

血流假影與血管攝影

Flow Artifact & MRA

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

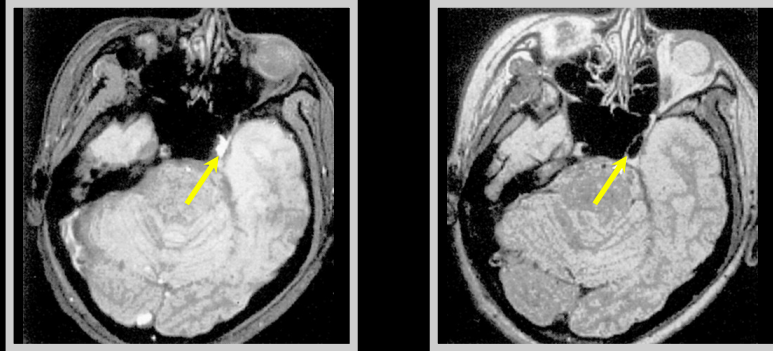
血在 MRI 中的表現

- 有時特別亮 (信號強)
- 有時特別暗 (信號弱)
- 和試管中不同 -- artifacts ?

2

2

亮血 (bright) 與暗血 (black blood)



梯度迴訊中的白色血與自旋迴訊中的黑色血

3

3

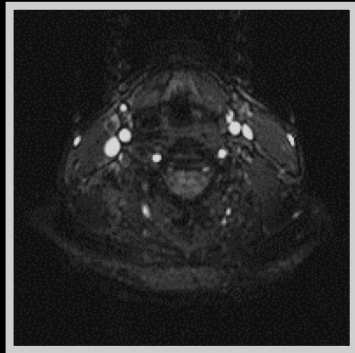
血流假影

- Flow-related enhancement (FRE)
 - 梯度迴訊中血管經常特別亮
- Flow void (spin-echo)
- 移位假影

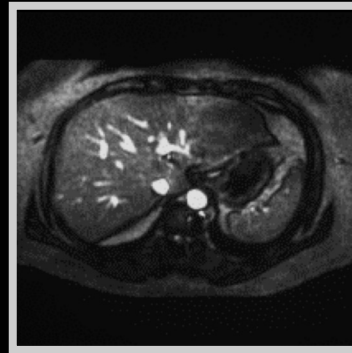
4

4

Flow-Related Enhancement



Neck 頸



Abdomen 腹

5

5

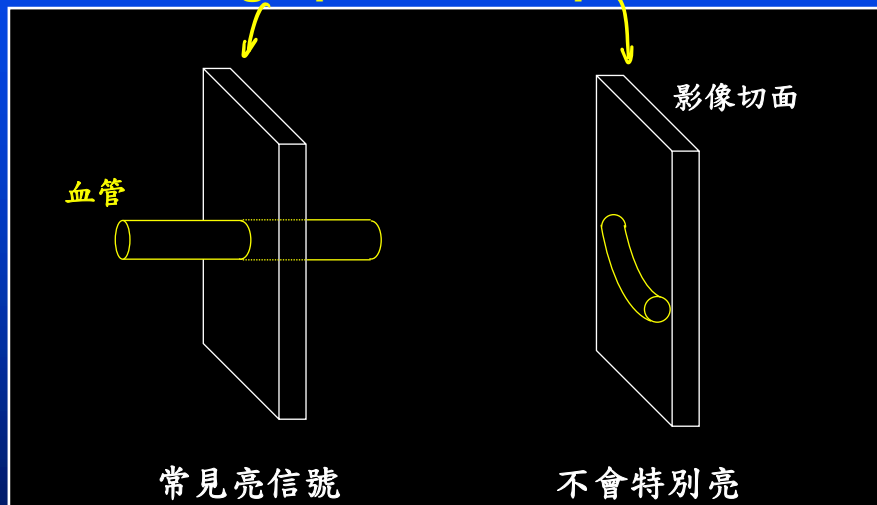
MRI 中血管特別亮的情況

- 尤其在 T1 影像 中特別明顯
- Through-plane flow
- 多切面掃描中每張切面不同

6

6

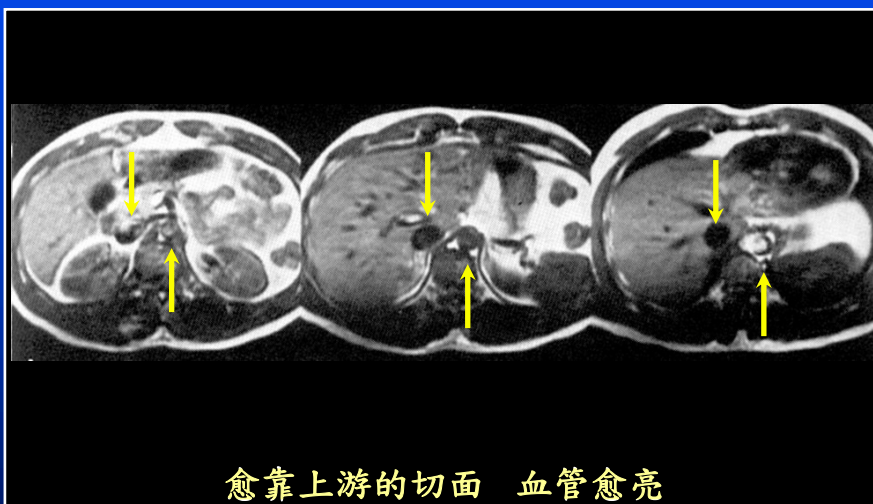
Through-plane 與 in-plane 血流



7

7

Multi-slice 中的血管亮度



8

8

回顧：MRI 的複雜成像過程

- 磁化現象
 - 射頻激發
 - 空間編碼
 - 信號接收取樣
 - 影像計算
- 反覆多次
- 

9

9

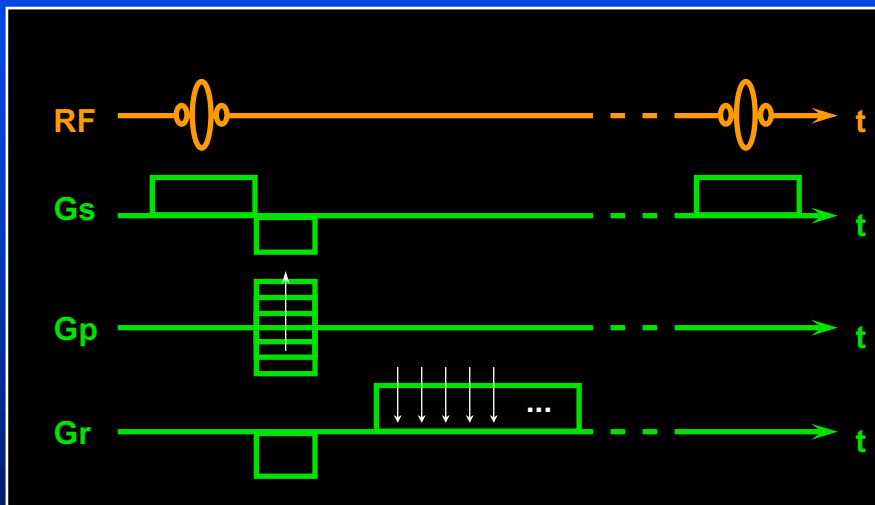
MRI 中血管特別亮的情況

- 在 T1 影像中特別明顯
- Through-plane flow
- 多切面掃描中每張切面不同

10

10

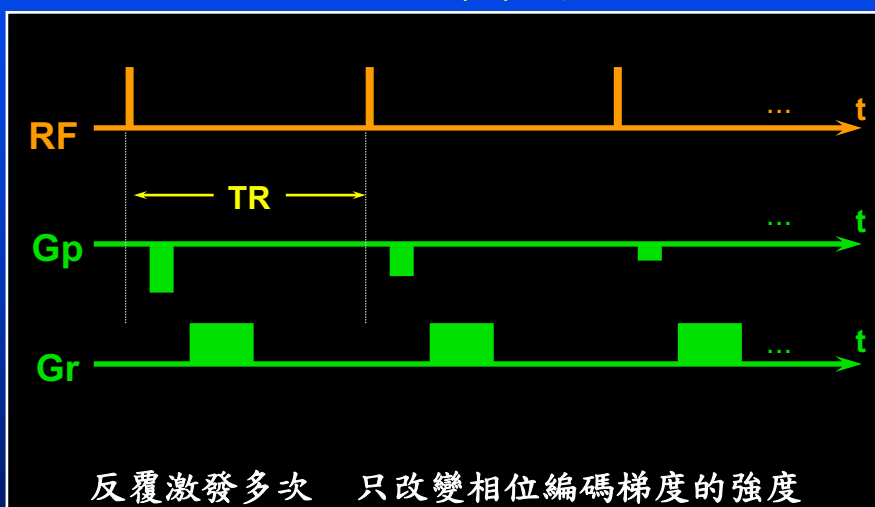
二維梯度迴訊脈衝序列



11

11

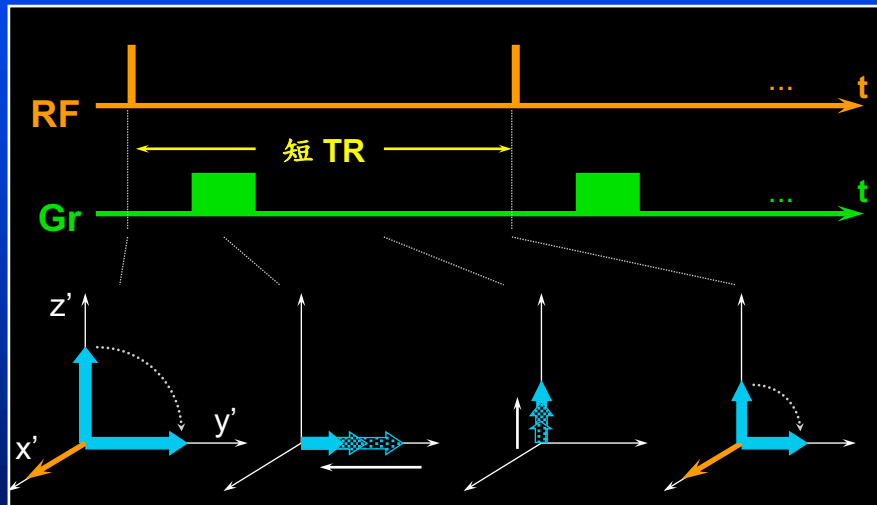
MRI 時序圖



12

12

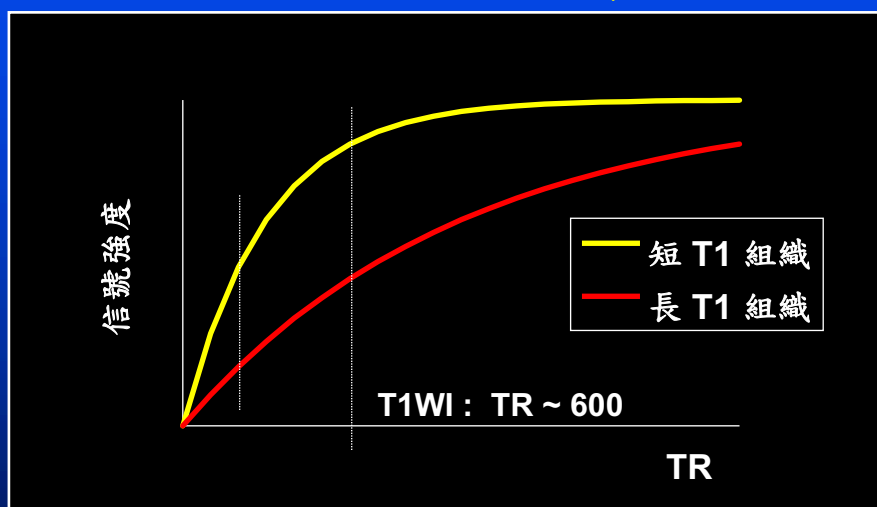
人體磁性在 MRI 脈衝序列中的變化



13

13

短 TR 的飽和現象



14

14

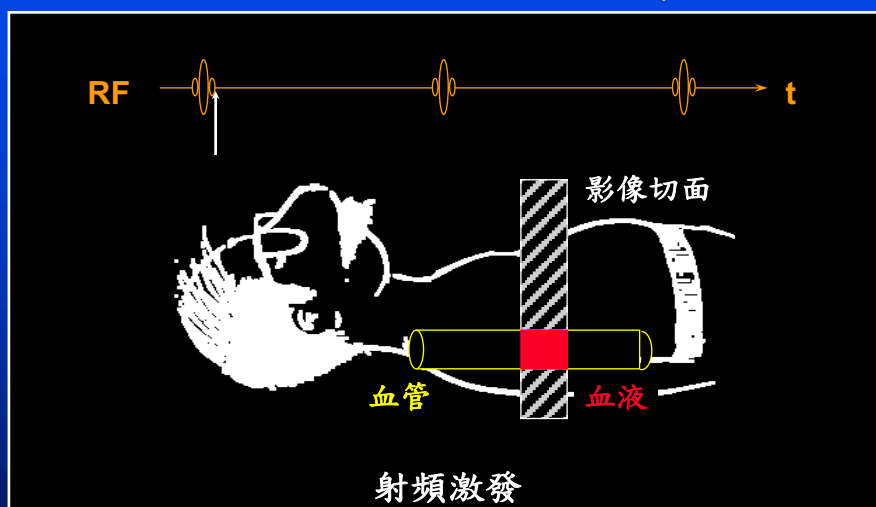
T1 對影像對比的影響

- 短 TR --> 沒時間作 T1 回復 --> 信號低 --> 飽和現象
- “Saturation” effect
- TR ~ 200 msec: 或多或少都有

15

15

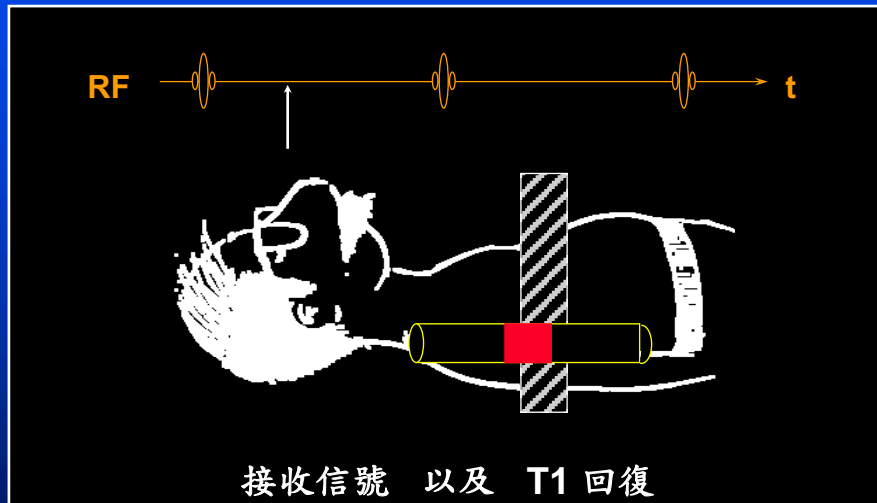
流動的血液的飽和現象



16

16

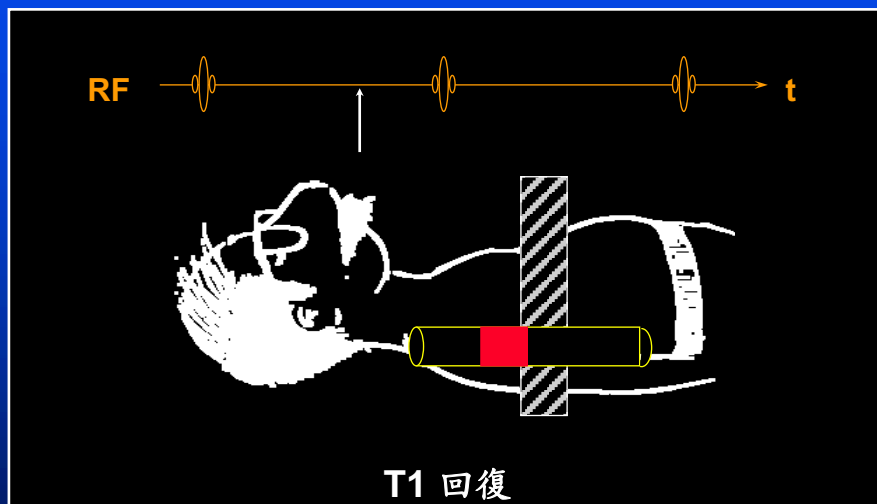
流動的血液的飽和現象



17

17

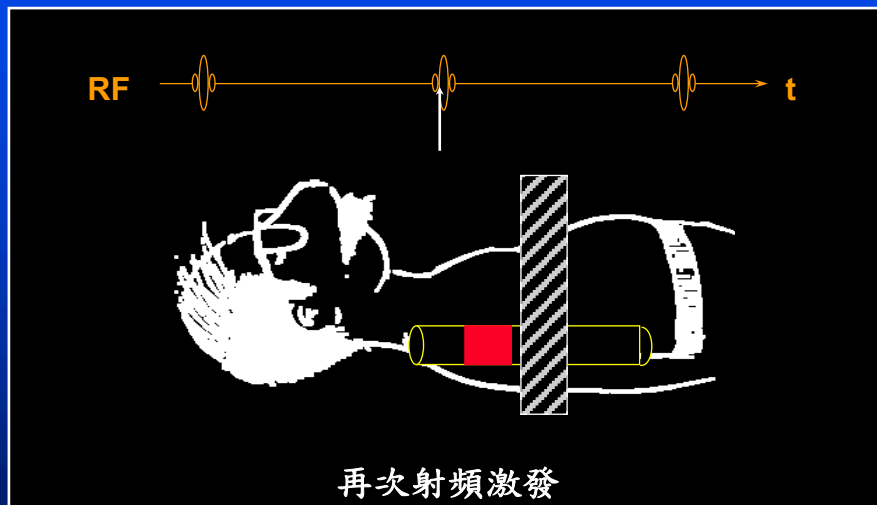
流動的血液的飽和現象



18

18

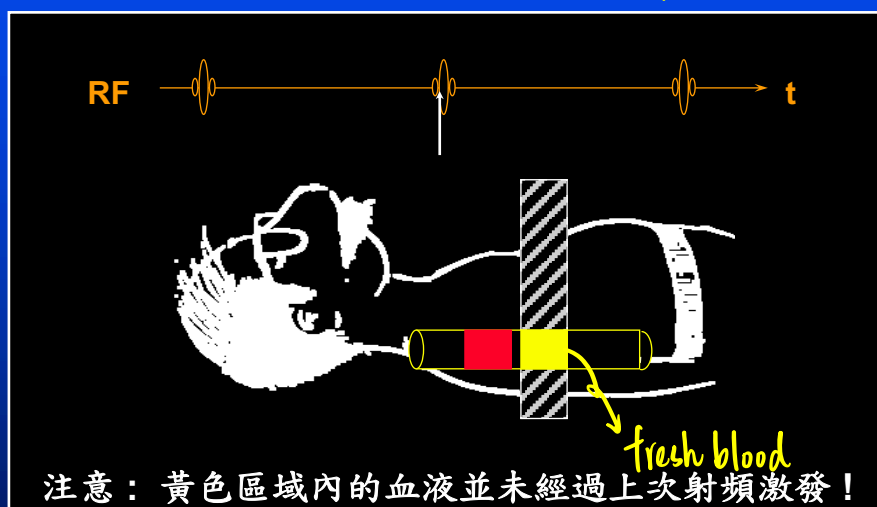
流動的血液的飽和現象



19

19

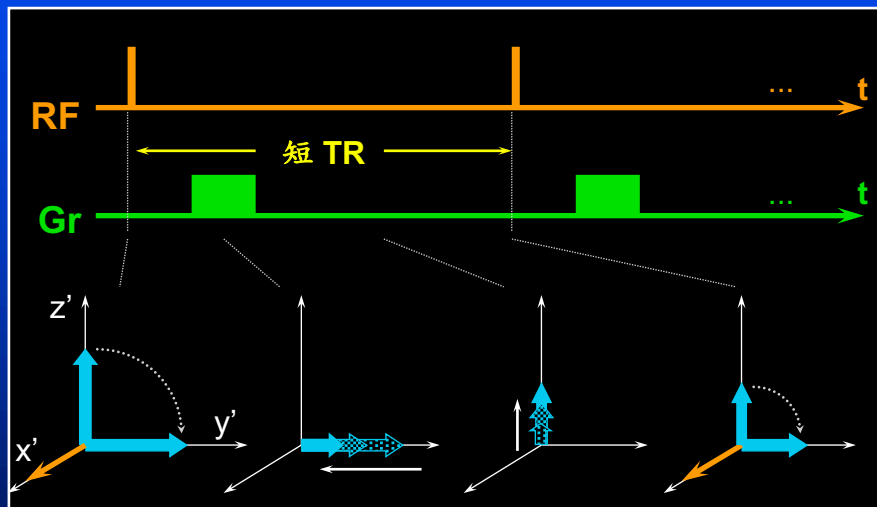
流動的血液的飽和現象



20

20

人體磁性在 MRI 脈衝序列中的變化



21

21

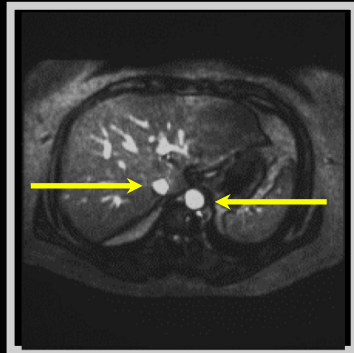
流動的血液的飽和現象

- 靜止組織或多或少受到飽和現象
- 血液因為流動，飽和現象較少
- 少飽和 = 亮信號
- Flow-related enhancement (FRE)

22

22

腹部的亮血流



1.5 Tesla
GE Signa
Gradient-echo

Aorta & IVC 在
T1 影像中特別亮

T1 影像中的 flow-related enhancement

23

23

流動的液體 T1 看似變短

- 其實是指短 TR 時信號強
- Suryan G., 1951 即已提出
- 1946: NMR, 1973: MR imaging

24

24

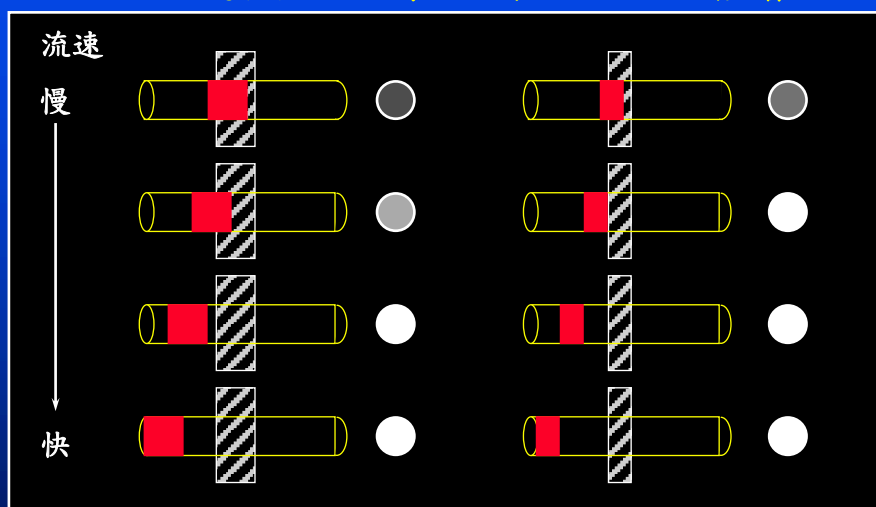
影響 FRE 程度的因素

- TR 的長短
- 流速與切面厚度的比例
- Flip angle
- 血流速度在血管中的分佈

25

25

血流速與切面厚度對 FRE 的影響



厚：不易產生強的FRE (對流速要求高)

26

26

影響 FRE 程度的因素

- TR 的長短
- 流速與切面厚度的比例
- **Flip angle**
- 血流速度在血管中的分佈

27

27

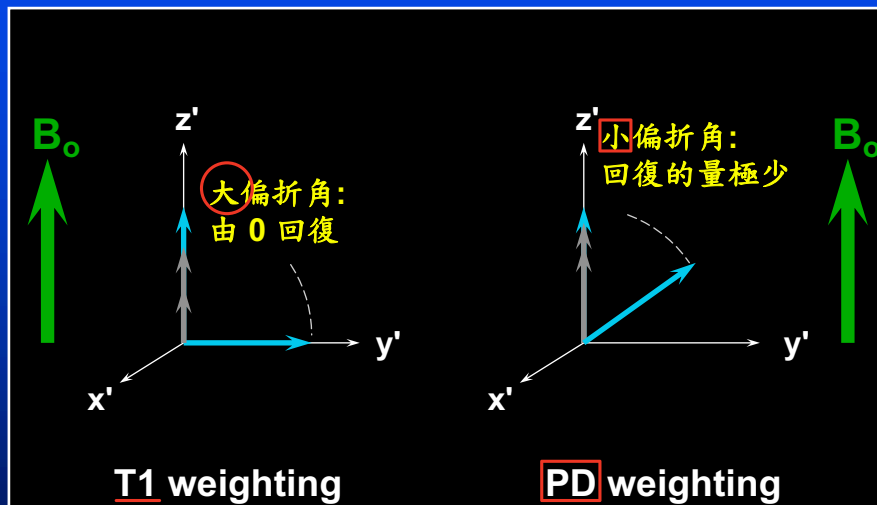
Flip Angle 對 FRE 之影響

- 大致上，愈大愈明顯 (T1)
- 但實際上的情況要複雜得多
- 後面會再討論

28

28

偏折角控制 PD 或 T1 對比



29

29

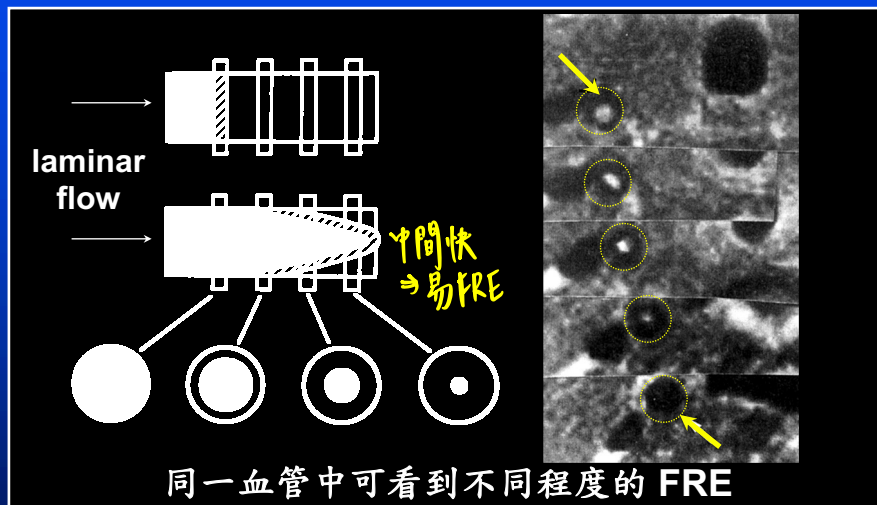
影響 FRE 程度的因素

- TR 的長短
- 流速與切面厚度的比例
- Flip angle
- 血流速度在血管中的分佈

30

30

血液在血管中流速並不一致！



31

31

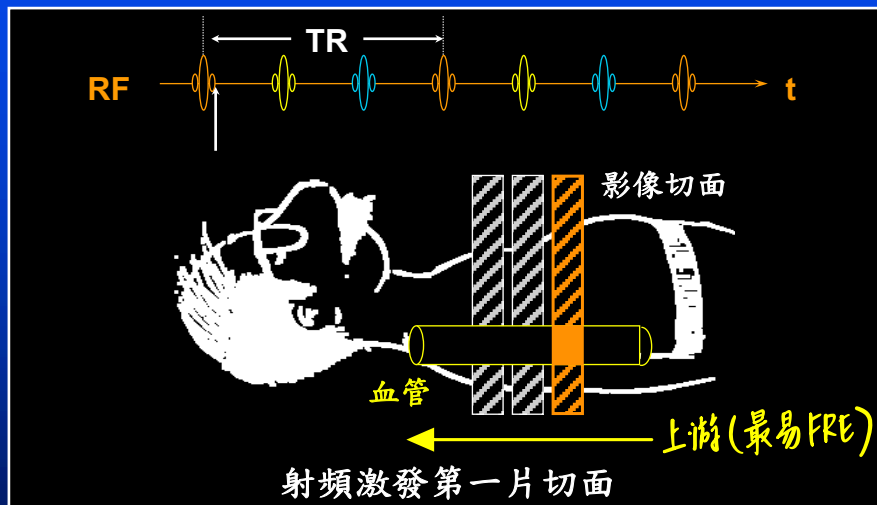
MRI 中血管特別亮的情況

- 尤其在 T1 影像中特別明顯
- Through-plane flow
- 多切面掃描中每張切面不同？

32

32

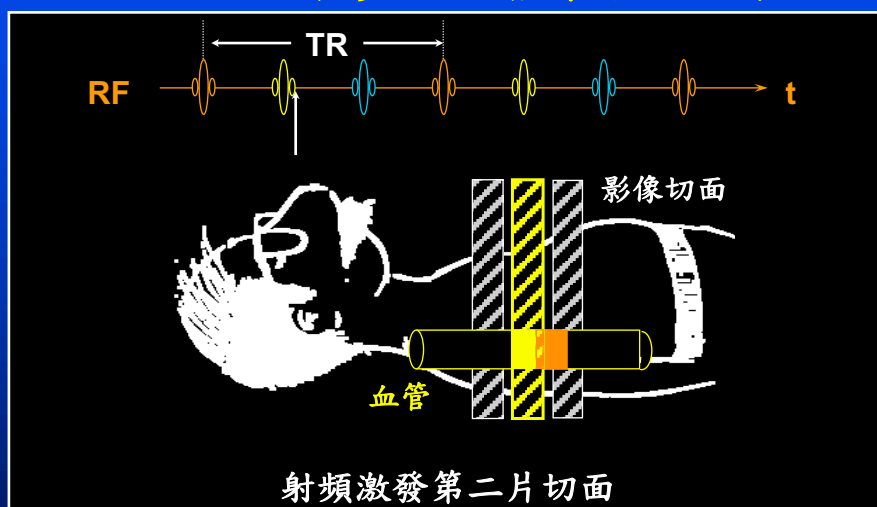
流動血液在多切面影像中的現象



33

33

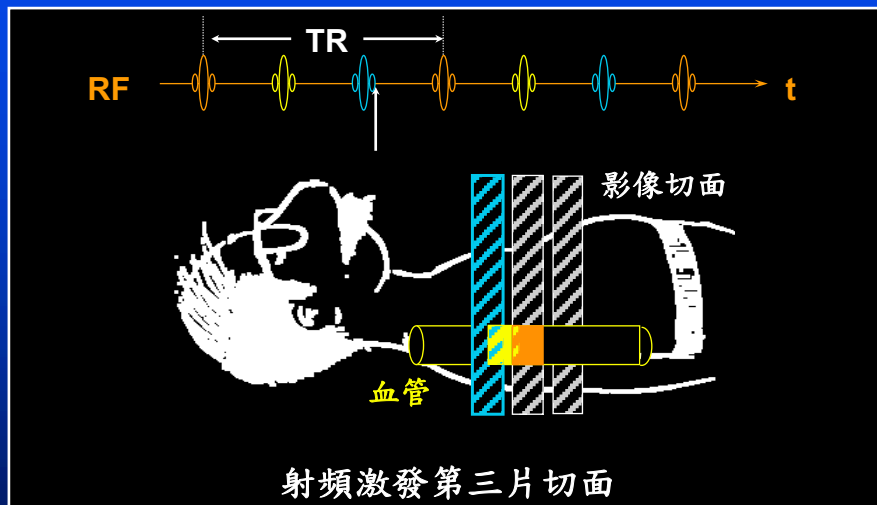
流動血液在多切面影像中的現象



34

34

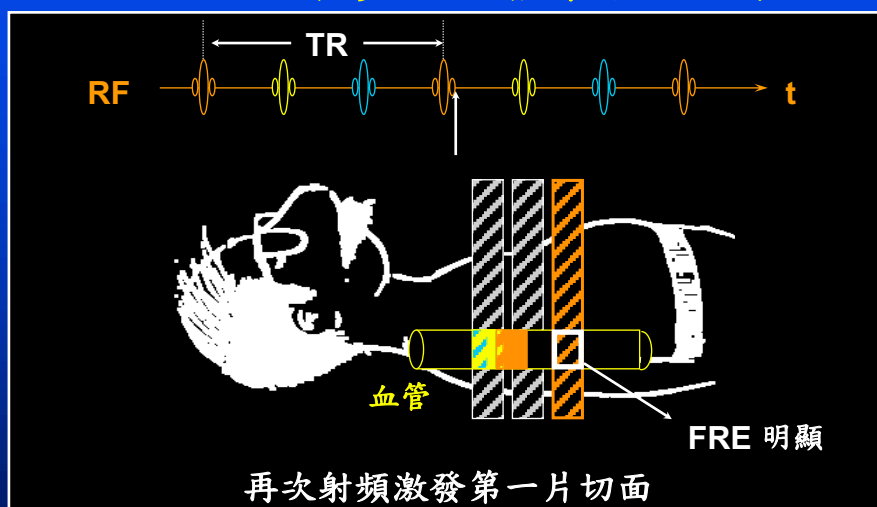
流動血液在多切面影像中的現象



35

35

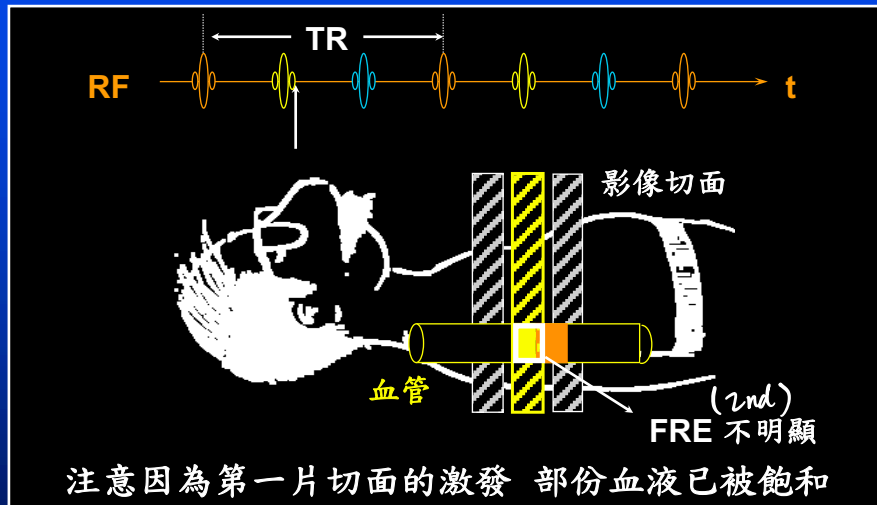
流動血液在多切面影像中的現象



36

36

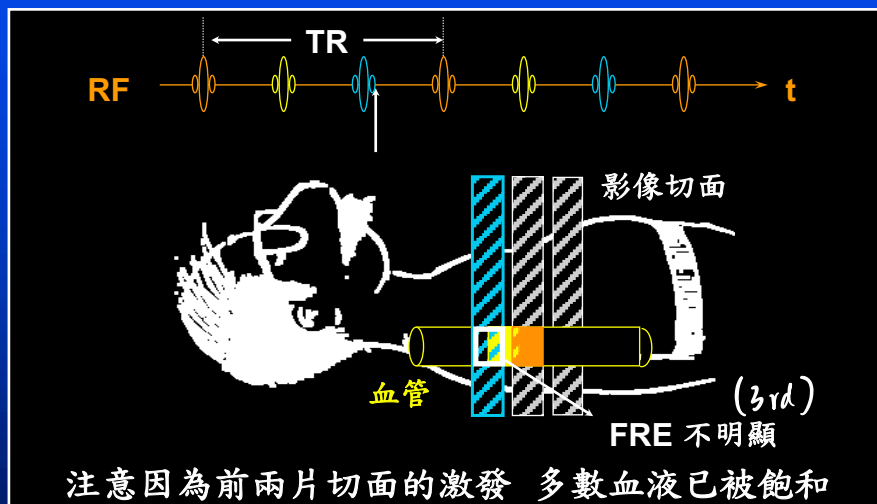
流動血液在多切面影像中的現象



37

37

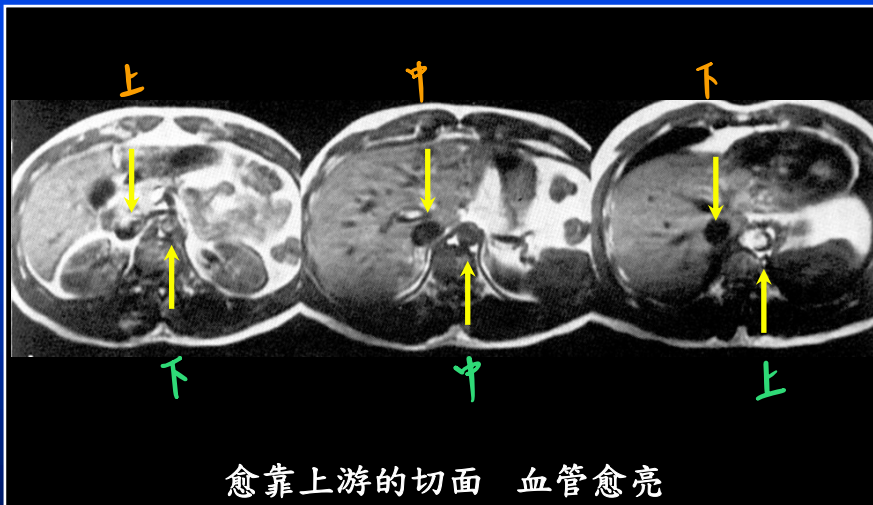
流動血液在多切面影像中的現象



38

38

Multi-slice 中的血管亮度



39

39

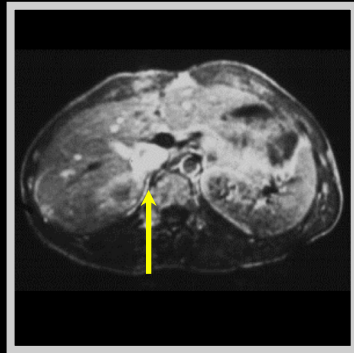
多面掃描的 FRE 現象

- 愈接近上游區，FRE 愈明顯
- 尤其以第一張最明顯
 - Entry slice phenomena
- 只在 sequential 掃描中是如此

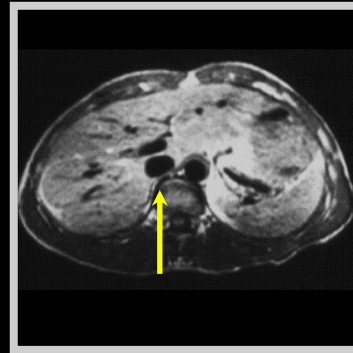
40

40

Entry-Slice FRE 現象



第一張影像



內側影像

41

41

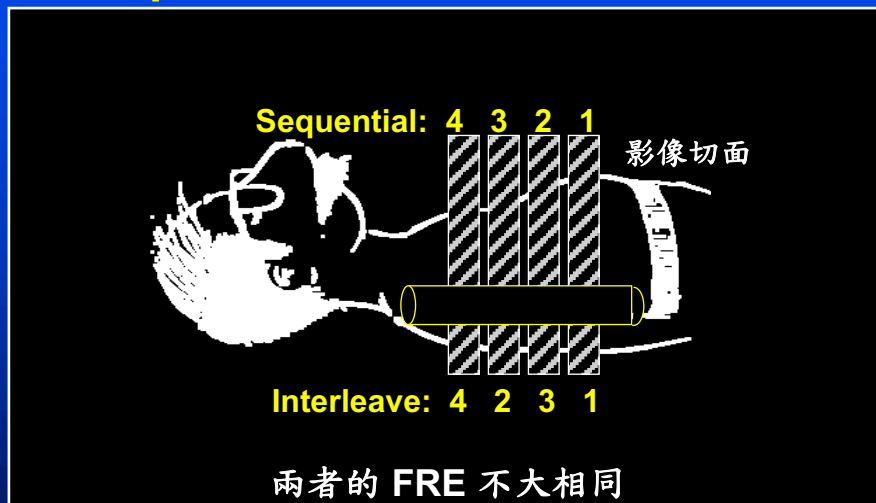
FRE 與多切面掃描的順序

- Sequential 與 interleave 現象不同
- Interleave 中之 FRE 與 Entry slice 現象過於複雜，不予討論
- 但是總之不外是個 artifact !

42

42

Sequential 與 Interleave 掃瞄方式



43

43

FRE 還有其他 Artifact

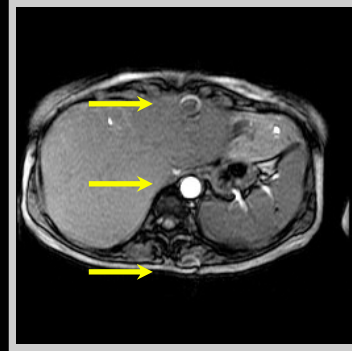
- 血流 ~ 運動，運動 --> 鬼影
- 因為 FRE 使得血流信號特強，運動鬼影特別明顯
- 如何消除 FRE 現象？

44

44

FRE 現象合併運動假影

因為 enhancement
太強而使得 motion
ghosts 十分明顯！



主動脈血流造成的亮血流及假影

45

45

FRE Artifacts 的消除

- 事先將上游血液信號減低
 - Inflow saturation
- 同時因血流運動產生的鬼影便自動去除

46

46

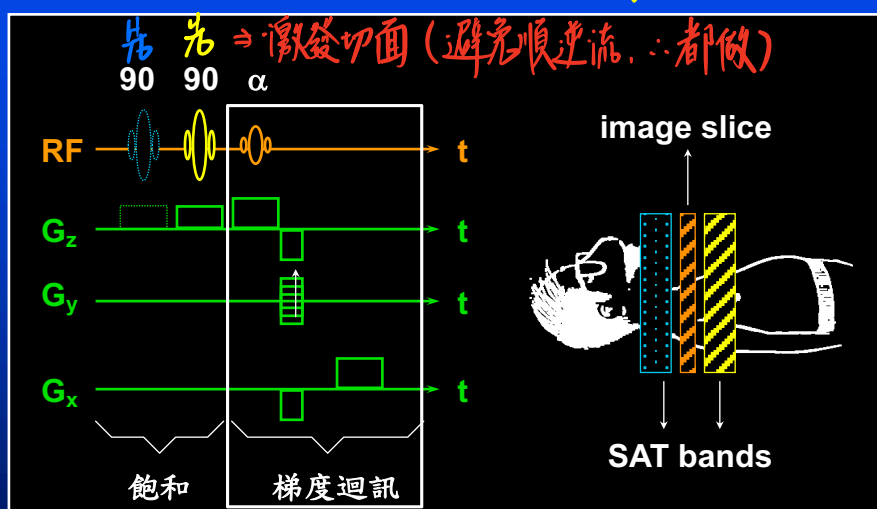
Inflow Saturation 的原理

- 在切面 “上游” 先做激發
- 短時間內再立刻選所要切面
- 血液在流入切面前即已飽和 \Rightarrow 不會FRE
- 沒有信號 \rightarrow 血管呈黑色

47

47

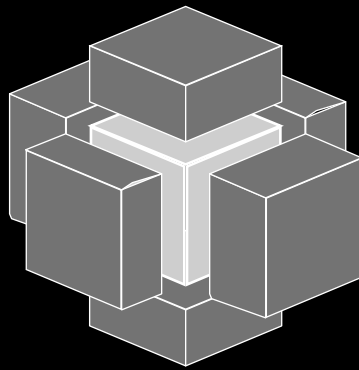
Inflow Saturation 原理



48

48

多方向 Inflow Saturation



SAT bands
Image volume

三個方向
每個方向前後各一處

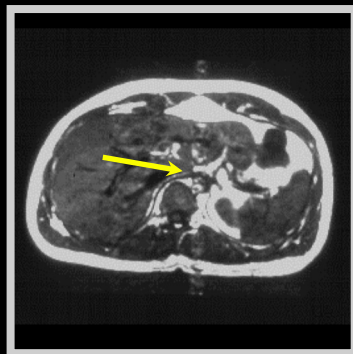
共 6 個 SAT 區域

通常操作員可選擇 Protocol 中亦可先訂妥

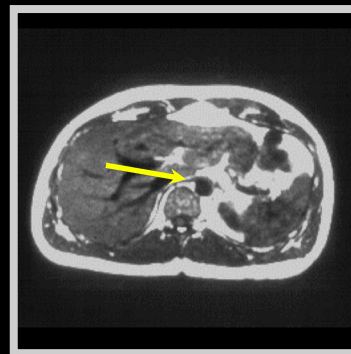
49

49

Superior Inflow Saturation



No Sat

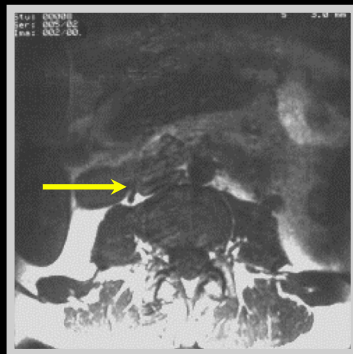


With Sat

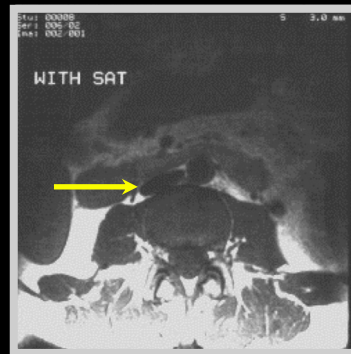
50

50

Inferior Inflow Saturation



No Sat

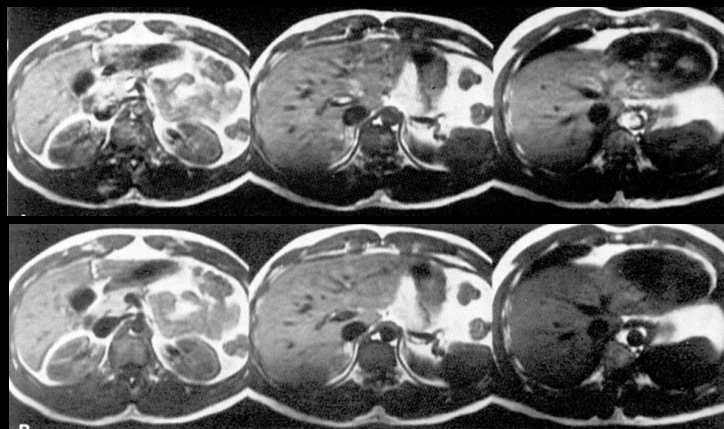


With Sat

51

51

Sup/Inf SAT 前後之比較



Aorta 及 IVC 經過 SAT 之後都變黑了

52

52

備註：血的影响不止於此

- 我們目前都只討論了流動的影響
- 完全沒有考慮血液成份！
- 新鮮血？新鮮血塊？舊血塊？
結痂？豬血糕？不再詳述

53

53

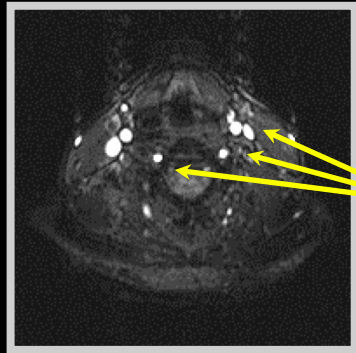
假影其實可資利用

- 誇張一些：血管信號太亮了，亮到其他靜止組織幾乎都沒信號 ...
- 那麼影像只含血管部份？
- **Time Of Flight MR 血管攝影！**

54

54

假影其實也可資利用



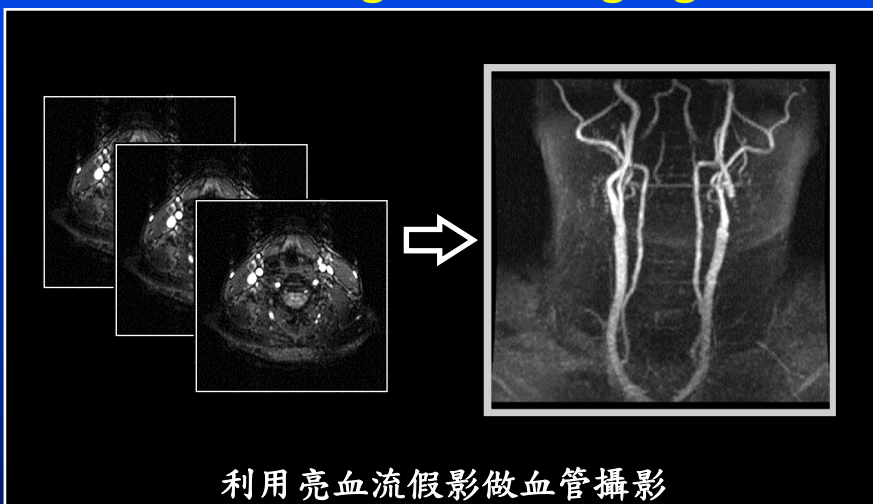
調整影像掃描參數
加強 enhancement
抑制靜態組織的信號

所得影像將只含有血管！

55

55

Time-of-Flight MR Angiogram



利用亮血流假影做血管攝影

56

56

TOF MR 血管攝影

Time-of-Flight MRA

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

57

57

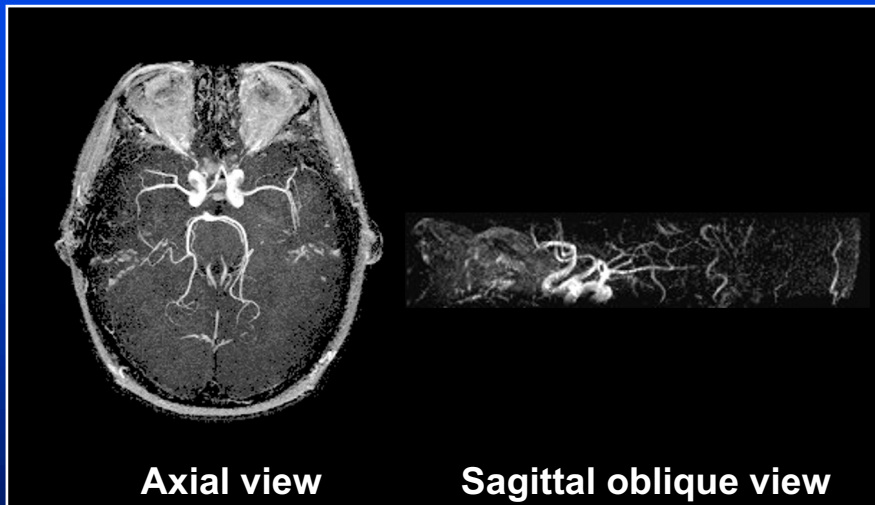
血管：亮，靜止組織：暗

- Time Of Flight MR 血管攝影
 - 完全沒有利用顯影劑
 - 也完全沒有利用減法
 - Completely noninvasive

58

58

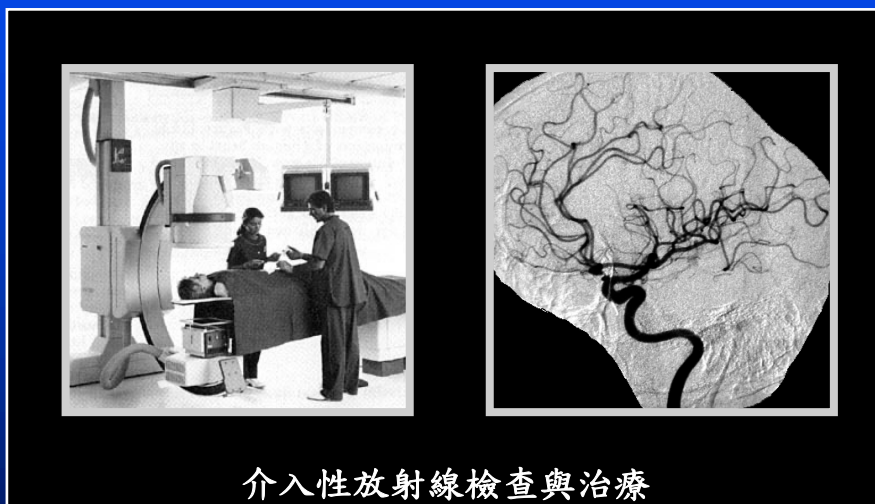
Circle of Willis 的 MRA MIP



59

59

比較：侵入式 X 光血管攝影



60

60

血流的 MRI 表現

- 看靜態組織，需要抑制 FRE
 - Inflow saturation
- 看血管本身，需要強化 FRE
 - TOF MR Angiogram

61

61

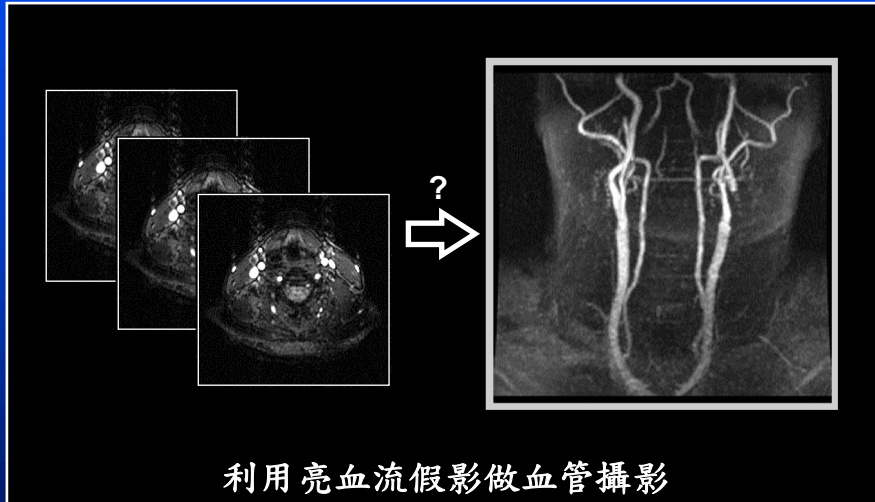
從 FRE 到 MRA

- 由多張單一切面到多角度投影
- Maximum Intensity Projection
 - MIP：電腦計算投影
- Volume (surface) rendering ...

62

62

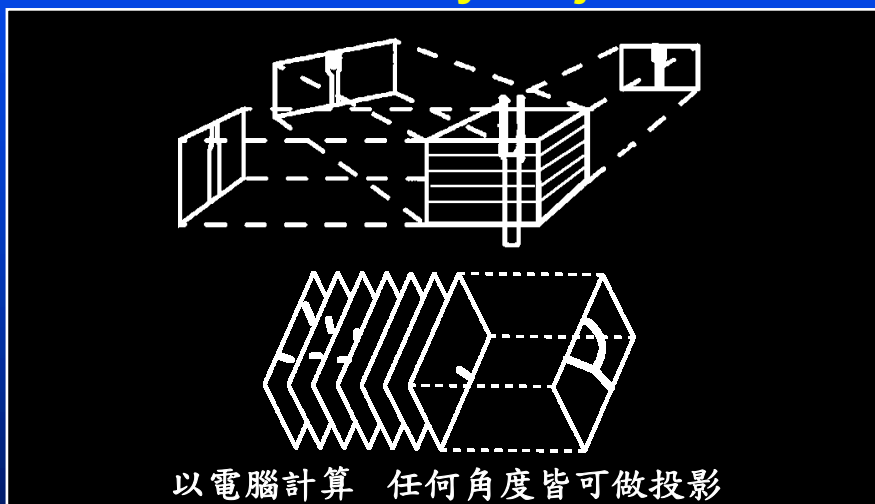
Time-of-Flight MR Angiogram



63

63

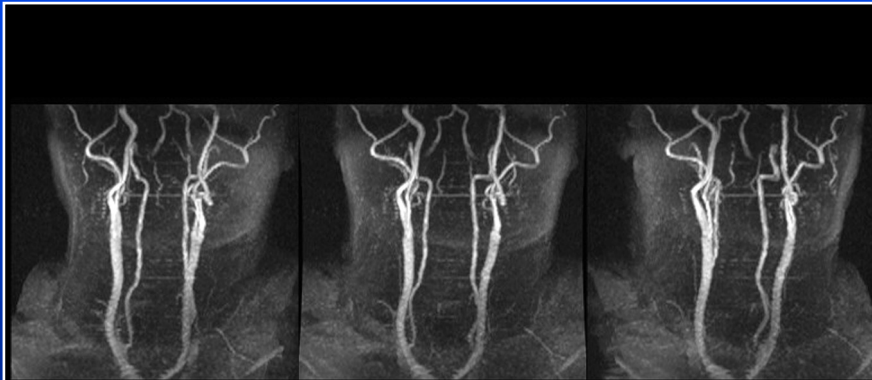
Maximum Intensity Projection 原理



64

64

2D TOF MRA



三個不同角度的 Carotid Arteries

65

65

MRA 的課結束了？

- 沒那麼容易！
- 如何忠實地顯示血管？
 - Contrast 的增強
 - Artifacts 的移除

66

66

回顧：影響 FRE 的因素

- TR 的長短
- 流速與切面厚度的比例
- Flip angle
- 血流速度在血管中的分佈 ...

67

67

增強 MRA 的對比

- 調整影像掃描參數
 - 切面厚度與方向
 - TR、flip angle
 - 將不要的血管 saturate 掉

68

68

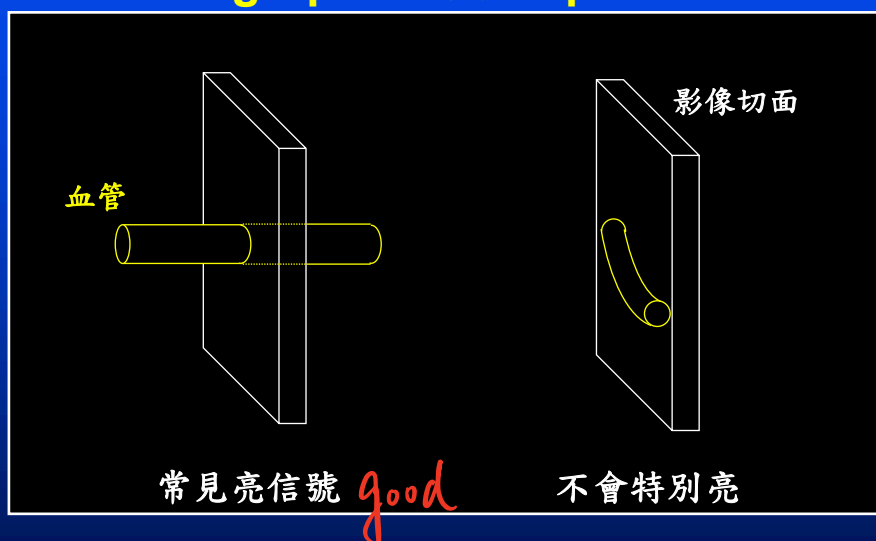
切面方向的影響

- FRE 只在 thru-plane flow 中明顯
- 選擇切面須儘可能與血管垂直
- 血管彎曲處常因 FRE 不明顯而使信號較弱，造成 narrowing

69

69

Through-plane 與 in-plane 血流



70

70

切面方向的影響



Proximal anterior tibial artery branch 變窄？

71

71

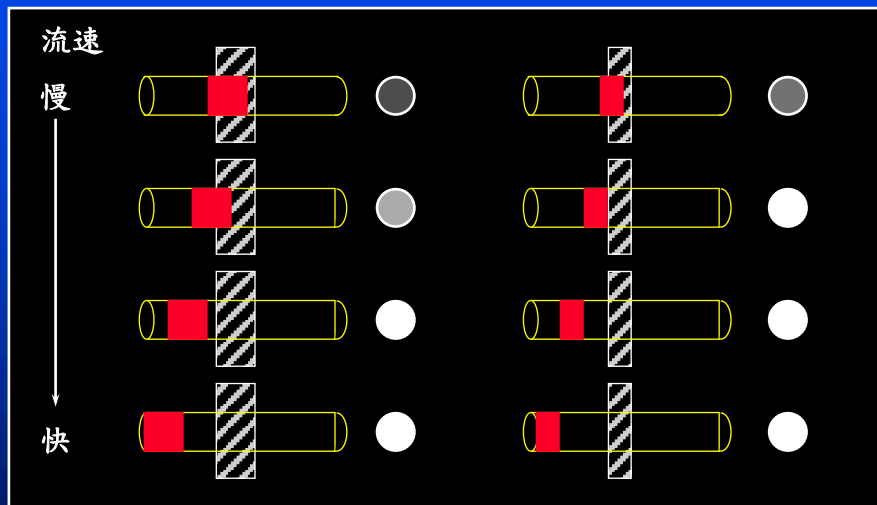
切面厚度的影響

- 記住 **FRE** 是因血液流出切面造成
- 切面愈薄，FRE 愈明顯
- 同時解析度也愈高
- 但有梯度強度及 **SNR** 的限制

72

72

血流速與切面厚度對 FRE 的影響



73

73

增強 MRA 的對比

- 調整影像掃描參數
 - 切面厚度與方向
 - TR、flip angle
 - 將不要的血管 saturate 掉

74

74

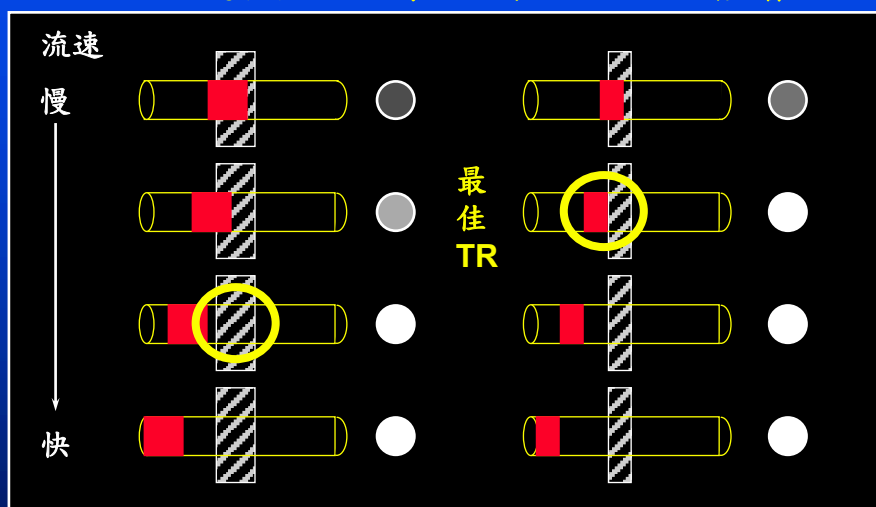
TR 的影響

- 記住 FRE 是因血液流出切面造成
- TR 若太短，血液沒有時間流走
- TR 若太長，靜止組織信號無法飽和
- 最佳 TR = 厚度 / 流速

75

75

血流速與切面厚度對 FRE 的影響



76

76

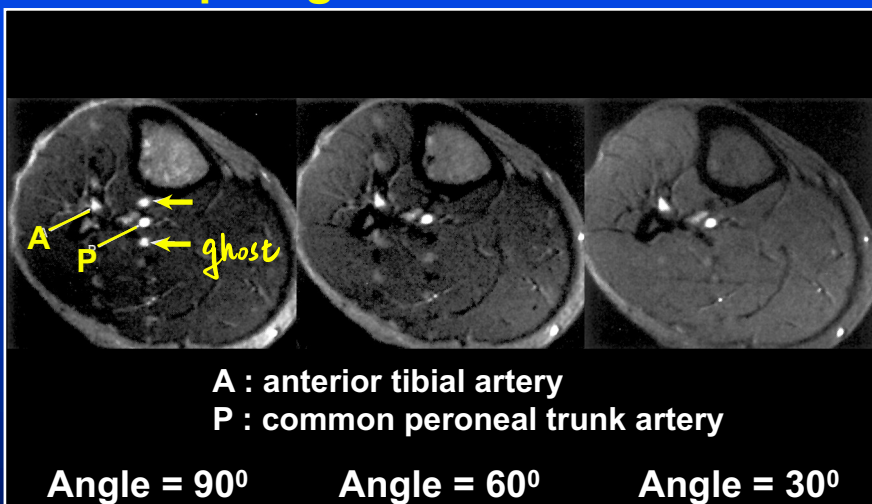
Flip Angle 的影響

- Flip angle 大，T1 現象愈明顯
 - 血管亮、但 flow ghosts 也多
- 流速慢時，大偏折角造成飽和
 - 類似靜止組織

77

77

Flip Angle 對 Ghost 的影響



78

78

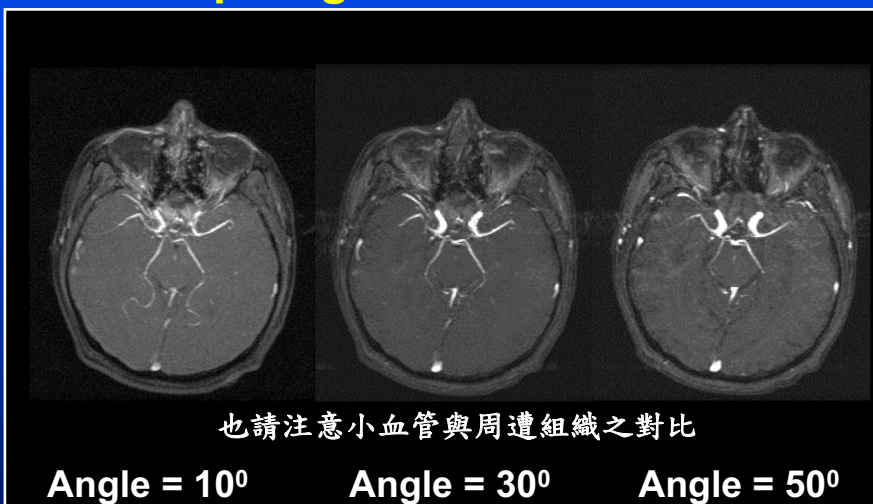
Flip Angle 的影響

- 實際的狀況複雜的多
- 也隨 anatomical location 而異
 - 上下游流速快慢不一
- 通常採用 45 ~ 60 (2D TOF)

79

79

Flip Angle 對 MRA 的影響



80

80

TR 與 Flip Angle

- 通常在慢速血流中影響較大
 - 所謂慢速，是指相對於切面厚度
- 通常 2D TOF MRA 情況還好
- 在 3D TOF MRA 中更顯重要

81

81

增強 MRA 的對比

- 調整影像掃描參數
 - 切面厚度與方向
 - TR、flip angle
 - 將不要的血管 saturate 掉

82

82

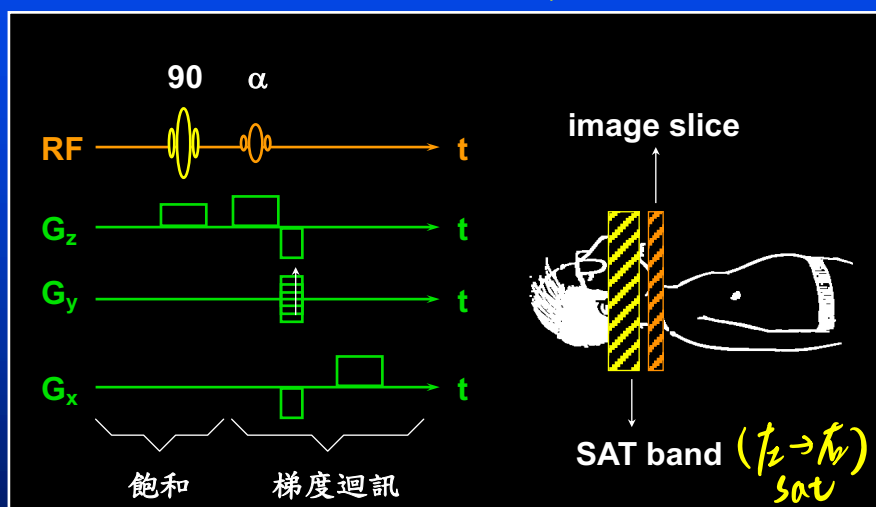
Saturation Band 的影響

- 使不要的血管飽和以避免 overlap
- SAT band 跟著切面改變
 - Tracking SAT
- 切面激發的次序：下游至上游

83

83

Saturation 原理



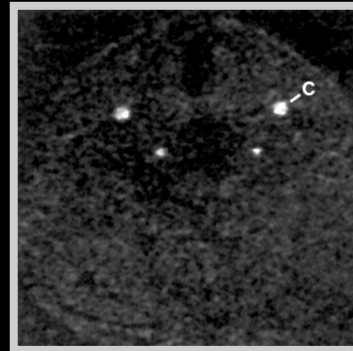
84

84

利用 SAT 抑制 Jugular Vein



Angiogram



Arteriogram

85

85

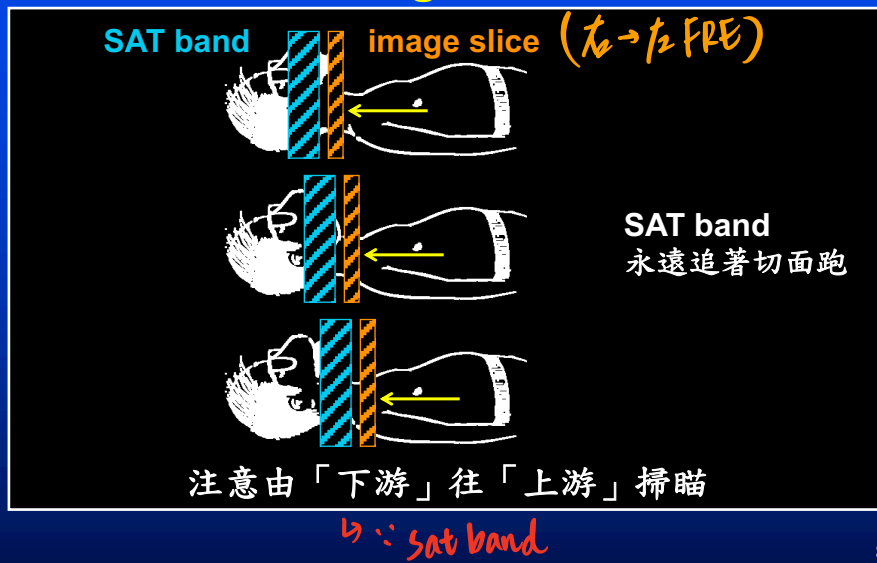
Saturation Band 的影響

- 使不要的血管飽和以避免 overlap
- SAT band 跟著切面改變
 - Tracking SAT
- 切面激發的次序：下游至上游

86

86

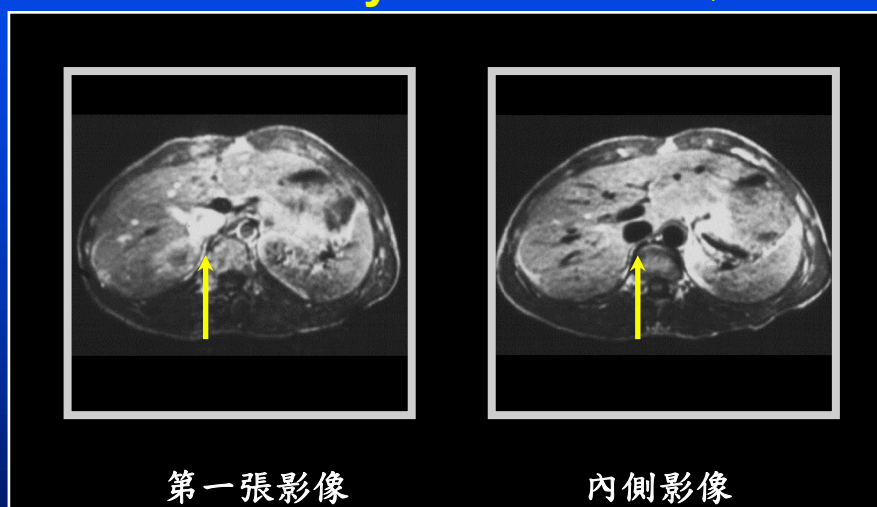
Tracking SAT 原理



87

87

類似 Entry-Slice FRE 現象



88

88

增強 MRA 的對比

- 調整影像掃描參數
 - 切面厚度與方向
 - TR、flip angle
 - 將不要的血管 saturate 掉

89

89

MRA 的課還沒結束

- 如何忠實地顯示血管？
 - Contrast 的增強
 - Artifacts 的移除

90

90

MRA Artifacts

- Intra-voxel phase dispersion
(失相) 造成血管看似狹窄
- 脂肪的高信號干擾判讀

91

91

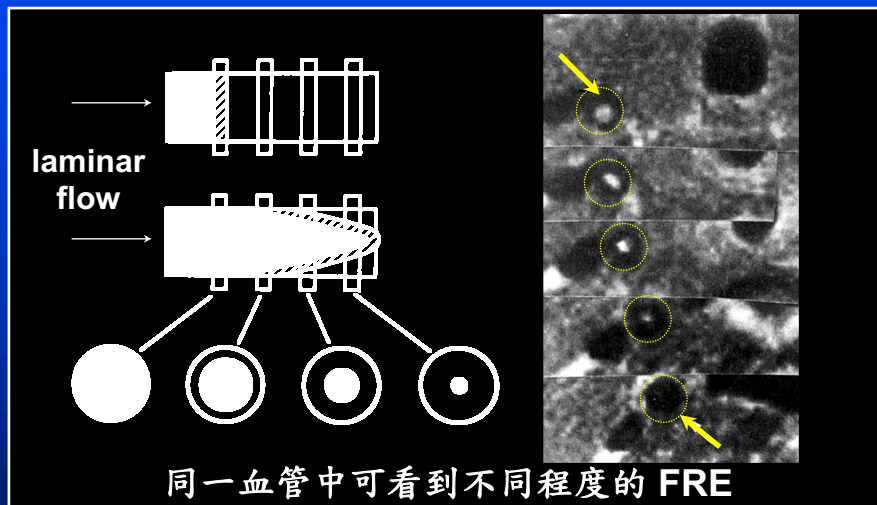
Intra-Voxel Dephasing

- 像素內的信號損失
 - 流速不均，甚至有亂流
 - 在有梯度開啟時產生失相
 - 發生在同一像素內 --> 低信號

92

92

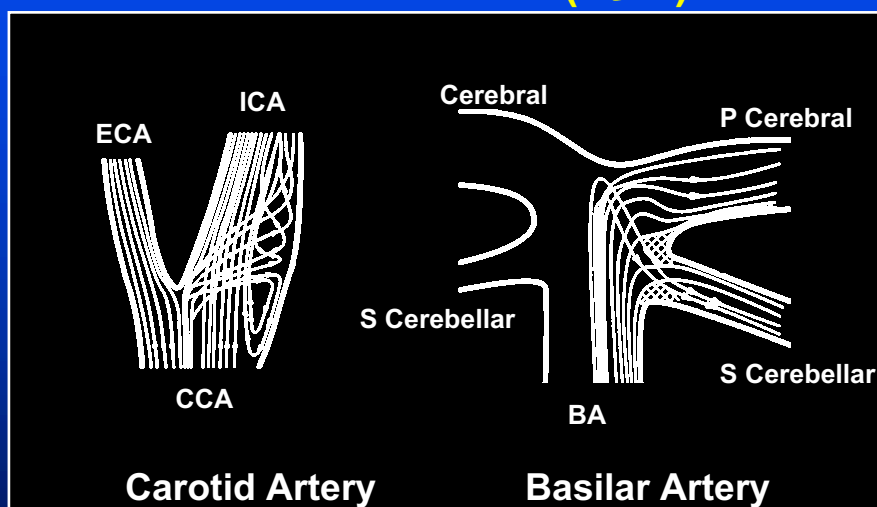
流速不均看似血管狹窄



93

93

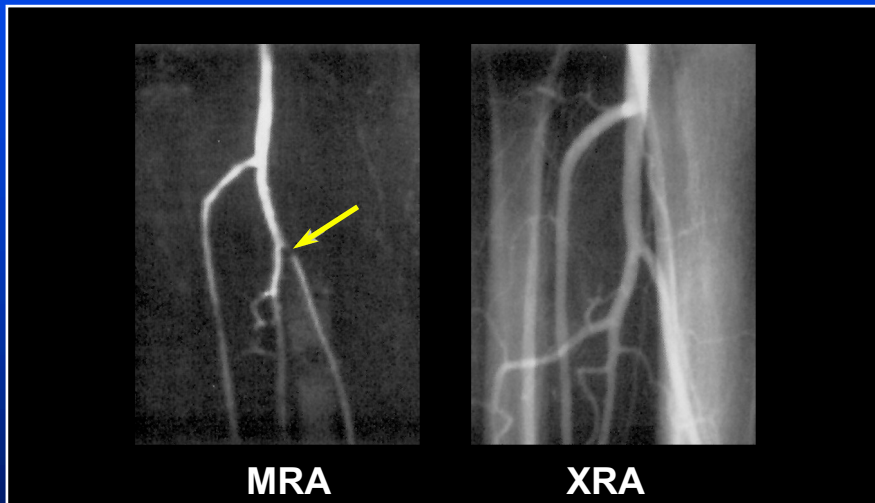
Turbulent Flow (擾流)



94

94

失相引起的 Pseudo Stenosis



95

95

看似 stenosis 的原因

- 梯度 = 磁場隨位置不同
- 流動 --> 磁場一直變化 --> 累積相角
- 流速不一 = 相角不同 --> 低信號
- Pseudo-stenosis

96

96

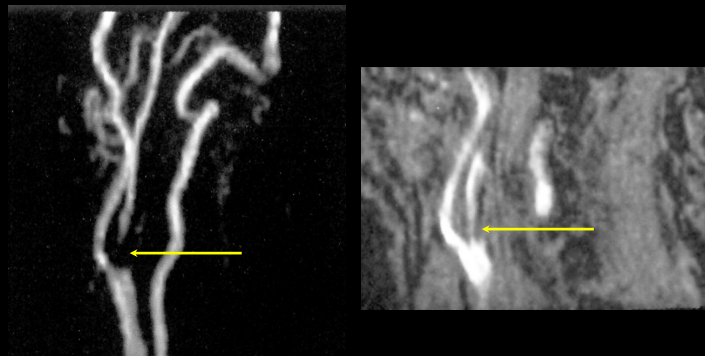
偽陽性 (False Positive)

- 但是又不能全部當作正常
 - 原本可能便具有 **stenosis**
- 此時會因為擾流而更顯得血管狹窄
- **Over-estimate of stenosis**

97

97

Over-Estimated Stenosis



失相引起的信號損失看似大範圍 **stenosis**

98

98

切面方向也是 **Pseudo-Stenosis** 因素之一



Proximal anterior tibial artery branch 變窄？

99

99

那 **Aneurysm** (動脈瘤) 呢？

- 血管變寬處可能流速變慢
- 亦可能有漩渦流 (vortex)
- 信號低 --> 被當做靜止組織
- **Under-estimate of aneurysm**

100

100

Under-Estimate of Aneurysm



渦流處的信號損失
看似不屬於血管



MRA 另一主要缺點

101

101

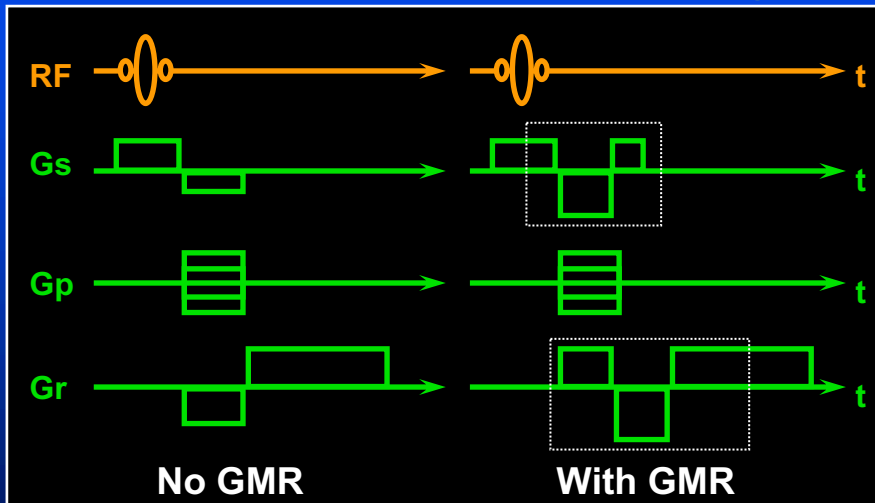
① 解決之道：血流補償

- Flow Compensation (GE)
- GMR (Siemens), MAST (Picker)
- 變化梯度形狀，使得流速不同的水分子仍然可以具有相同的相角

102

102

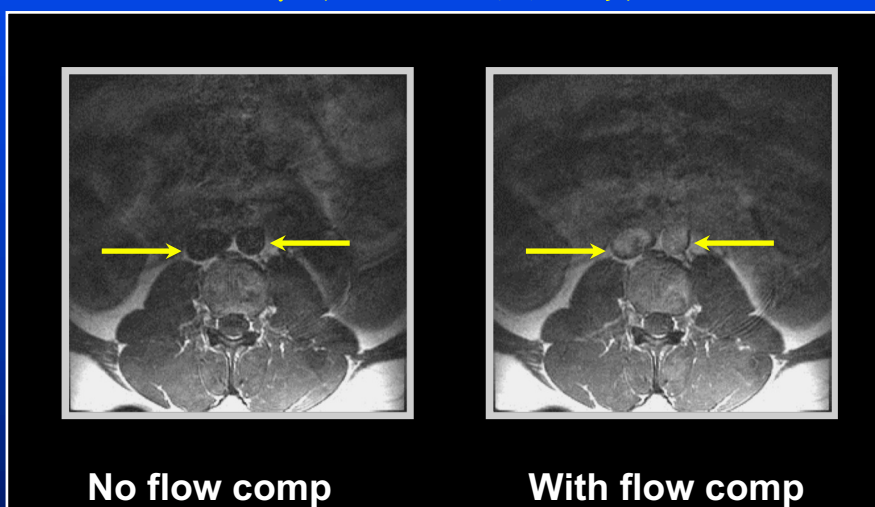
Gradient Moment Rephasing



103

103

像素內失相與補償



104

104

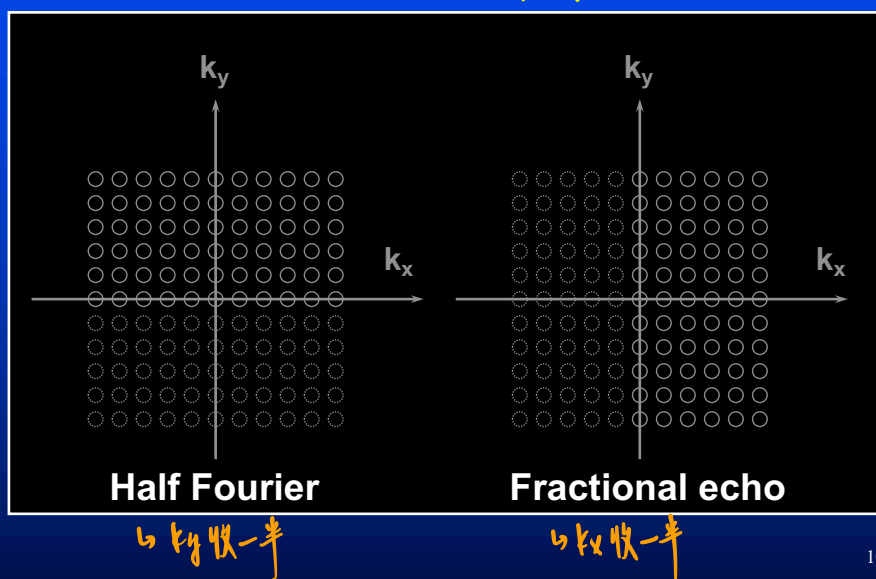
② 解決之道：短 TE

- 失相總要花時間
- 短 TE 使失相情況來不及發生
 - 或使信號損失不多
- Fractional Echo (以前提過)

105

105

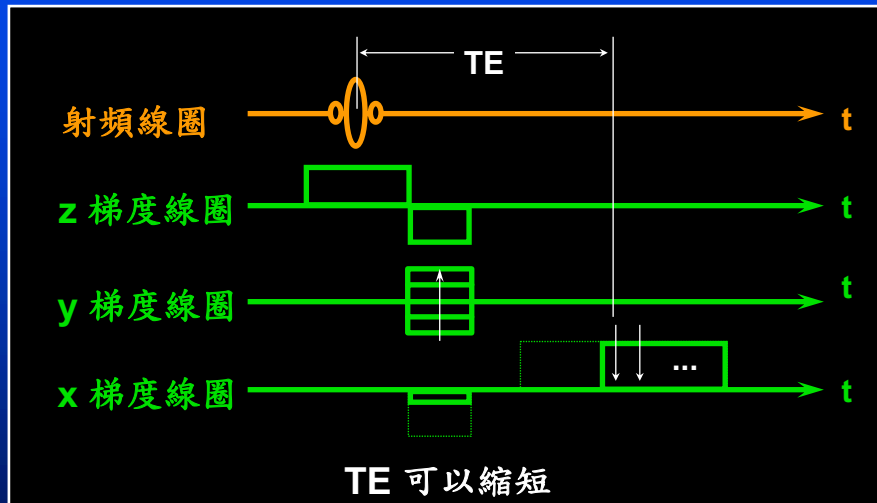
k-空間的數據簡化



106

106

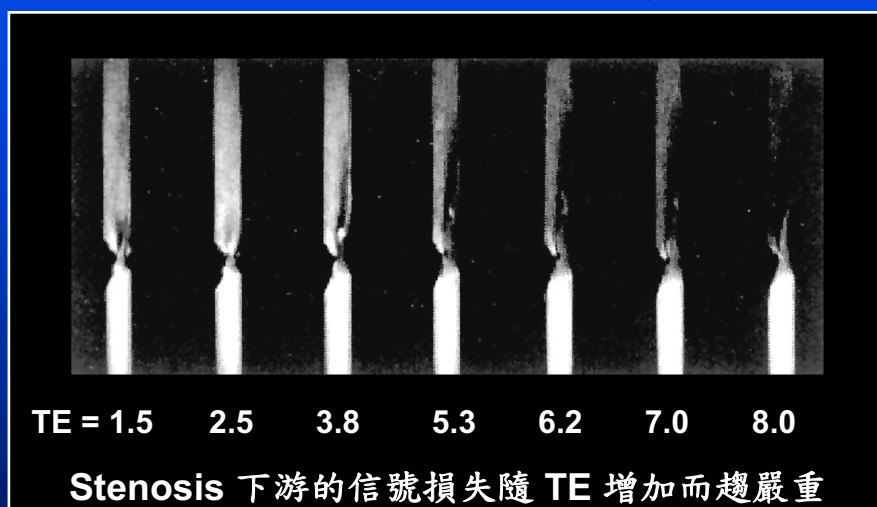
部份迴訊脈衝序列



107

107

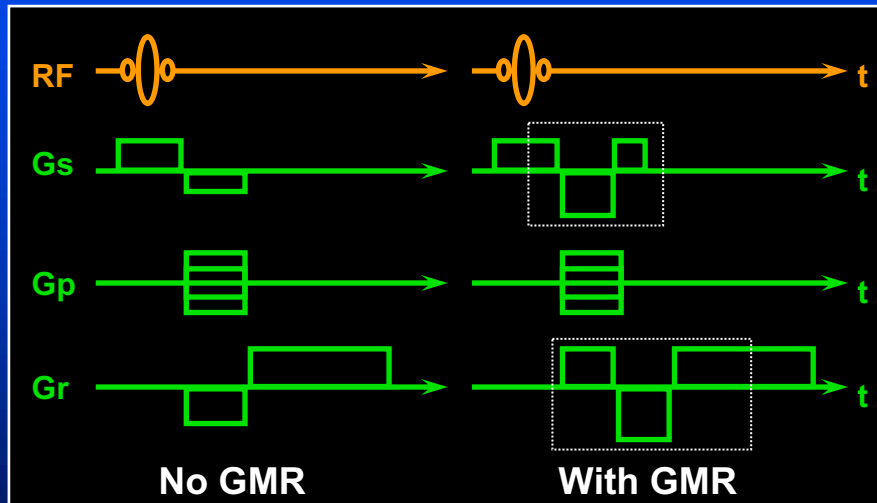
短 TE 與 GMR 的效果



108

108

Flow Comp 中的 TE 無法太短



109

109

MRA Artifacts

- Intra-voxel phase dispersion (失相) 造成血管看似狹窄
- 脂肪的高信號干擾判讀

110

110

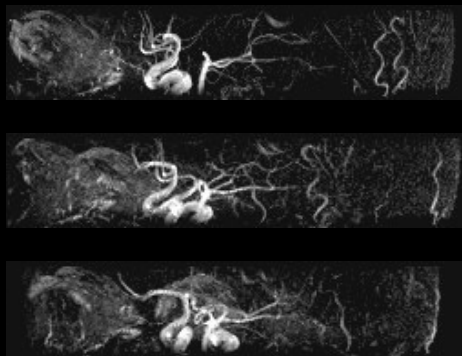
脂肪的 Artifacts

- TOF MRA 是根據 T1 對比而來
- 脂肪的 T1 短
- 脂肪的強信號類似血管？

111

111

3D TOF MRA (Circle of Willis)



注意 Periorbital Fat 的干擾

112

112

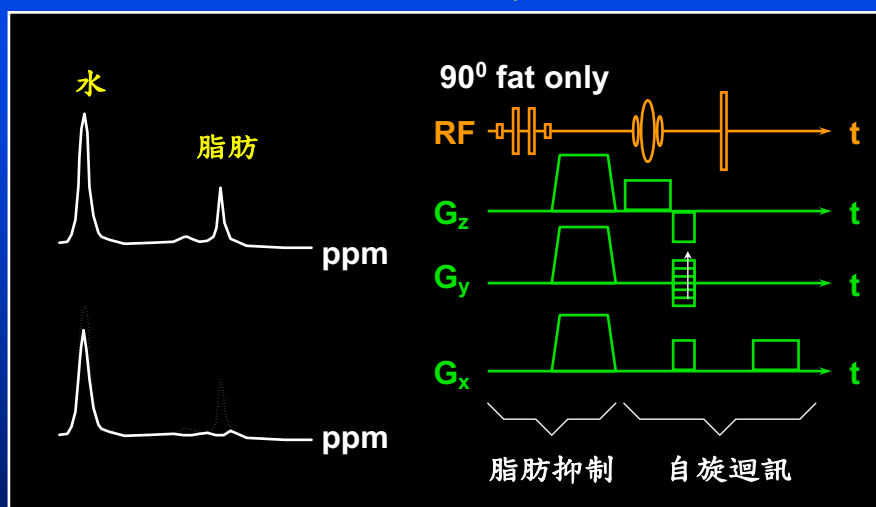
去除脂肪的 Artifacts

- Fat SAT (以前提過了)
- 成功的 fat SAT 條件
 - Shimming
 - 避開磁化率影響

113

113

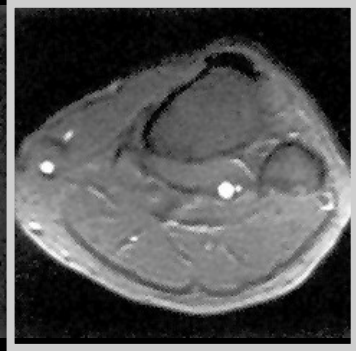
CHESS 原理



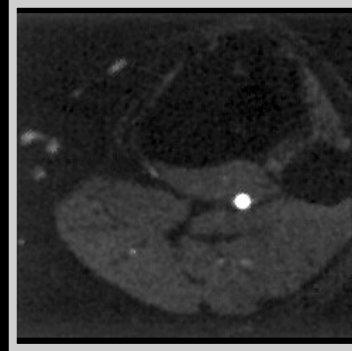
114

114

Fat SAT 的比較 (原始影像)



No Fat SAT

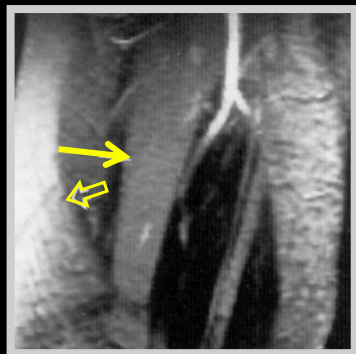


Fat SAT

115

115

Fat SAT 的比較 (MIP MRA)



No Fat SAT



Fat SAT

116

116

可是不要忘記

- 成功 fat suppression 是有條件的
 - B_0 、 B_1 均勻 ...
- Fat suppression 如果失敗，TOF MRA 適得其反

117

117

MRA 的課還沒結束

- 如何忠實地顯示血管？
 - Contrast 的增強
 - Artifacts 的移除
- 那麼 3D TOF MRA 呢？

118

118