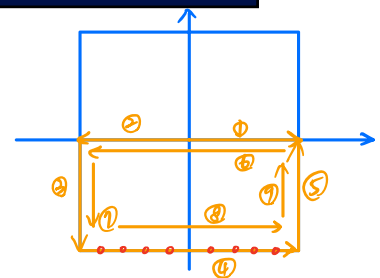
Turbo Spin-echo 脈衝序列圖



2

2

Multiple spin echo
 { multi-echo (echo1 image1 $\hookrightarrow T_2W$, echo2 image2 $\hookrightarrow T_2W$)
 ✓ { TSE/FSE (accelerate)



1

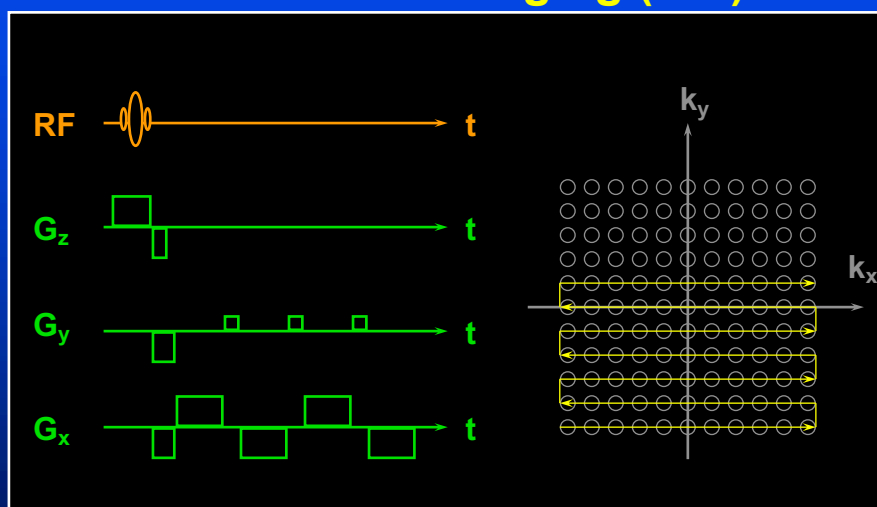
回顧：掃描如何加速？

- 例：面迴訊影像 (EPI)
 - 單一次 RF 激發後填完整個 k -space 所需數據

3

3

Echo Planar Imaging (EPI)



4

4

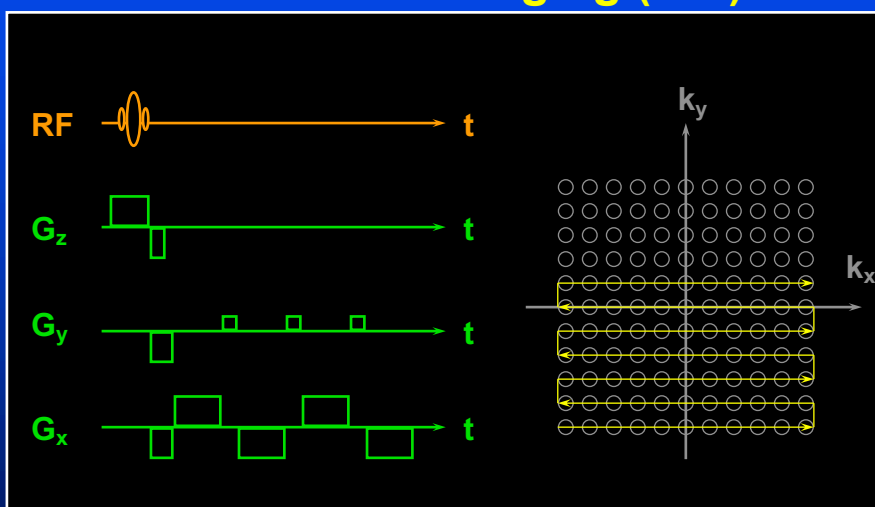
由 EPI 到 TSE

- EPI：一連串的**梯度迴訊**
 - 加入適當的空間編碼梯度
- TSE：一連串的**自旋迴訊**
 - 加入適當的空間編碼梯度

5

5

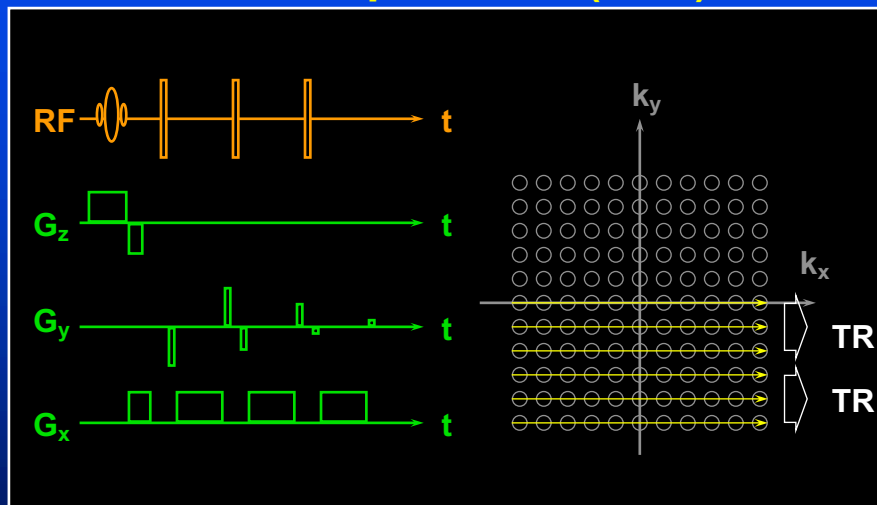
Echo Planar Imaging (EPI)



6

6

Turbo Spin-Echo (TSE)



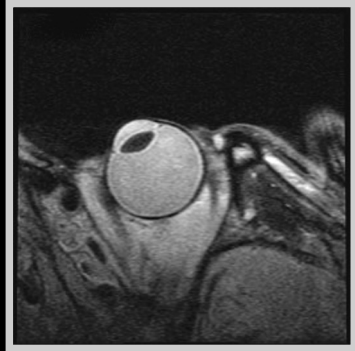
7

和普通 Spin-Echo 很像

- 但是每一次 RF 激發都可以獲得多組 k-space lines
 - 只不過多加幾次 180° 聚焦
- 單張掃描一定比 spin-echo 快許多

8

20 秒鐘的眼睛影像



GE 1.5 Tesla
Fast Spin-echo

echo train length
ETL = 12
TR = 2000

Scan time = 20 sec

完全看不到任何非自主性的運動假影

9

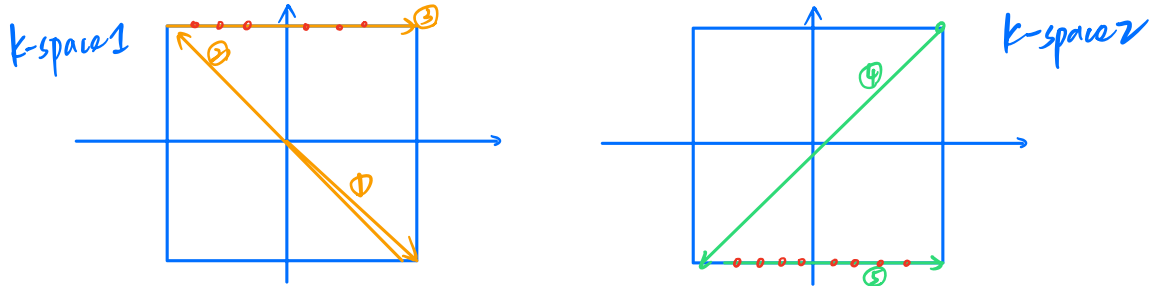
9

Multi Spin-echo 的類比

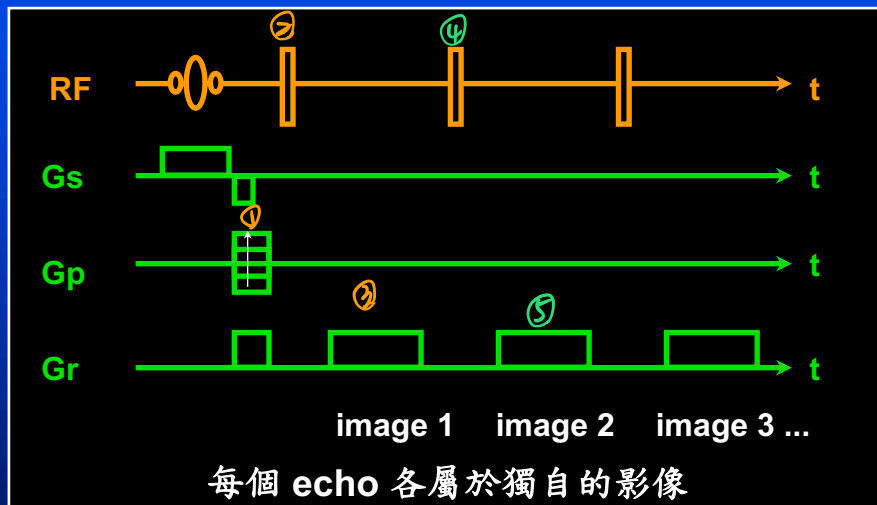
- 本來自旋迴訊就可以做很多 echo
 - 90° - 180° -echo- 180° -echo ...
- Multi-echo : 分成多張影像
- TSE : 全部 echo 用在同一影像

10

10

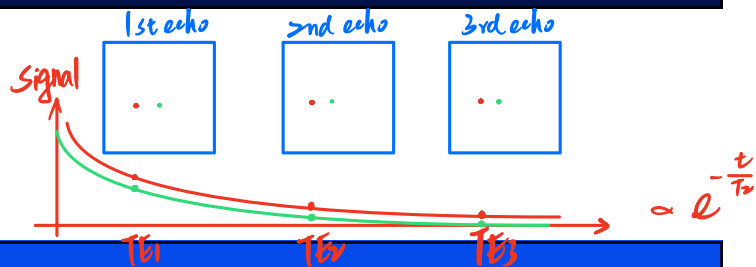


Multi-echo 脈衝序列圖

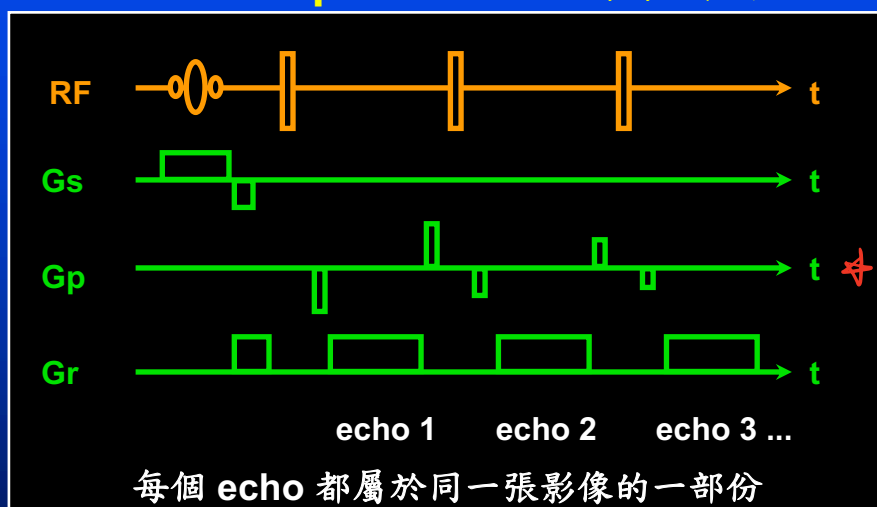


11

11 Parametric mapping
(T_2 value)



Turbo Spin-echo 脈衝序列圖



12

12

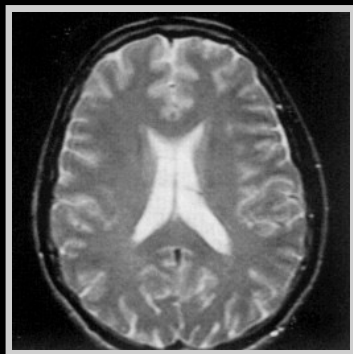
直接可推測的結果

- 能做 spin-echo 的 MRI 應該都能做 turbo spin-echo
- TSE 影像 behavior 應與傳統 spin-echo 十分類似

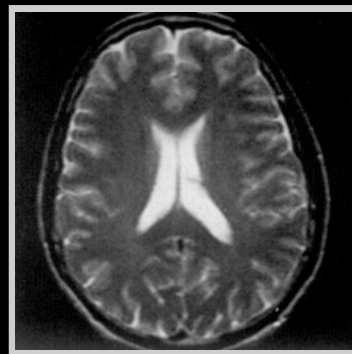
13

13

TSE 與一般 SE T2 影像之比較



SE (TE = 100)



TSE (TE = 100)

14

14

取個名字吧

- Turbo spin-echo (Siemens)
- Fast spin-echo (GE & others)
- RARE (Bruker)

15

15

為什麼 TSE 這麼重要？

- Spin-echo：傳統的 MRI 標準
- TSE 影像與 SE 十分類似
- 掃描加快了許多倍
 - TR = 2000：由 7 分鐘到一分鐘

16

16

TSE 與一般 SE 十分類似 (256x128)



SE (6 min)



TSE (48 sec)

17

17

所達到的掃描時間

- 每次產生例如 8 個 spin-echo
- 256x256 影像需時 = $32 \times TR$
- 掃描比傳統 spin-echo 快八倍
- Echo train length (ETL) = 8

↪ 有幾個 echo

18

18

Multi-shot TSE 掃描時間

QA: scan time = $7 \times \frac{256}{8}$ 32 shot (32個TR)

- 掃描時間 = $TR \times (\text{phase\#}) / ETL$



- ETL 愈大，單張掃描愈快 * Varying PE (ky lines)

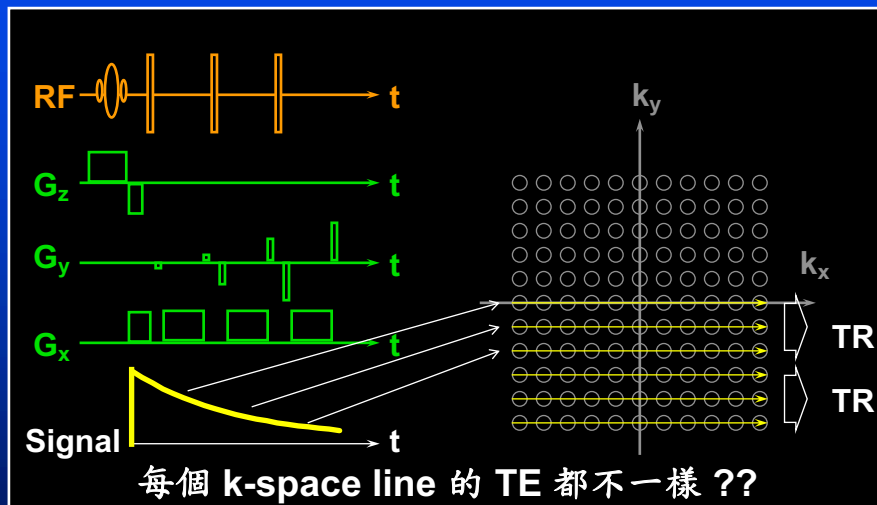
19

影像的對比如何呢？

- 每個 echo 的 TE 都不一樣呀！
- T2 對比如何決定？
- Effective TE (等效迴訊時間)
↳ 只管中間那條線的 TE

20

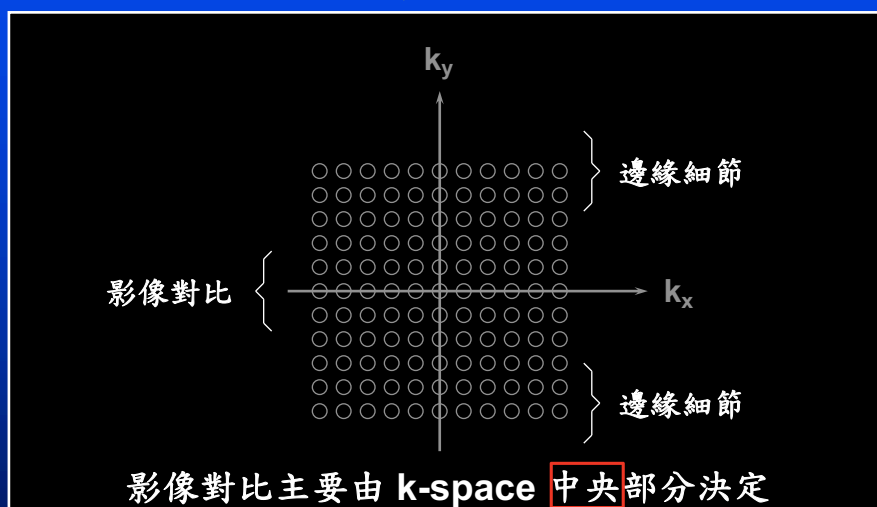
Multi-shot TSE 脈衝序列圖



21

21

不要忘記 ...



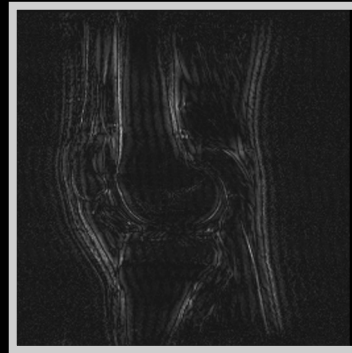
22

22

256x256 影像中的成份



k-空間中央：對比



外圍：邊緣細節

23

23

TSE 的 TE

- k-space 中央的數據決定了對比
- 雖然每個 echo 的 TE 都不同
- 以 k-space 中央數據的 TE 為主

24

24

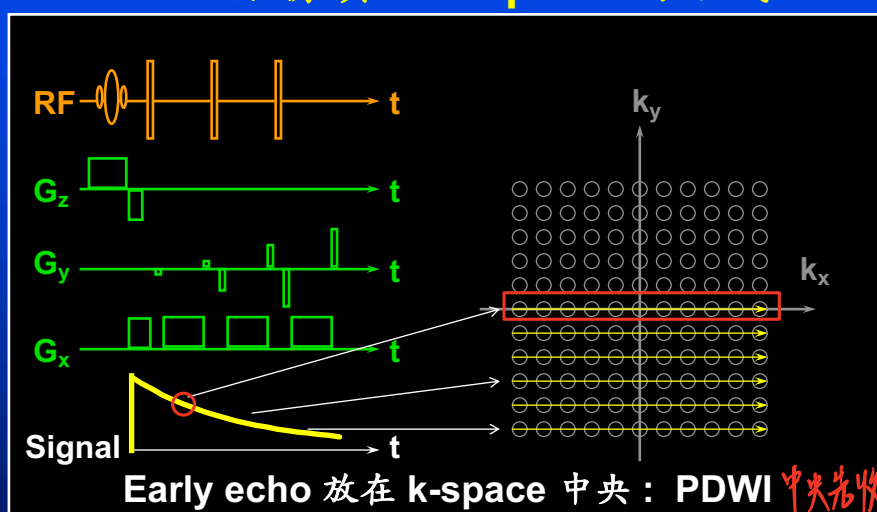
TE 與相位編碼

- 以 **k-space** 中央數據的 TE 為主
- 什麼時候數據放在 **k-space** 中央，可由相位編碼梯度決定
- 相位編碼順序決定 TE_{eff}

25

25

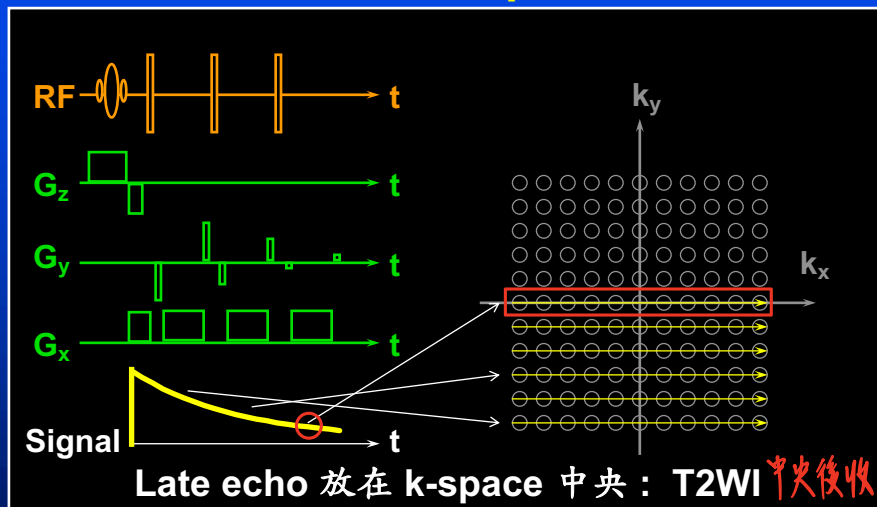
TSE 數據填入 k-space 的方式



26

26

TSE 數據填入 k-space 的方式



27

27

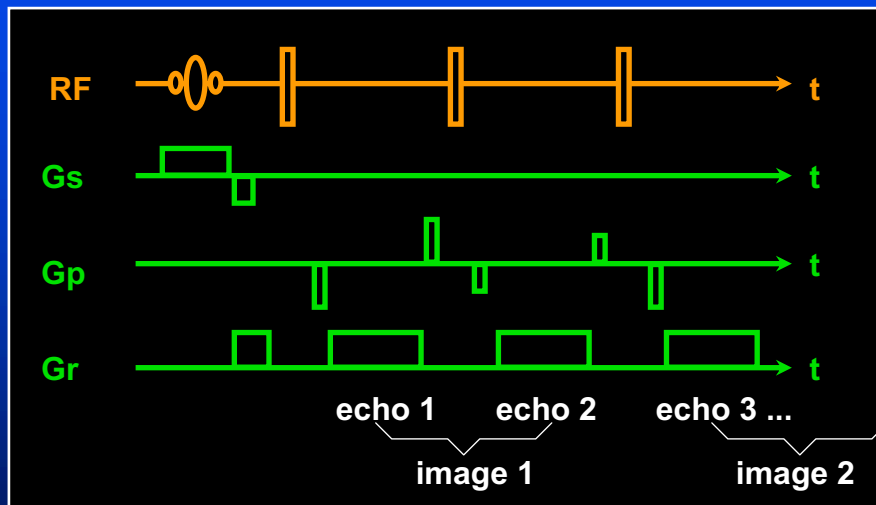
進一步延伸：雙對比 TSE

- 既然 TSE 只是 multi-echo 的延伸
- 那麼 TSE 當然也可以做 dual echo
- T2 對比同樣由 TE_{eff} 決定

28

28

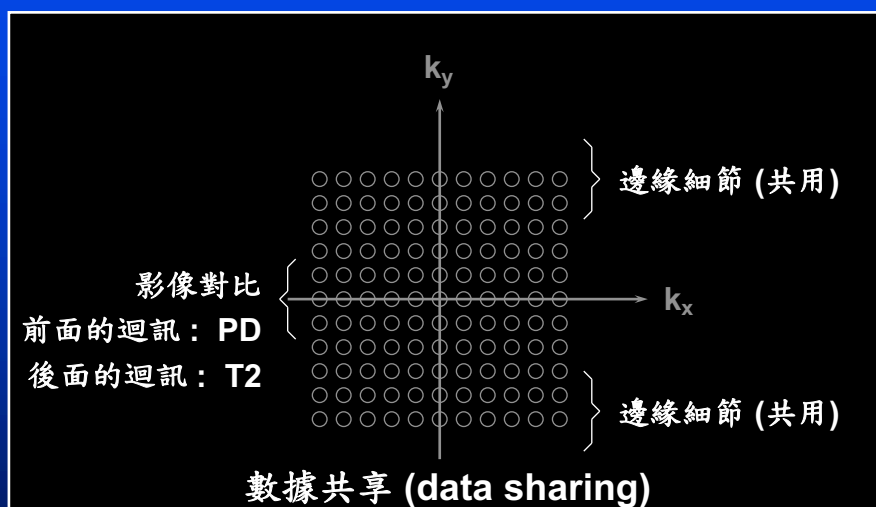
Dual-contrast TSE 脈衝序列圖



29

29

甚至於 ...



30

30

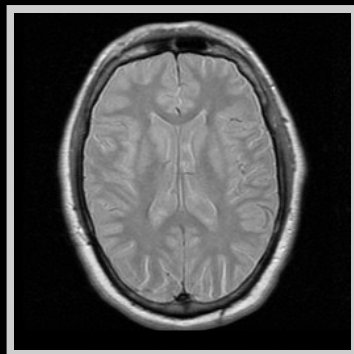
數據的共享

- 只多取 **k-space** 中央的數據，以變化 T2 對比
- **k-space** 的外圍細節不動
- 得到雙對比影像，時間不到兩倍

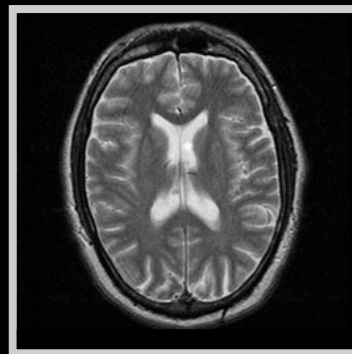
31

31

雙對比 TurboSE 中的迴訊分享



$TE_{\text{eff}} = 17 \text{ msec}$



$TE_{\text{eff}} = 85 \text{ msec}$

32

32

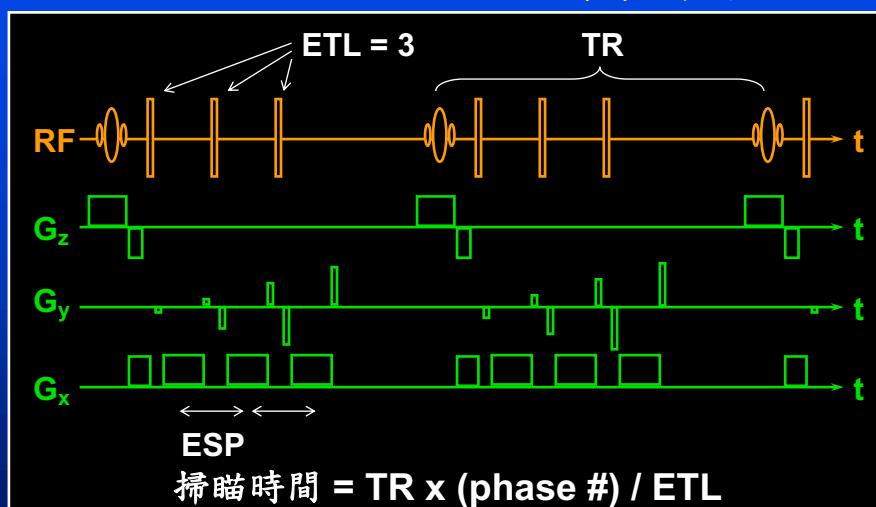
進一步加速：Single-shot

- 全部擷取時間 + 需要浪費時間
 < 一到二個 T2 (約一秒鐘上下)
- 256x256 : 4 msec 就一個 echo
 - Echo spacing (ESP)

33

33

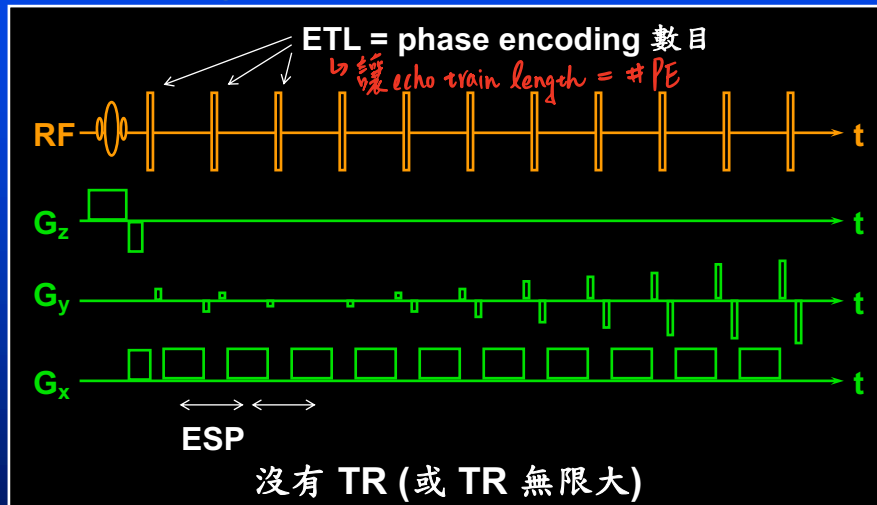
Multi-shot TSE 脈衝序列圖



34

34

Single-shot TSE 脈衝序列圖



35

35

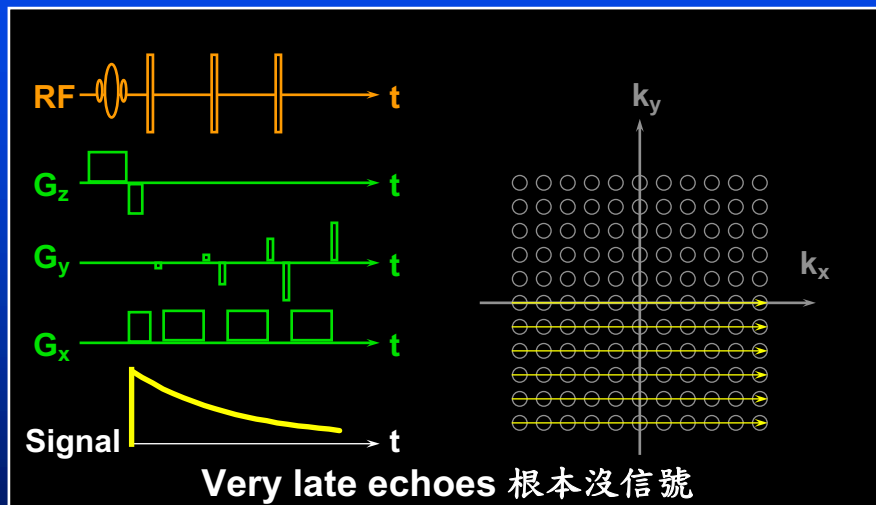
當然不是不行 ...

- ESP 不能太短 (~ 4 ms 下限)
- ETL ~ 256 ，掃描時間約 1-2 秒
- 大部分 MR 信號都因為 T2 decay 而衰減光光 \Rightarrow 實際上不行

36

36

Multi-shot TSE 脈衝序列圖



37

37

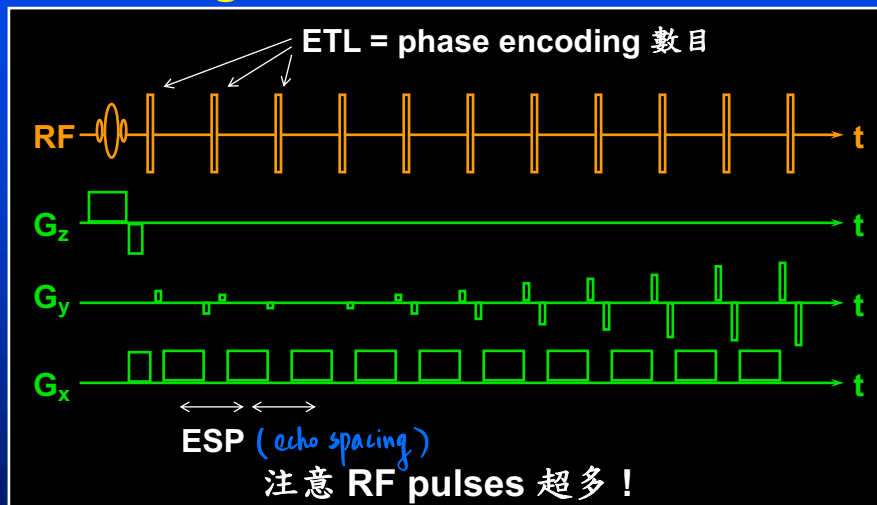
ESP 不能太短！

- Specific Absorption Rate (SAR)
- RF 消耗功率與偏折角平方成正比
 -180° 是 90° 的四倍， 30° 的 36 倍
- 過多 RF 功率消耗造成局部增溫

38

38

Single-shot TSE 脈衝序列圖



39

39

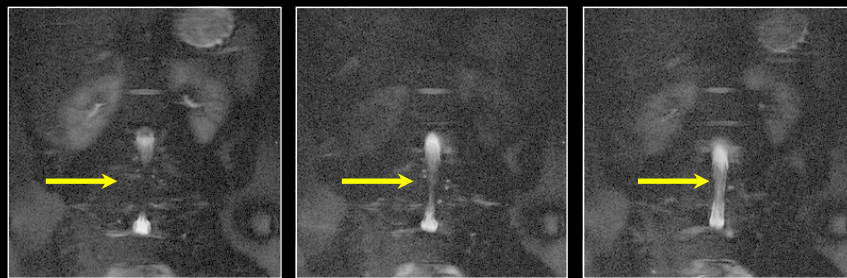
Single-shot TSE 適用場合

- 只想看長 T2 組織的時候
 - Myelogram, MRCP
- Motion 嚴重影響影像可讀性時
 - Fetal imaging, GI imaging

40

40

長時間下只剩長 T2 組織才有信號



Spinal cord 中的 CSF：長 T2 組織

41

41

利用 T2 的 TSE 脊髓攝影



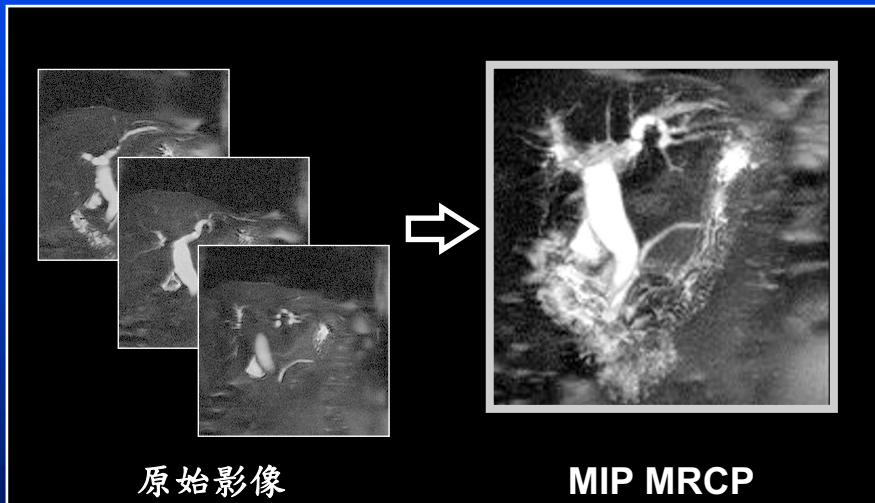
原始影像 (heavy T2 images)

MIP

42

42

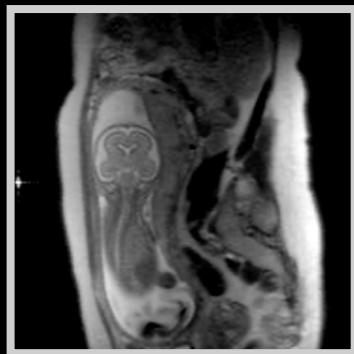
利用 T2 的 TSE MRCP



43

43

1 秒鐘的胎兒影像



Siemens 1.5 Tesla
HASTE
ETL = 128
256x240
Scan time = 1 sec
22 weeks gestation

完全沒有胎動造成的運動假影

44

44

順便提到：HASTE/SSFSE

- Siemens : Half-Fourier acquisition single-shot TurboSE
- GE : Single-Shot Fast Spin-Echo
- 半傅立葉 + TSE = 短時間 (1s)
- SAR 高，通常改 180° 為 130°

45

45

Multi-shot TSE 的主要應用

- 幾乎已成為 T2 影像的國際標準
 - 比傳統 SE T2 快多了
- HASTE 在 GI 中幾乎公認最佳
 - 可克服呼吸及磁化率假影

46

46

TSE 的優勢

- 影像表現類似傳統自旋迴訊
 - 自旋迴訊是廣為接受的臨床標準
 - TSE 影像因此也廣獲接受
 - 沒有梯度迴訊的磁化率假影

47

47

TSE 與一般 SE T2 影像之比較



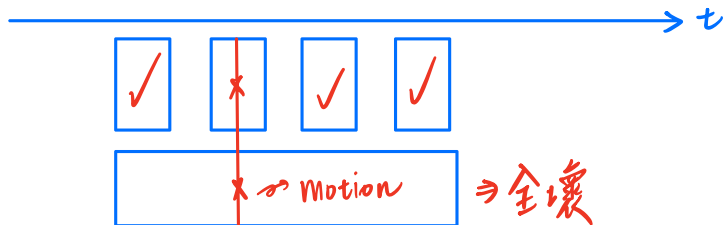
SE (TE = 100)



TSE (TE = 100)

48

48



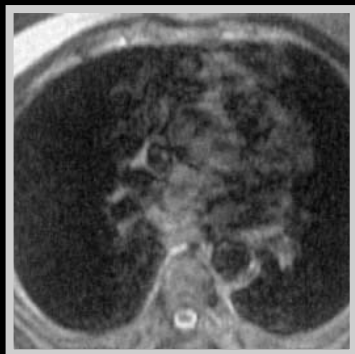
掃描快速的優勢

- 克服 motion artifacts
- 合理時間下以 average 換取 SNR
- 以 SNR 優勢換取高解析度
- 長 TR 加強 proton density 比重

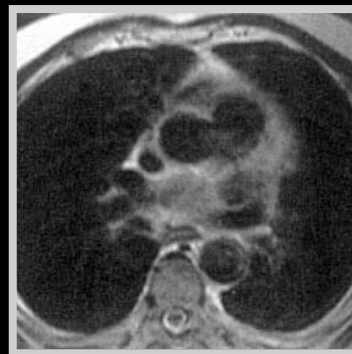
49

49

掃描加速在 motion 上的優勢



SE (ECG gating)



TSE (no gating)

50

50

速度優勢在腹部影像的應用



水平方向：頻率編碼

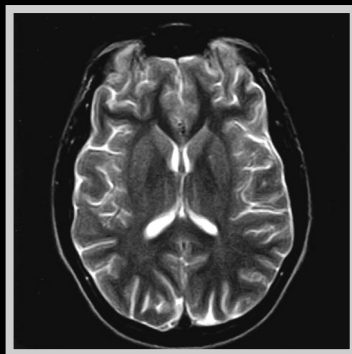


4:30 min scan, 512 matrix (readout)

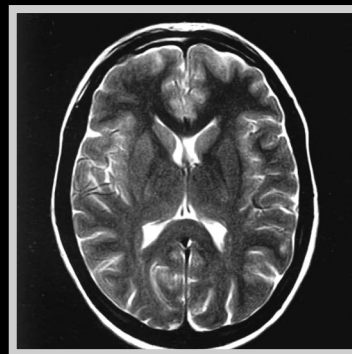
51

51

以時間換取 SNR 的解析度優勢



256x256, 57 sec



512x512, 2:45 min

合理掃描時間下的高解析度影像

52

52

長 TR 在 nerve roots 影像的優勢



Siemens 1.5 Tesla
Turbo Spin-echo

512 matrix
3 mm slice

Scan time = 7 min

強信號 CSF、高解析度 凸顯 nerve roots

53

53

TSE 的影像特性

- 比起相同 TE 的 SE
 - 較強的磁轉移對比 (不重要)
 - 擴散對比較弱 (重要!)
 - 長 TE 時脂肪特別亮 (不重要)

54

54

磁轉移對比 (MTC)

- Magnetization transfer contrast
- 暫時沒有時間談，但基本上 ...
- 含有大分子蛋白質的組織受到抑制
(詳細原理及其他應用以後再說)

55

55

TSE 中的 MTC

- 含有大分子蛋白質的組織受到抑制
 - CSF：水 (長 T2)
 - 灰白質：蛋白質 (短 T2)
- 影像中的 T2 對比看似增強

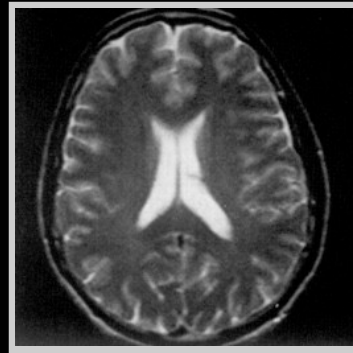
56

56

TSE 與一般 SE T2 影像之比較



SE (TE = 100)



TSE (TE = 100)

57

57

TSE 中的分子擴散比重

- **b factor** 的計算
 - 太複雜了，不談
- 多次 180° ，有部份重新聚焦的作用
- 較不會因擴散影響使信號降低

58

58

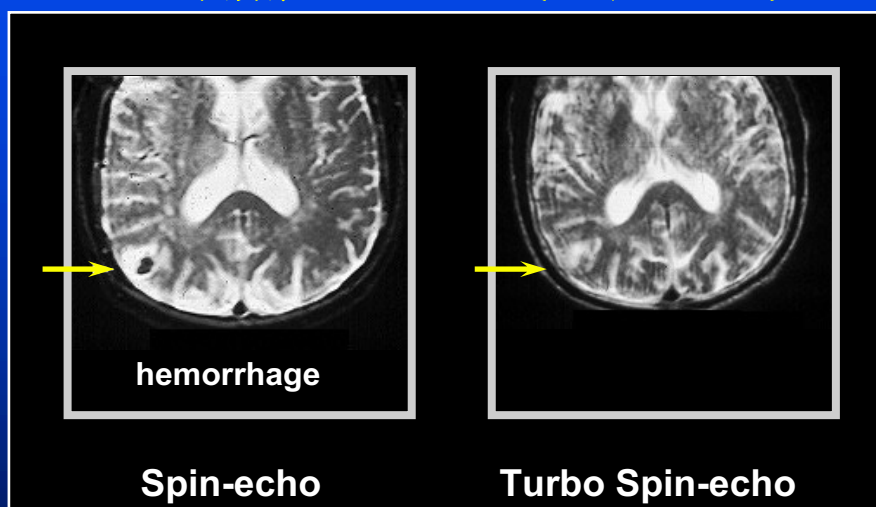
出血與血腫

- 血中的鐵質因「磁化率」加上「分子擴散」，使信號降低
- 到了 TSE 卻被聚焦回來
- TSE 不建議使用在這些場合！

59

59

TSE 對擴散效應的敏感度較 SE 為低



60

60

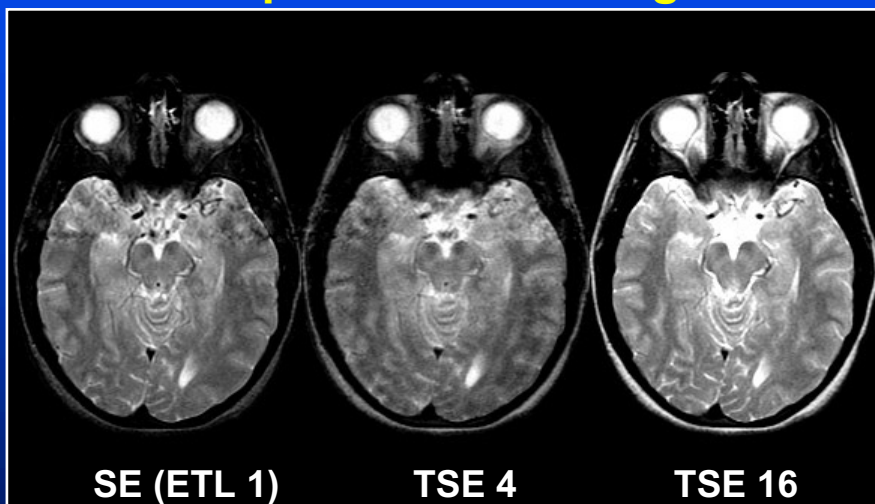
TSE 中超亮的脂肪

- J coupling 的影響
 - 這 ... 太複雜了吧！
- 好好好，我不說就是了

61

61

Turbo Spin-echo 中的 Bright Fat



62

62

TSE 專屬的 artifacts

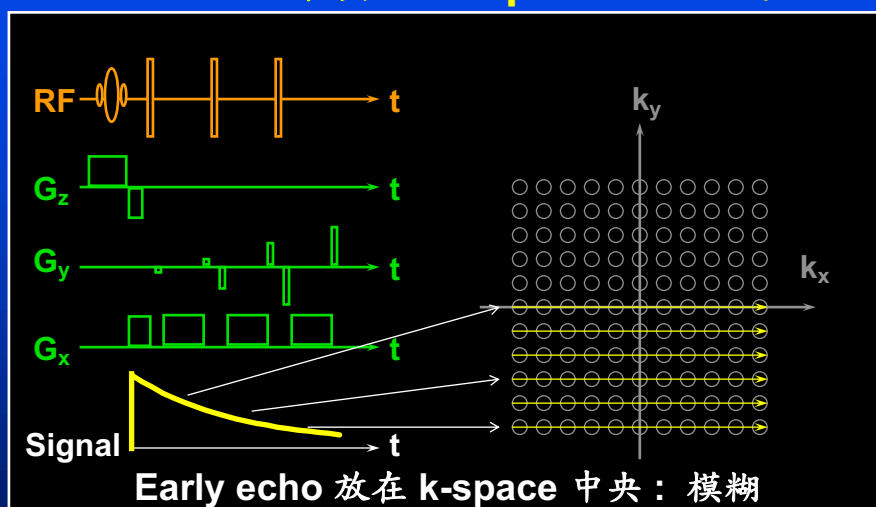
- 邊緣的模糊與強化 (講一點)
- 假性邊緣強化
- 數據不連續性產生的 ghosts
- 同樣沒時間談

* echo train 不宜太長

63

63

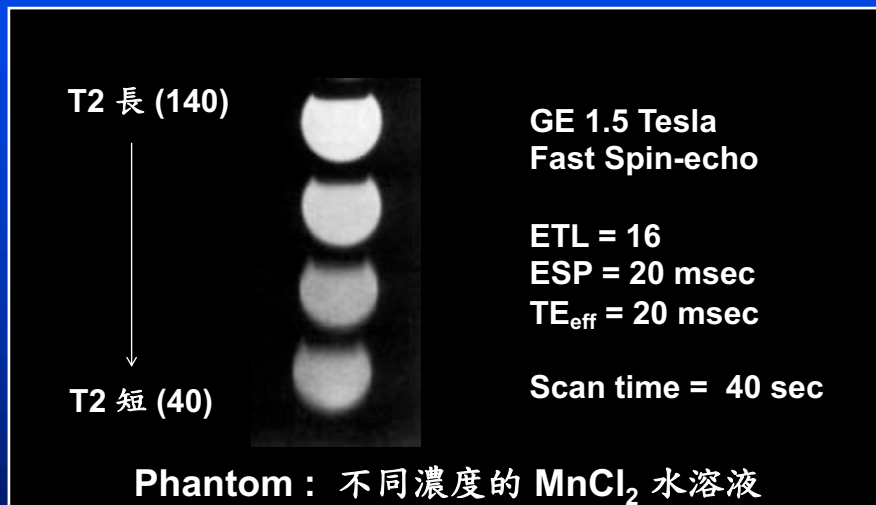
TSE 數據填入 k-space 的方式



64

64

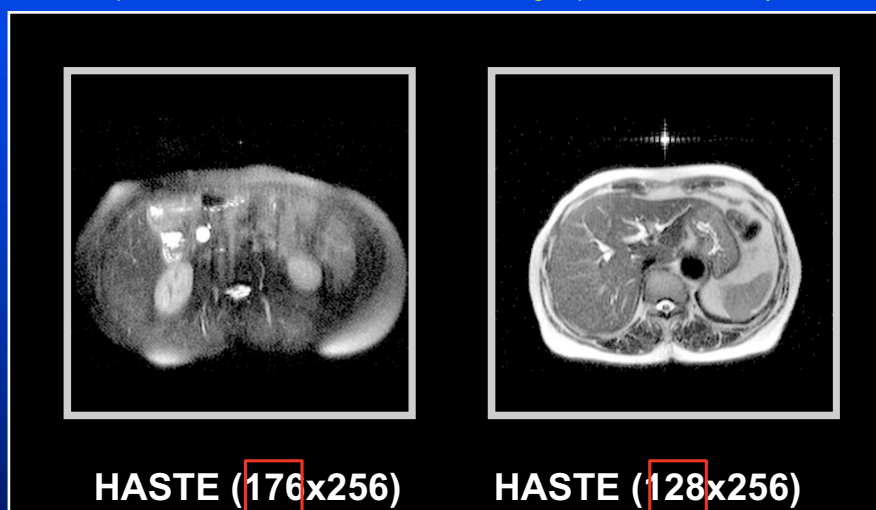
不同 T2 值造成的不同模糊現象



65

65

長 echo train 中的邊緣模糊現象



66

66

不同 ETL 在胸腔影像的比較



ETL 15 (ECG, BH, 14 sec)



ETL 85 (0.4 sec)

67

67

腦脊髓液抑制影像 FLAIR MR Imaging

吳明龍 副教授
成大資訊系/醫資所
minglong.wu@csie.ncku.edu.tw
辦公室:資訊系新館12樓

68

68

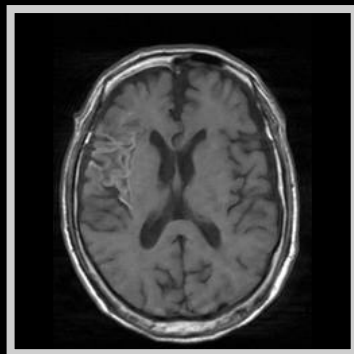
為什麼需要 FLAIR ?

- 臨床 MR 影像 (通常)
 - T1-weighted : anatomy
 - T2-weighted : pathology
- 影像診斷：清晰的凸顯病灶

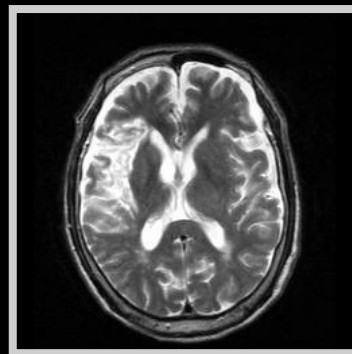
69

69

T1WI 與 T2WI 病灶清晰度上的比較



T1WI



T2WI

70

70

CSF 在影像上的表現

- T1WI：暗，T2WI：亮
- 靠近腦室的病灶
 - T1WI：與正常組織對比不強
 - T2WI：與 CSF 對比不強

71

71

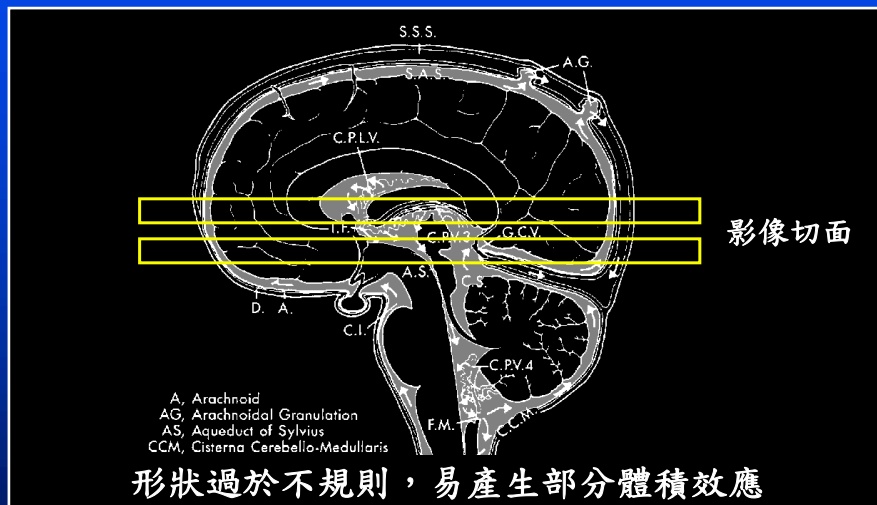
CSF 在影像上的表現

- 腦室的形狀不規則：部分體積效應
- CSF 會流動：motion ghost
- CSF 在 T2WI 上的強信號進一步將上述效應放大

72

72

腦室的不規則形狀



73

73

部分體積效應 (Partial Volume)



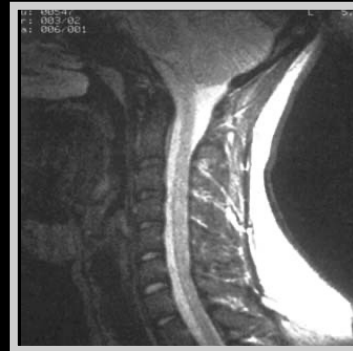
74

74

CSF 流動造成的 Motion Ghosts



No Flow Comp



Flow Comp

75

75

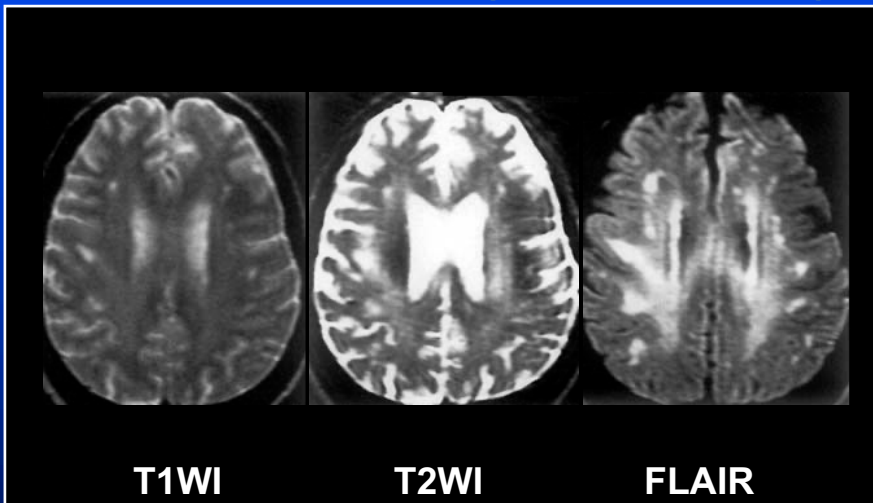
為什麼需要 FLAIR ?

- FLAIR = FLuid Attenuated Inversion Recovery
- 提供沒有 CSF 信號的 T2WI
- 凸顯病灶，避免腦室干擾判讀

76

76

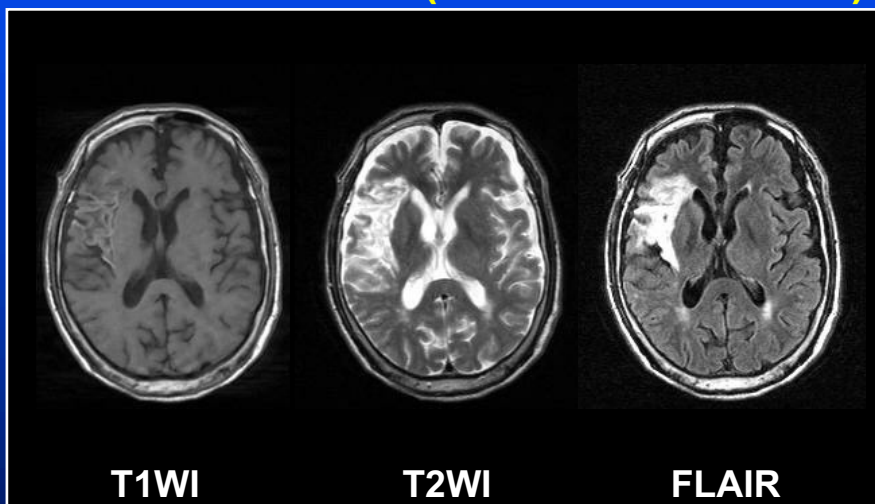
抑制 CSF 凸顯病灶 (Viral Infection)



77

77

病灶清晰度的比較 (Chronic Infarction)



78

78

備註

- 當然不是所有的病灶在影像上的表現都是以上所述的情形
- **FLAIR** 不會完全取代一般 **T2WI**
- **FLAIR compliments T2WI**

79

79

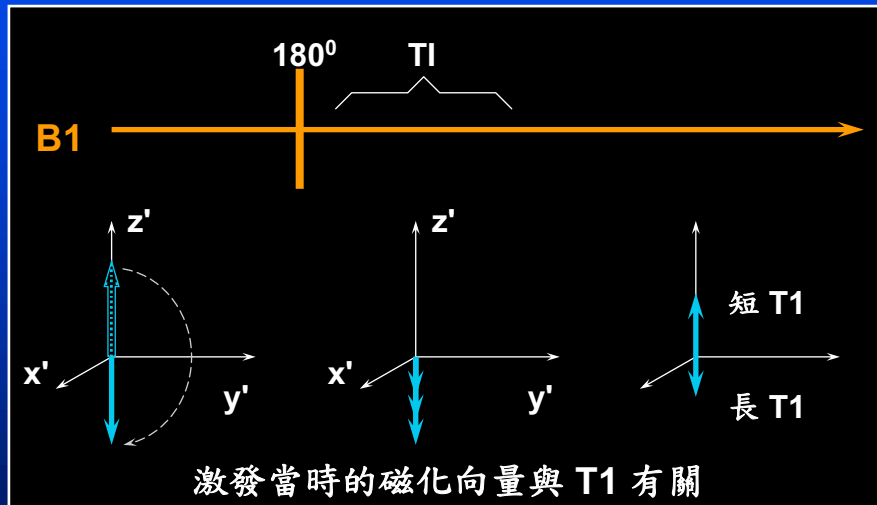
抑制 CSF 信號的方法

- 利用 CSF 的長 T1
- 反轉回復： $180^\circ + \text{inversion time}$
 - 等待 CSF 信號的 T1 回復剛好經過零點，並在此時成像

80

80

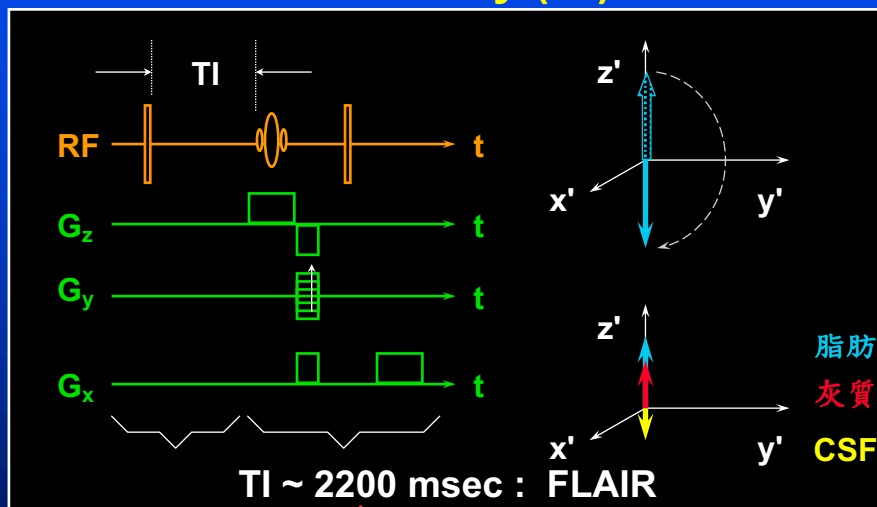
IR 脈衝序列中的 T1 回復過程



81

81

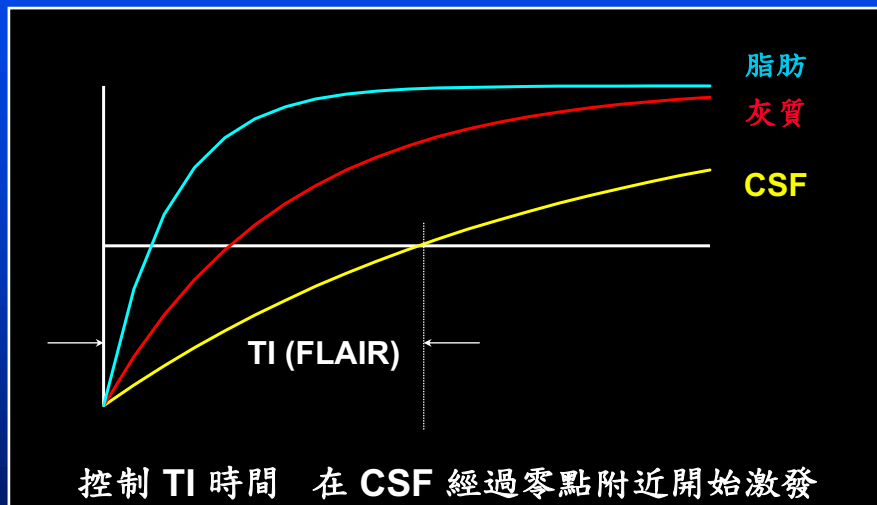
Inversion Recovery (IR) 脈衝序列



82

82

不同 T1 組織的 Relaxation



83

83

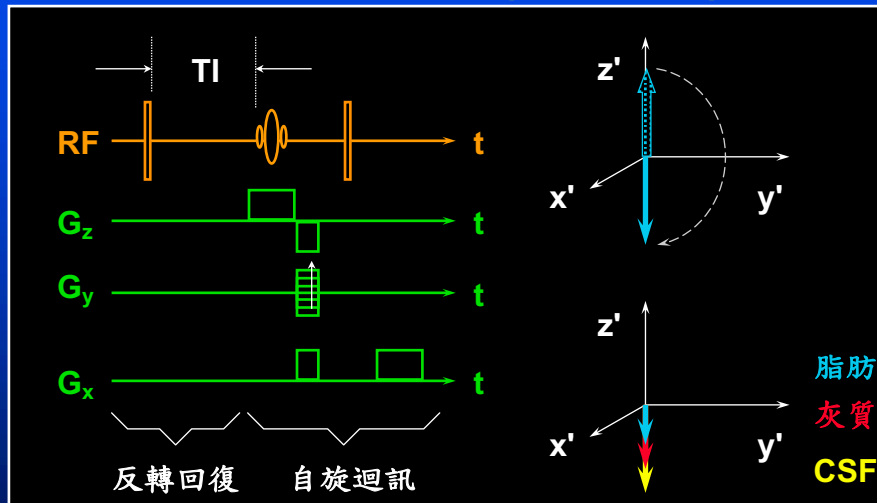
其實以前曾經提過

- 反轉回復 (inversion recovery) 系列，只是等待的時間 (TI) 不同
- 長 TI (FLAIR)：抑制 CSF 信號
- 短 TI (STIR)：抑制脂肪信號

84

84

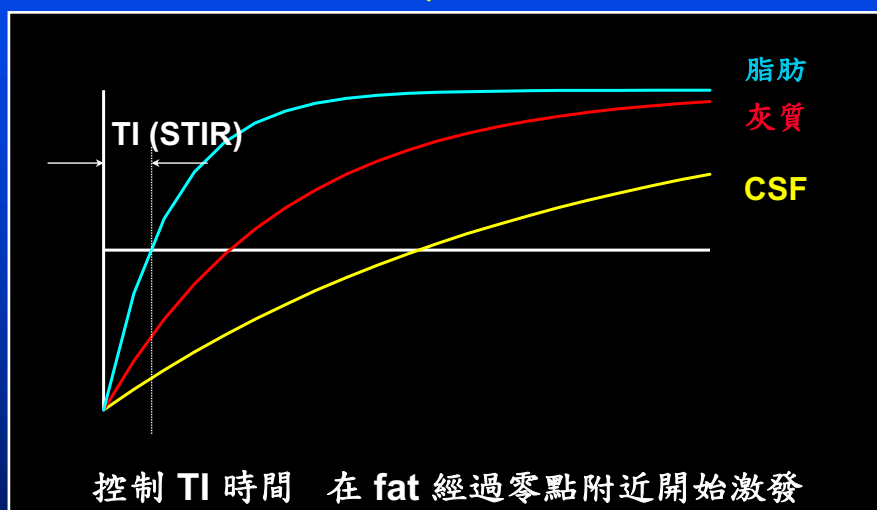
STIR 脈衝序列 (脂肪抑制)



85

85

不同 T1 組織的 Relaxation



86

86

STIR 的 Fat-Sat 影像 (Lipoma)



T1-weighted image

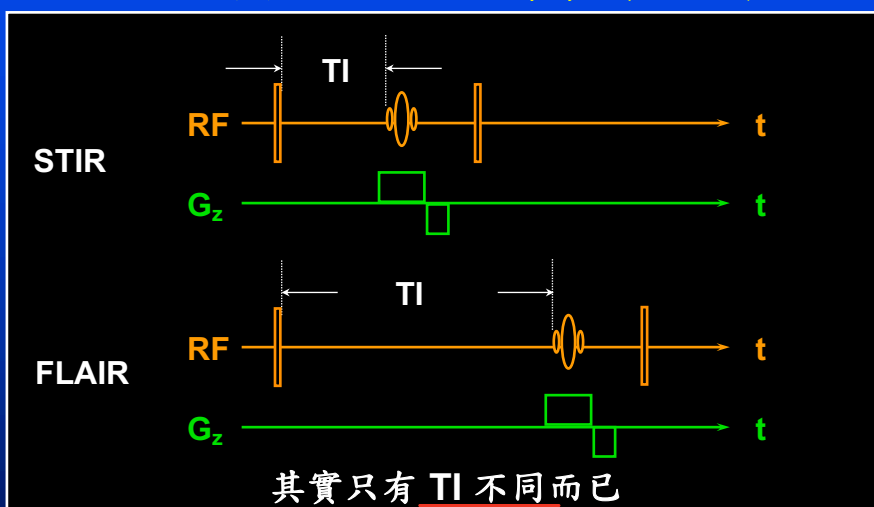


STIR image

87

87

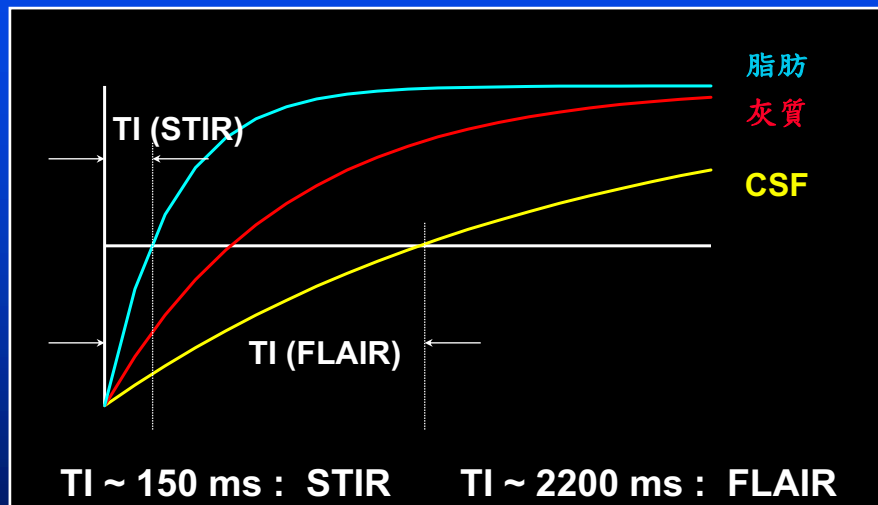
STIR 與 FLAIR 脈衝序列的比較



88

88

不同 T1 組織的 Relaxation



89

89

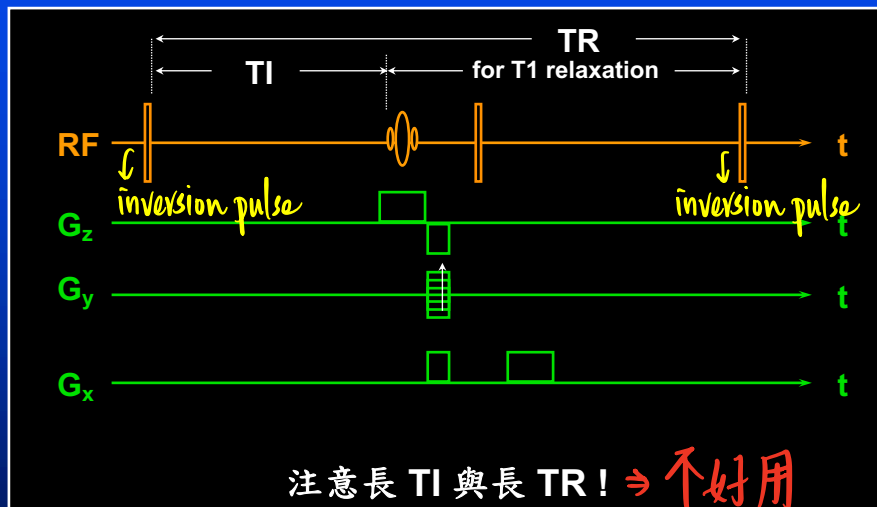
原理很簡單，過去卻極少見

- 長 TI 抑制 CSF : TI ~ 2200 ms
- 長 TR (T2) : TR 額外再加 2800 ms
- Spin-echo , 256x256 影像 : 掃描時間 = 21 分鐘 !

90

90

FLAIR 脈衝序列



91

91

那又為什麼現在很常見？

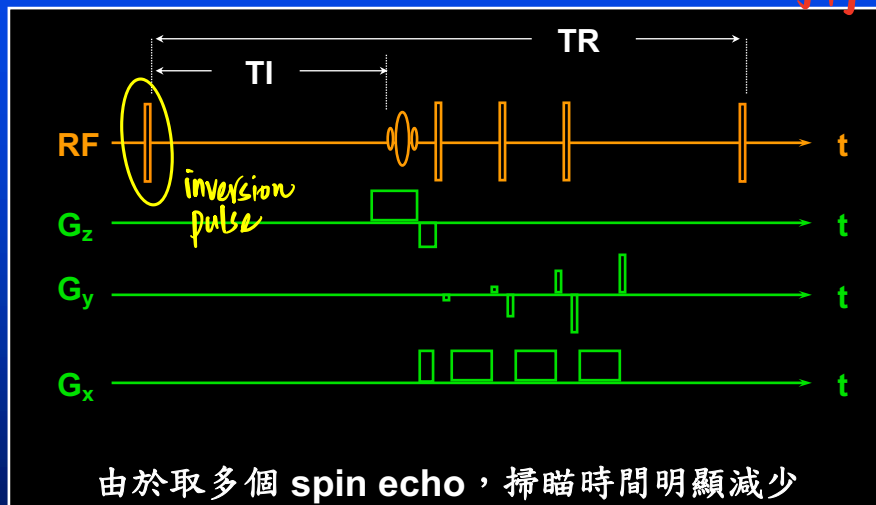
- 因為有 turbo spin-echo 的出現
 - TSE：快速而可靠的 T2WI
- $TI = 2200$, $TR + 2800$, $ETL = 7$:
3 分鐘的 FLAIR 影像

92

92

TSE + FLAIR

TurboFLAIR = IR + TSE \Rightarrow 可行



93

93

取個名字吧

- Siemens : turboFLAIR
- GE : fast FLAIR
- 其他廠牌 : FSE FLAIR , ...
- 講到 FLAIR 應該都是同一類型

94

94

註：FLAIR

↳ 去除 CSF signal

- 只是磁化準備中「對比」的成分
- 理論上可以配備各種成像方式
- FLAIR+EPI、FLAIR+FSE、FLAIR+turboFLASH ...

95

95

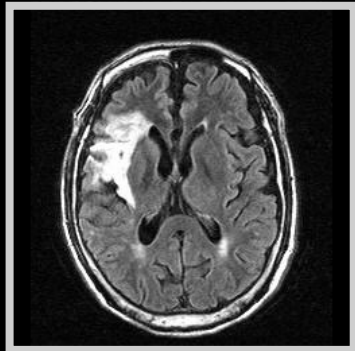
回顧：TSE 掃描快速的優勢

- 克服 motion artifacts
- 合理時間下以 average 換取 SNR
- 以 SNR 優勢換取高解析度
- 長 TR 加強 proton density 比重

96

96

TurboFLAIR 的長 TR



Siemens 1.5 Tesla
TurboFLAIR
TI = 2500
TR = 9000
TE = 110

Cerebral Infarction
(chronic stage)

長 TR 進一步減少 T1 weighting

97

97

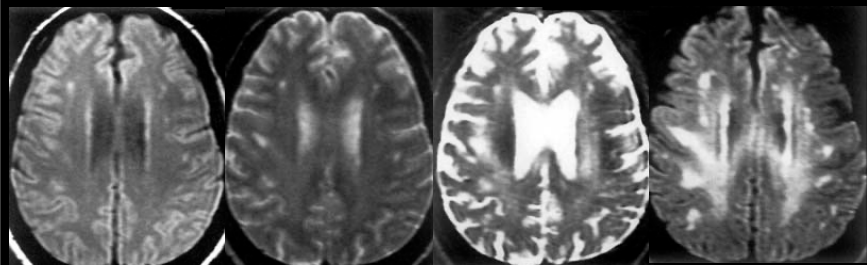
FLAIR 的適用場合例

- 任何需要強 T2 weighting 讓病灶「亮起來」的場合
- CSF 內的出血
 - 蛛網膜下腔出血、腦室內出血 ...

98

98

病灶清晰度的比較 (Viral Infection)



PDWI

TE = 80

TE = 160

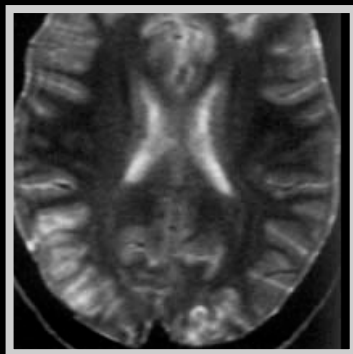
FLAIR TE = 160

FLAIR 顯示出最 extensive 的病灶

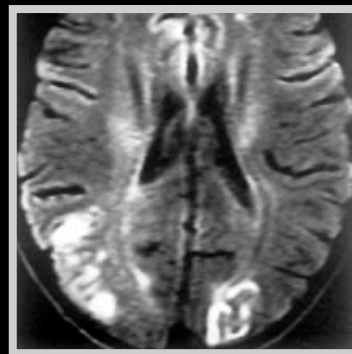
99

99

FLAIR (Cortical Infarction)



T2WI

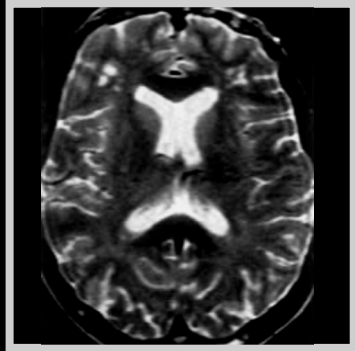


FLAIR

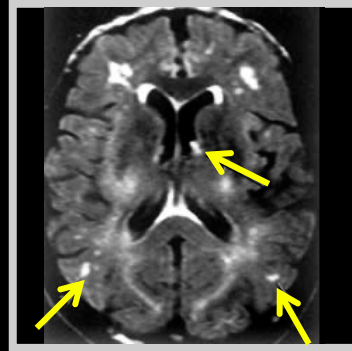
100

100

FLAIR (Cerebral Metastasis)



T2WI

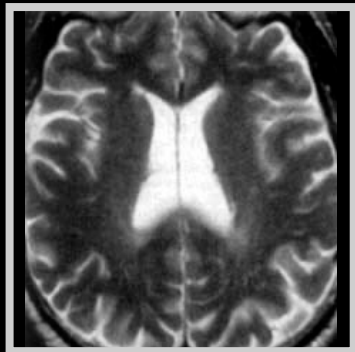


FLAIR

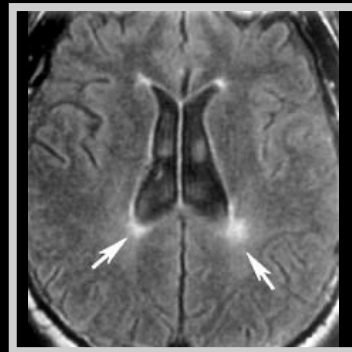
101

101

FLAIR (Multiple Sclerosis)



T2WI

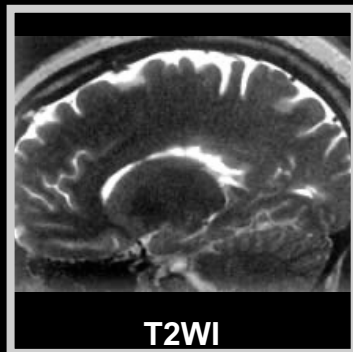


FLAIR

102

102

FLAIR (Multiple Sclerosis)



同一位病患的 sagittal images

103

103

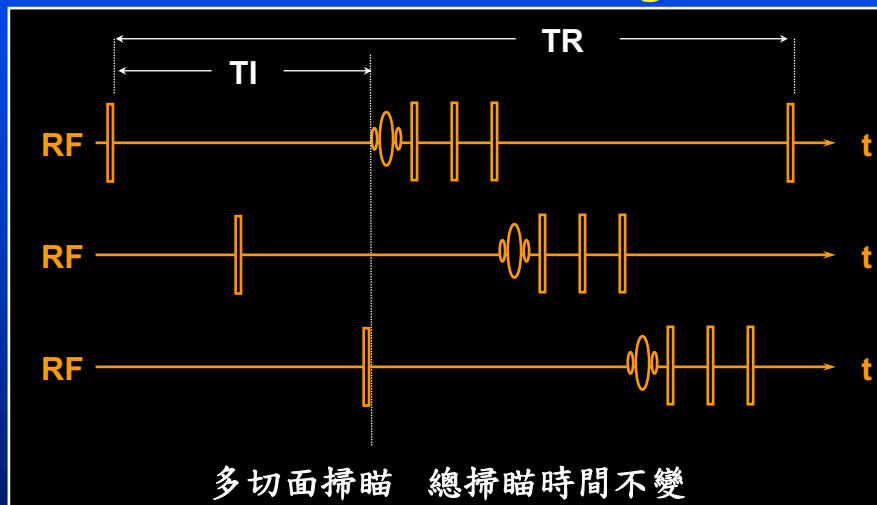
充分利用儀器的空間

- Multi-slice turboFLAIR :
 - 在長 TI (~ 2sec) 內塞入多個切面
 - Interleaved FLAIR
- 掃描時間不變

104

104

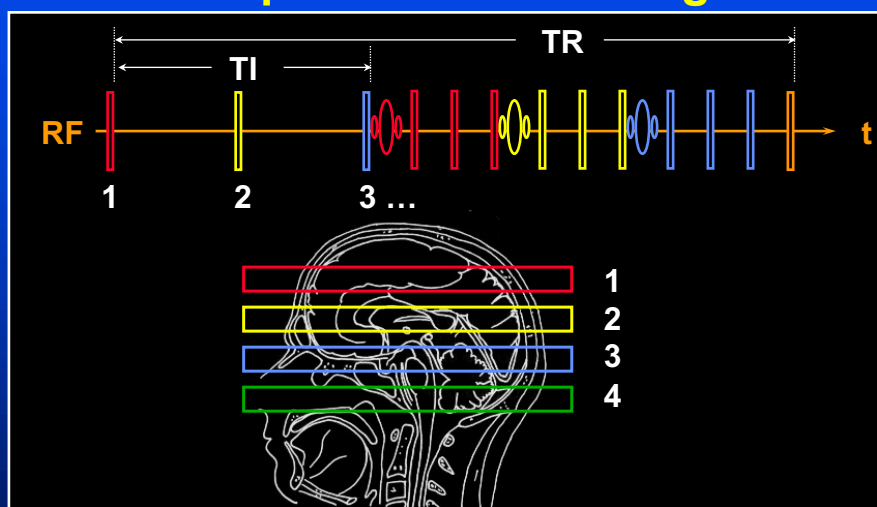
TI 內的 Interleaving



105

105

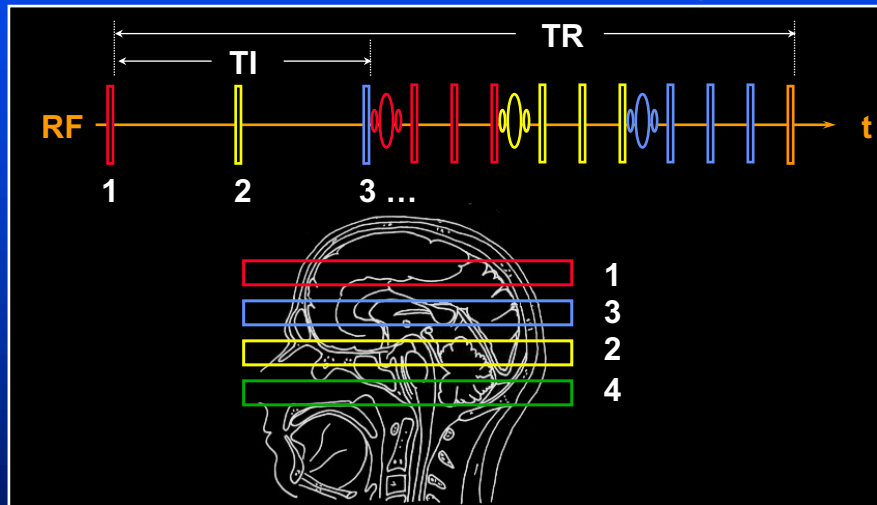
空間上連續 Sequential Interleaving



106

106

空間上不連續 Interleaved Interleaving



107

107

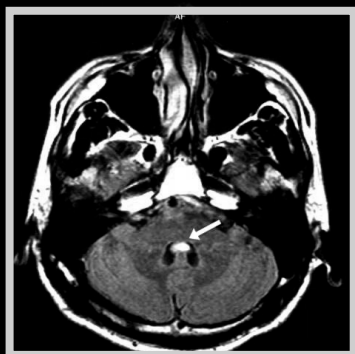
FLAIR 的主要假影

- CSF pulsation artifacts
 - 由於 CSF through-plane 流動導致信號抑制的不完全
 - Bright CSF：與病灶難以區分

108

108

CSF 抑制不完全的假影



Siemens 1.5 Tesla
TurboFLAIR
TI = 2500
TR = 9000
TE = 110

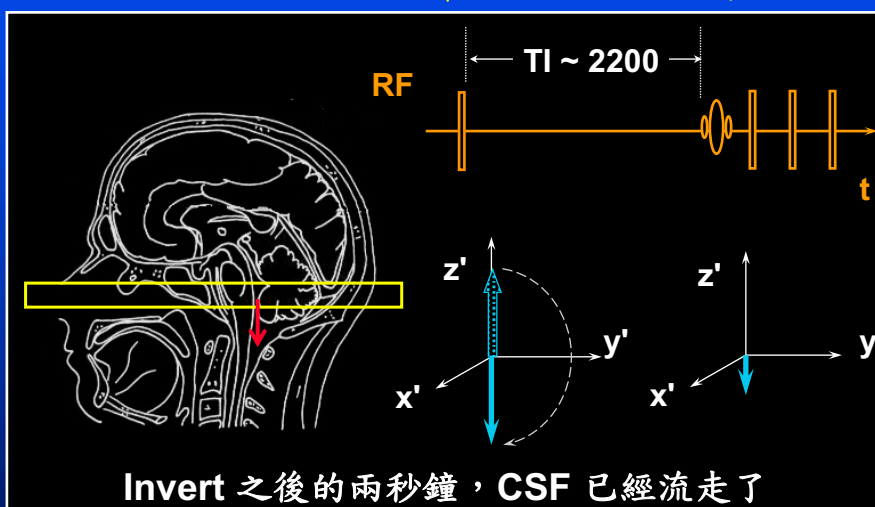
Slice order :
interleaved

如何區分病灶或是 artifacts ?

109

109

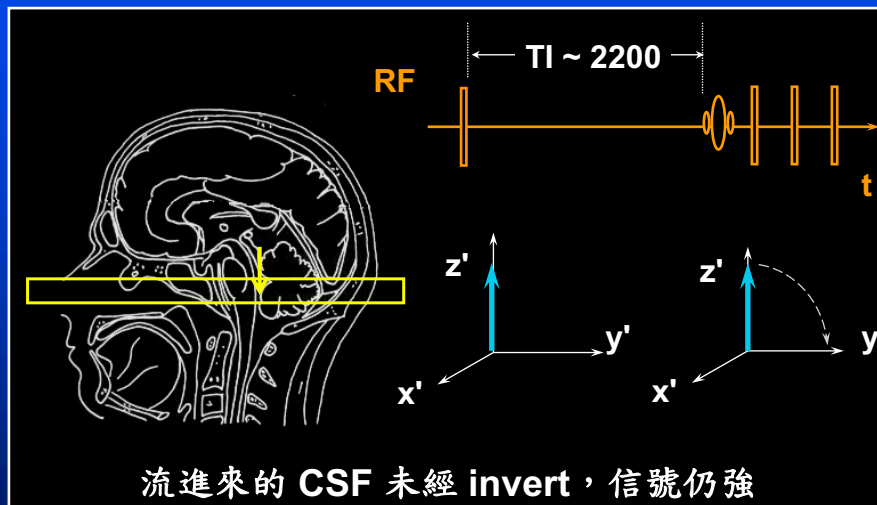
FLAIR 中 CSF 抑制不完全的原因



110

110

FLAIR 中 CSF 抑制不完全的原因



111

111

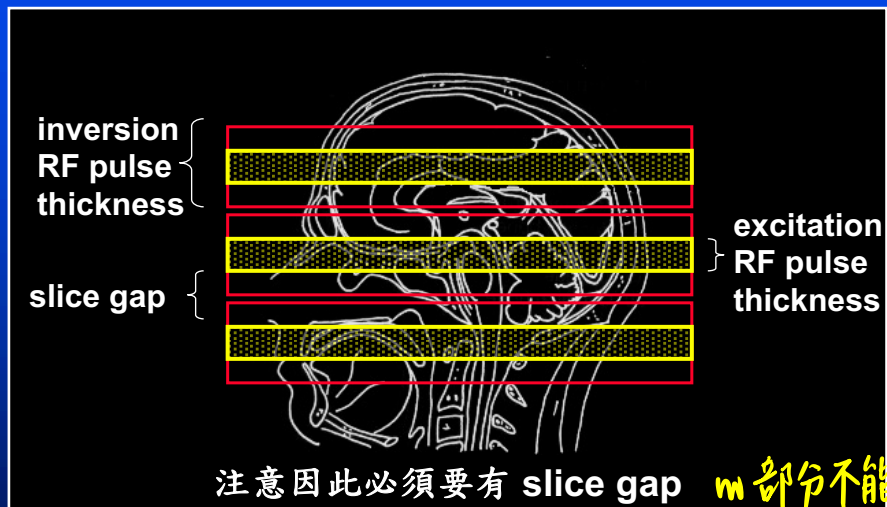
解決之道

- 增加 180° RF pulse 的切面厚度 \Rightarrow 多 invert 一些
– 確保流入影像切面的 CSF 經過 inversion
- Trade-off : slice gap

112

112

增加 Inversion Pulse 的切面厚度



113

113

但即使如此 ...

- 在 CSF 流動較為快速的區域，CSF pulsation artifacts 仍常見
 - Posterior fossa, prepontine cistern, hydrocephalus

114

114

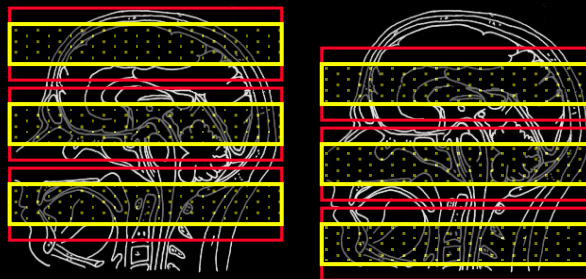
進一步減少 Bright CSF

- GE：提供操作員選擇 interleaving acquisition factor
 - 儀器自動據此調整 inversion pulse 的 slice thickness
 - 允許 contiguous slices

115

115

Interleaving Acquisition Factor = 2

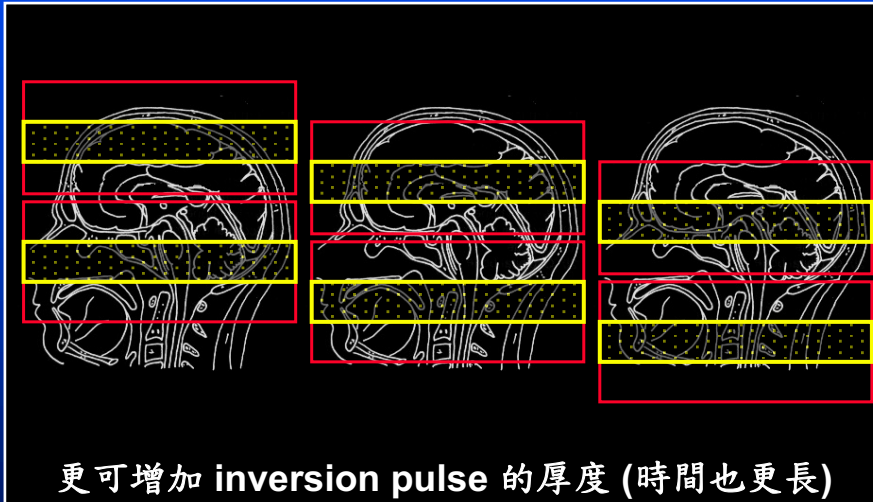


分兩次掃完整個腦部 (掃描時間乘以二)

116

116

Interleaving Acquisition Factor = 3



117

117

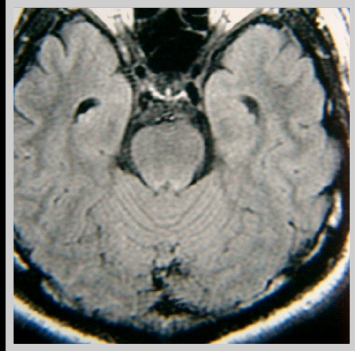
明顯的 Trade-off

- “Factor” 愈大，流動 CSF 的抑制自然愈完全
- 多切面掃描 (通常是 whole brain coverage) 的整體時間也愈久

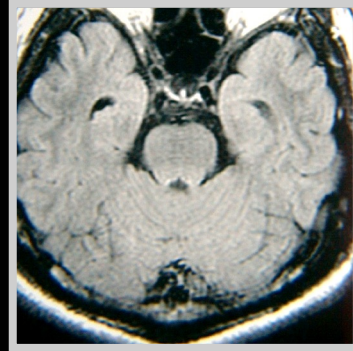
118

118

Interleaving Factor 之比較



Factor = 2



Factor = 3

特別感謝台北榮民總醫院吳秀美大夫提供¹¹⁹

119

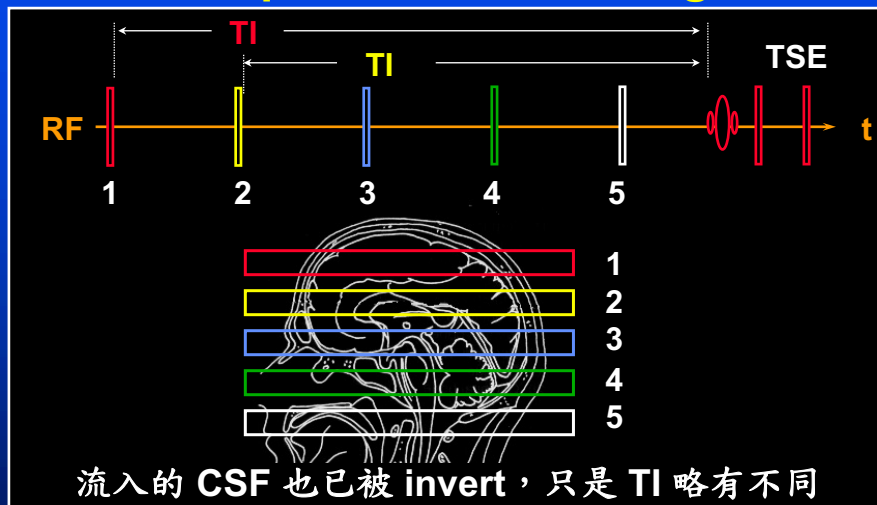
Siemens 儀器上的作法

- Inversion 與 excitation 的切面厚度永遠是一樣的比例 (~ 1.6) (?)
- 以 sequential-interleaving 減少 bright CSF artifacts
- 不允許 gapless slices

120

120

Sequential Interleaving



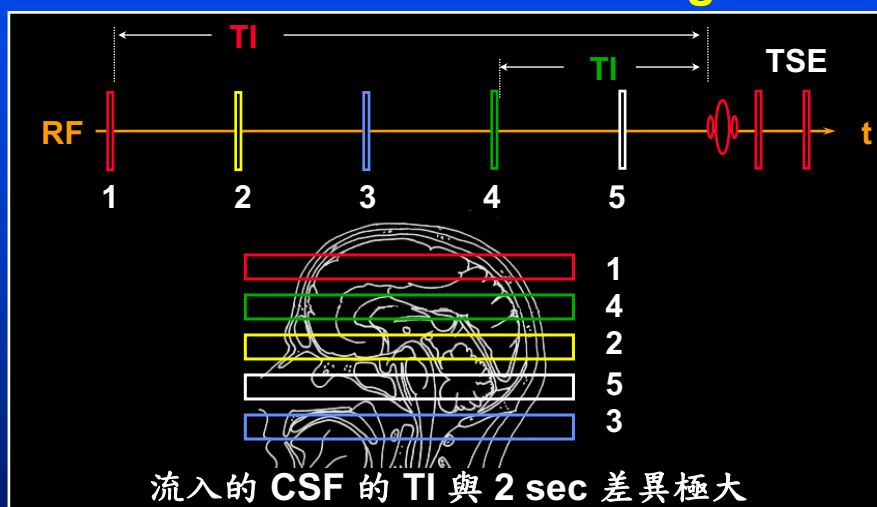
流入的 CSF 也已被 invert，只是 TI 略有不同

↳ 可借用隔壁的

121

121

Interleaved Interleaving

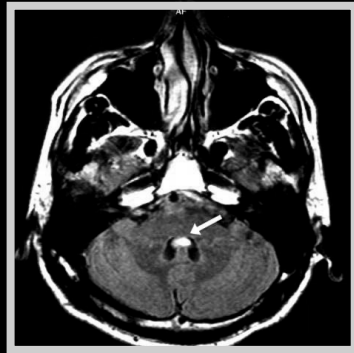


流入的 CSF 的 TI 與 2 sec 差異極大

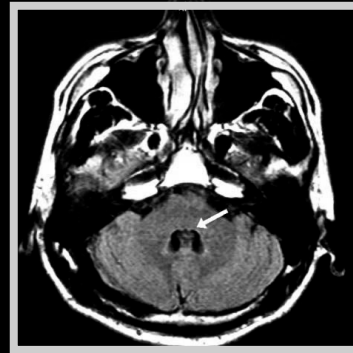
122

122

Interleaving 與 Sequential 的比較



Interleaved



Sequential

123

123

結語：FLAIR

- 臨床神經 MR 經常使用的技術
- 凸顯病灶，compliments T2WI
- CSF 內的出血
 - 蜘蛛膜下腔出血、腦室內出血 ...

124

124