

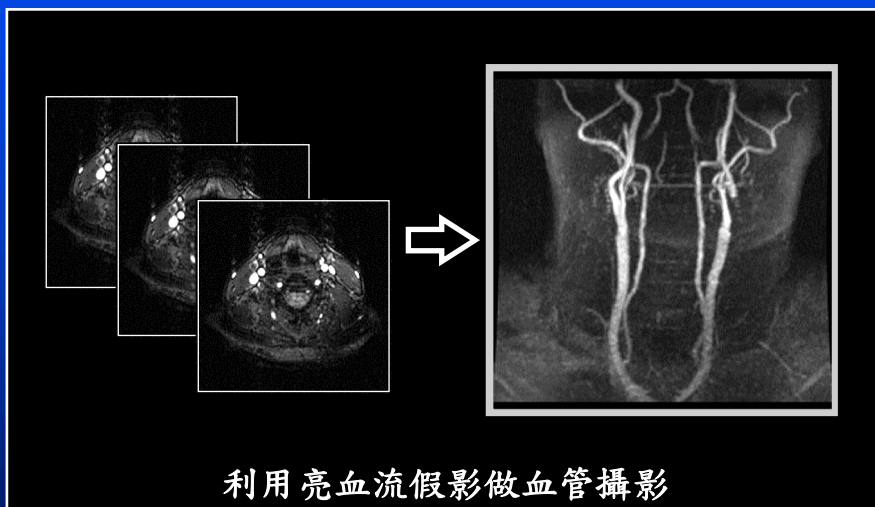
3D Time-of-Flight MRA 的原理

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

1

1

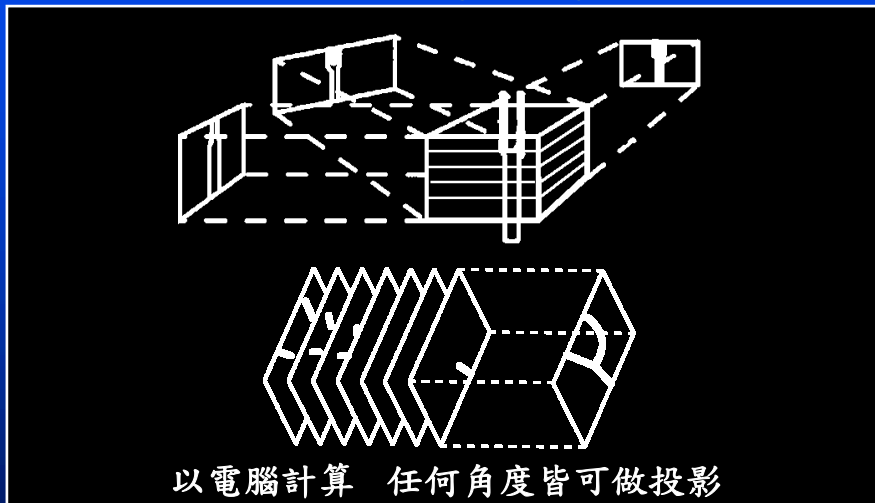
從 FRE 到 TOF MRA



2

2

Maximum Intensity Projection 原理



3

3

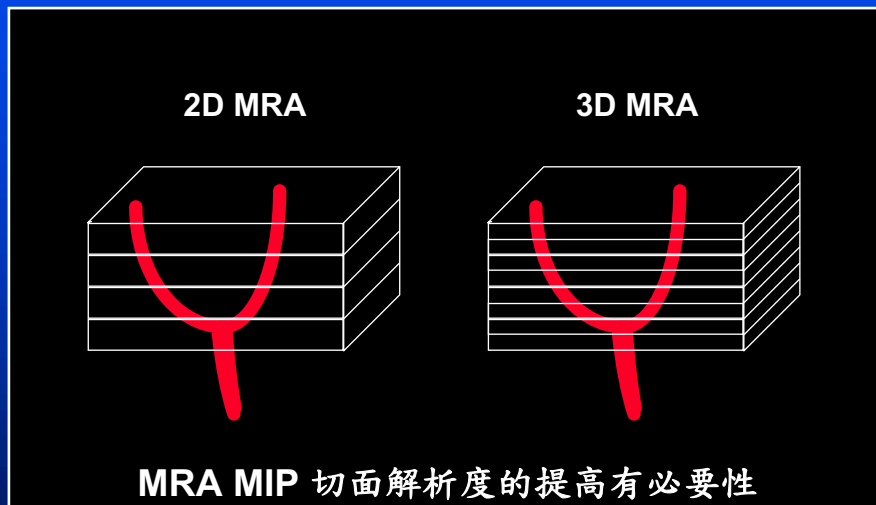
3D MRA 的動機

- 多張 2D 影像其實已經類似 3D 了
- 為什麼不做 3D 影像？

4

4

MRA 本來就已經需要 3D 的數據



5

5

2D & 3D MRA

- 同樣的 FRE 原理用在 3D 影像上
 - 更薄更多張的切面
 - 高 SNR 影像

6

6

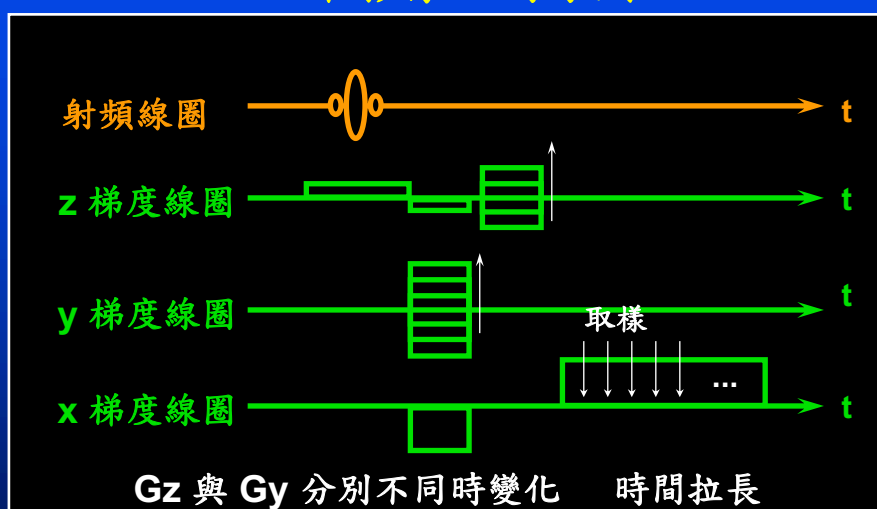
回顧：3D MRI 的原理

- 其實和 2D 沒什麼差別
- 只是多了 slice 方向的相位編碼
 - 厚切塊激發 (slab selection)
 - 時間長了很多倍

7

7

三維影像脈衝序列



8

8

3D MRI 一般的特性

- 為了省時間 -- 短 TR
 - 小偏折角、梯度迴訊、T1WI
- $SNR \sim \sqrt{\text{切面數目}}$
 - 可利用高 SNR 換取薄切面

9

9

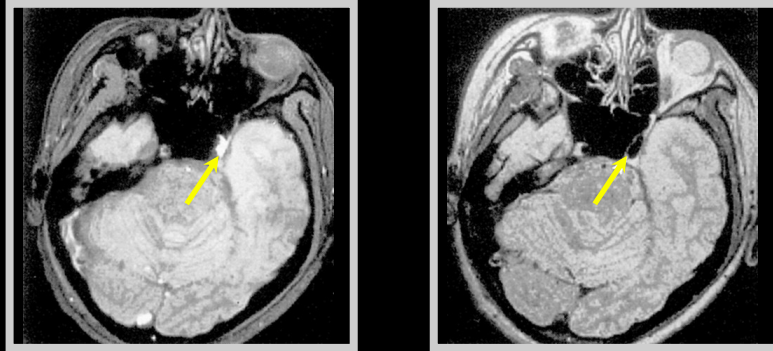
回顧：良好的 TOF MRA

- 梯度迴訊 (避免 flow void)
- 短 TR (足夠的 T1 比重與 FRE)
- 適當的掃描參數
- 條件剛好都和 3D MRI 一致！

10

10

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

11

11

3D MRA 的動機

- 多張 2D 影像其實已經類似 3D 了
- 同樣的 FRE 原理用在 3D 影像上
 - 更薄更多張的切面
 - 高 SNR 影像

12

12

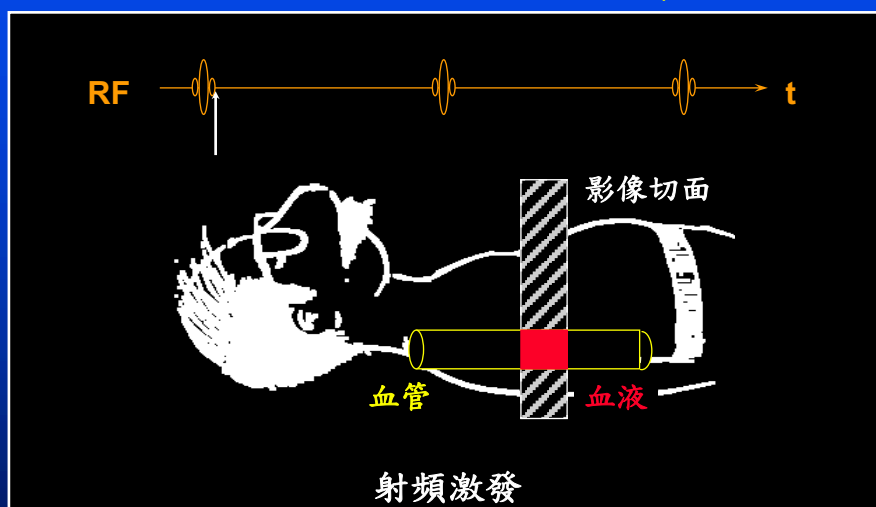
但是 3D MRA 有先天限制

- 影響 FRE 的部份因素
 - 切面厚度與 TR
- 在 3D 影像中變得十分複雜！

13

13

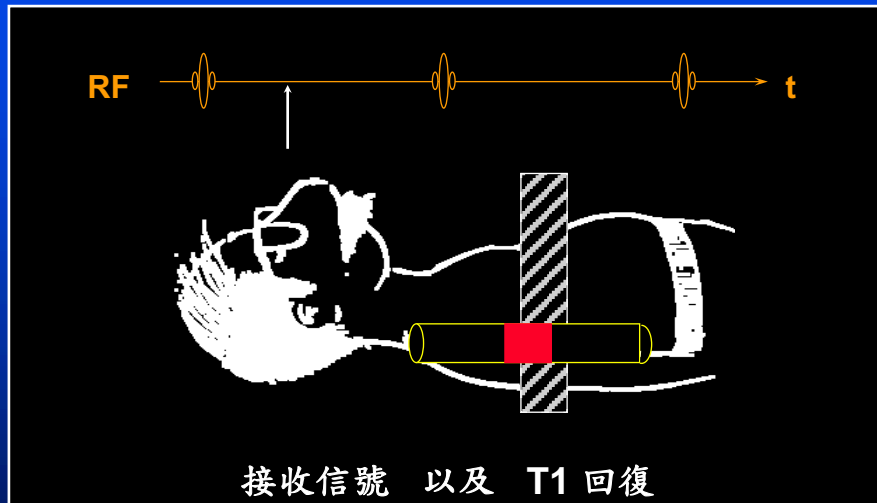
流動的血液的飽和現象



14

14

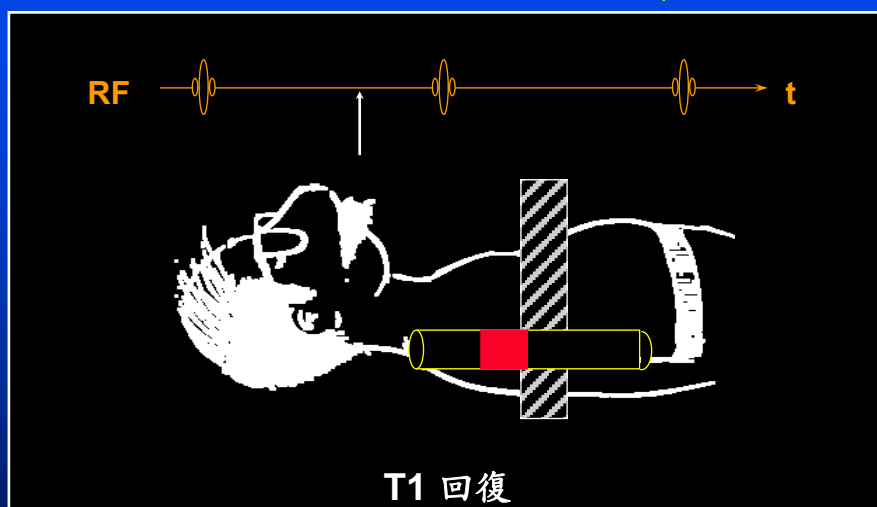
流動的血液的飽和現象



15

15

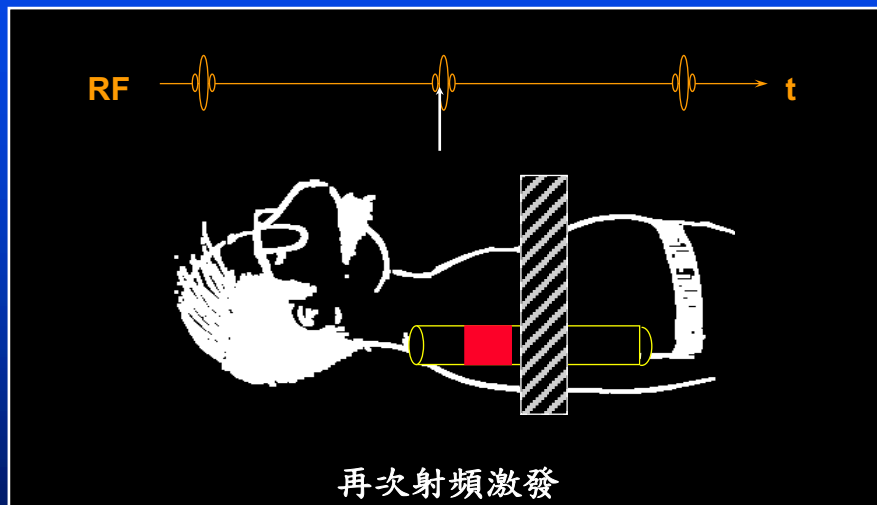
流動的血液的飽和現象



16

16

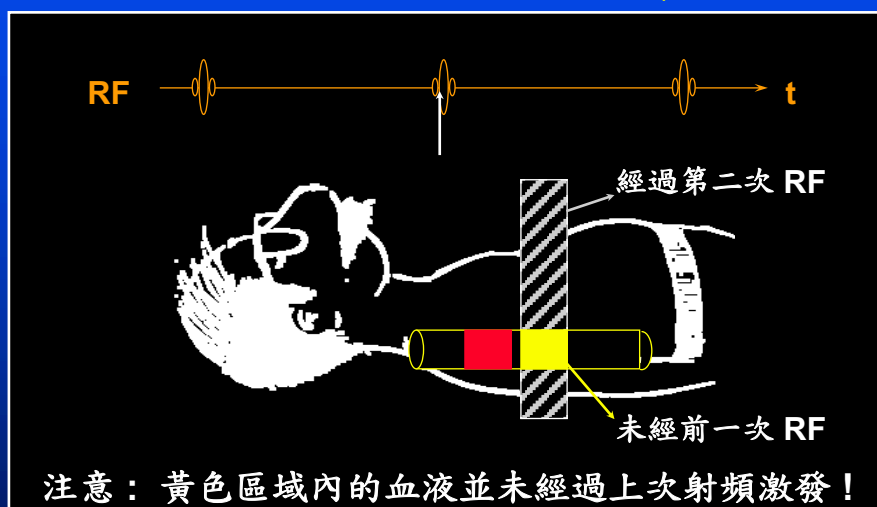
流動的血液的飽和現象



17

17

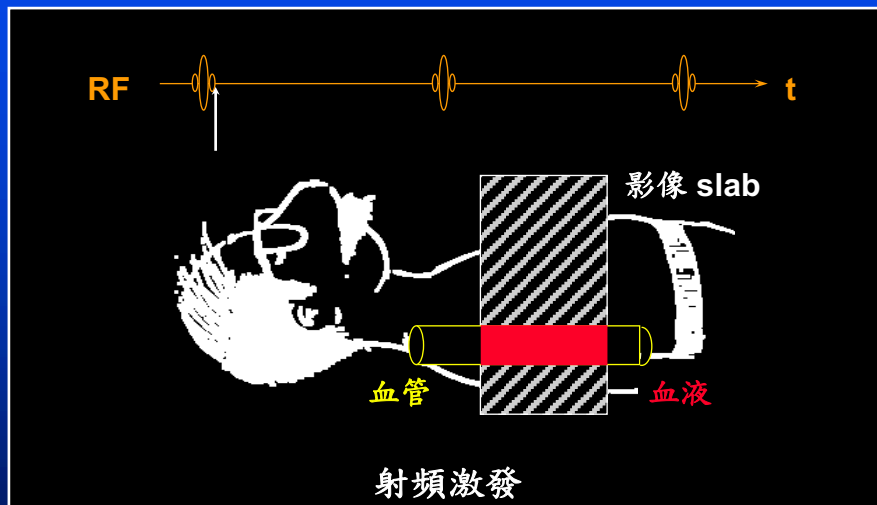
流動的血液的飽和現象



18

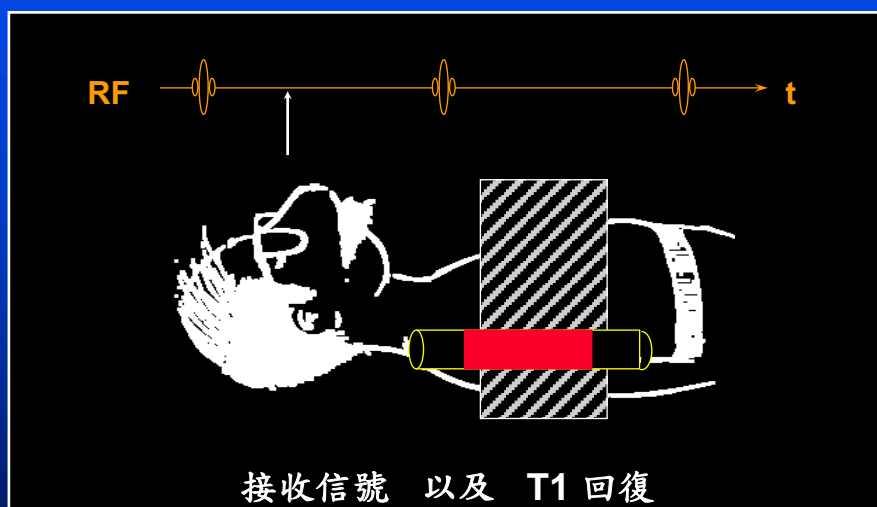
18

FRE in 3D MRI



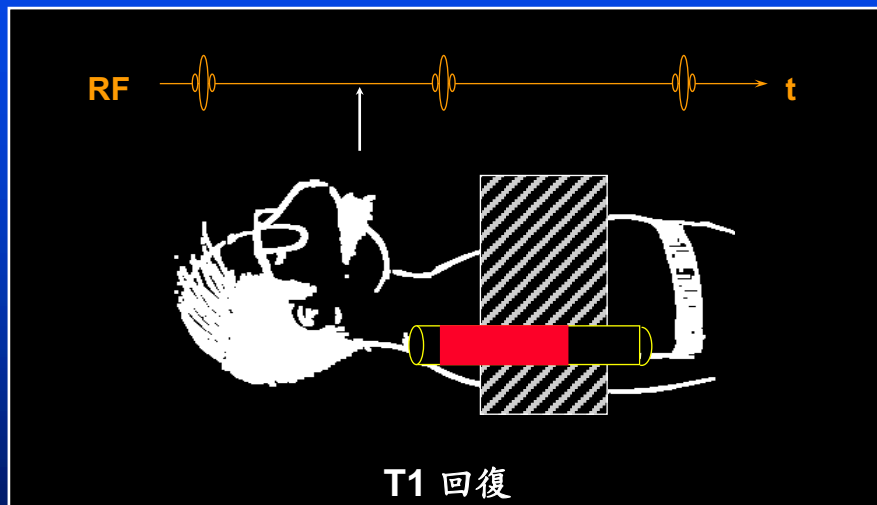
19

FRE in 3D MRI



20

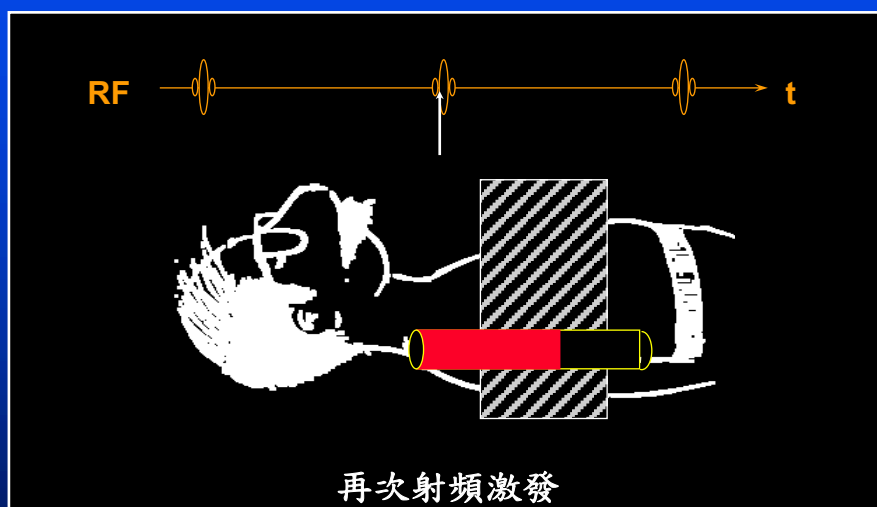
FRE in 3D MRI



21

21

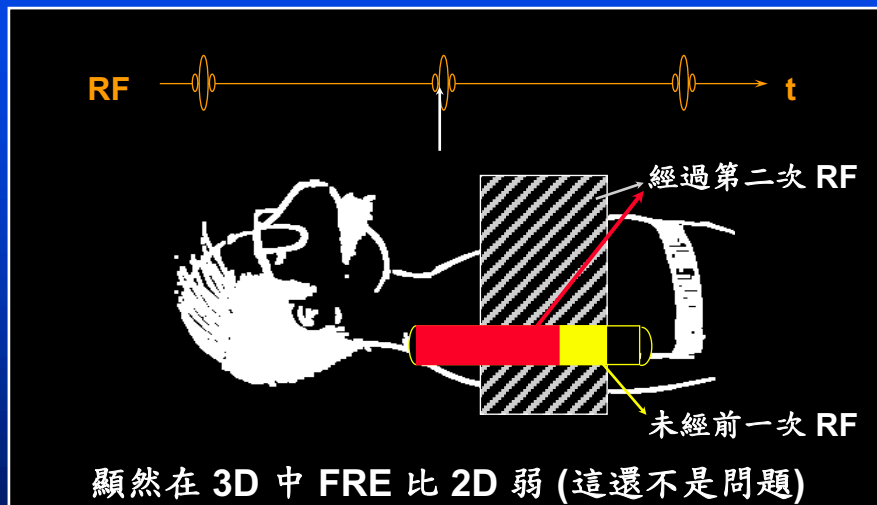
FRE in 3D MRI



22

22

FRE in 3D MRI

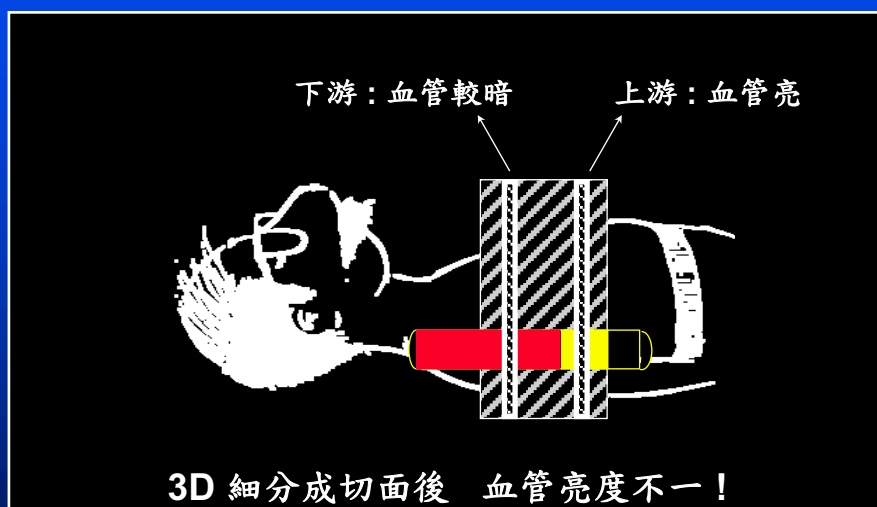


↳ 3D slab 厚

23

23

FRE in 3D MRI



24

24

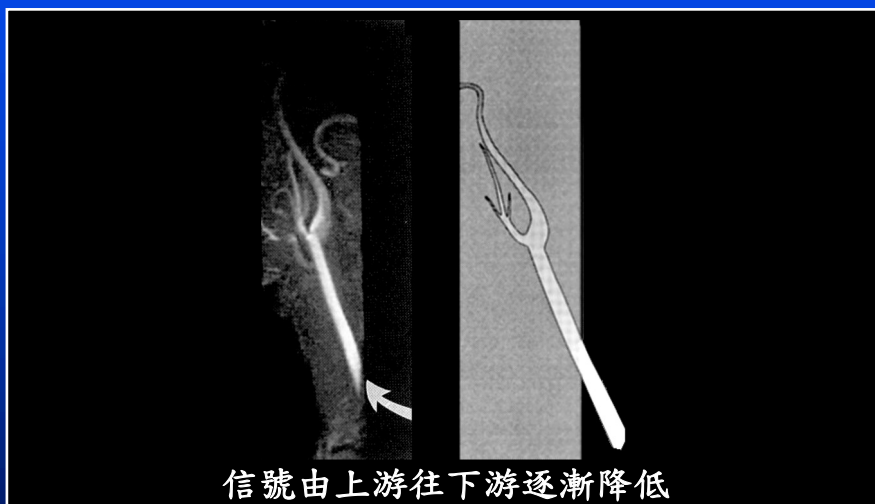
3D 的切塊厚度

- Slab 太厚，FRE 複雜化
- 上游 FRE 明顯，下游逐漸飽和
- MRA 亮度不均，看似血管變窄
- 慢血流尤其顯著 -- 3D 之缺點

25

25

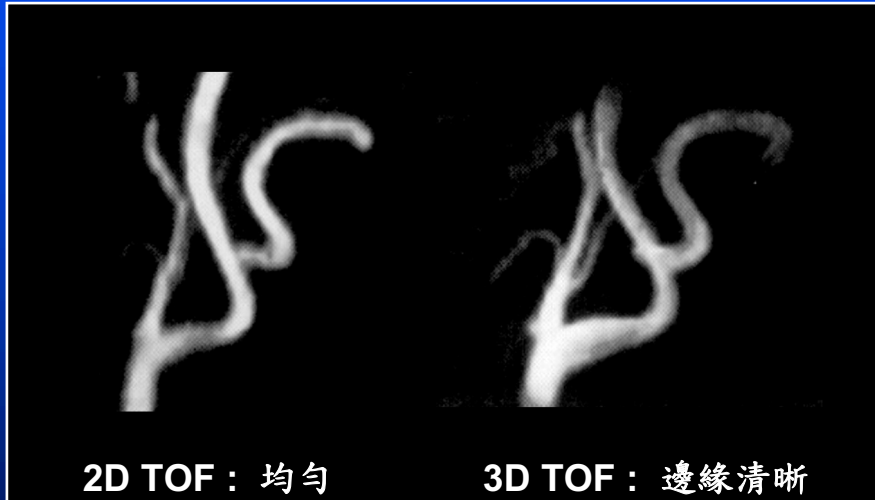
3D TOF MRA 中的“漸層”



26

26

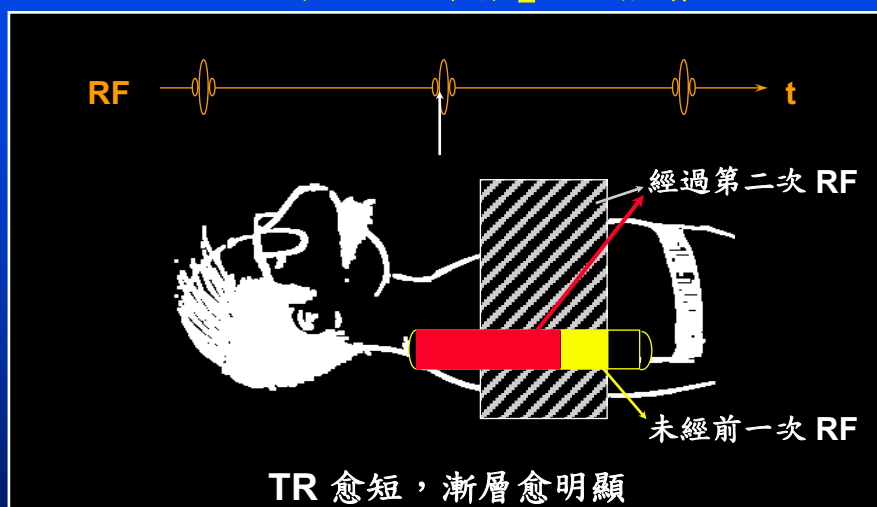
2D 與 3D FRE (Carotid Bifurcation)



27

27

TR 對於「漸層」的影響



28

28

解決之道

- 避免上游血液受到太多 RF
 - 小偏折角激發
- 下游血液讓它多點 T1 比重
 - 大偏折角激發

29

29

參考

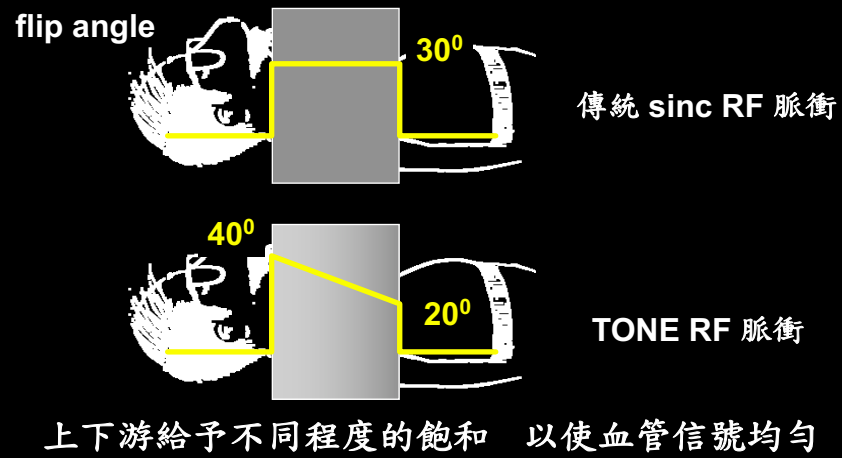
解決之道

- **Flip angle 隨位置改變**
 - 但是只用單一 RF pulse 來完成
 - 可以用簡單數學求得 RF 波形
 - **TONE (Siemens), RAMP (GE)**

30

30

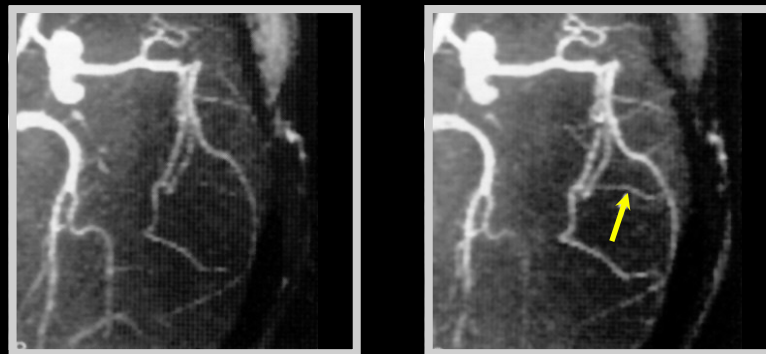
TONE 與傳統 sinc RF 脈衝之比較



31

31

TONE (Ramp) Pulse 的比較



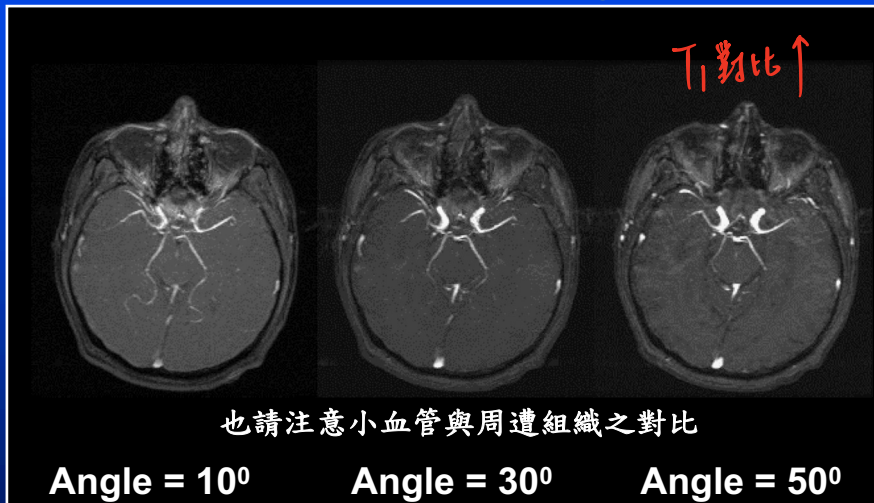
傳統 RF pulse

TONE pulse

32

32

等於是綜合各種 Flip Angle 的優點



33

33

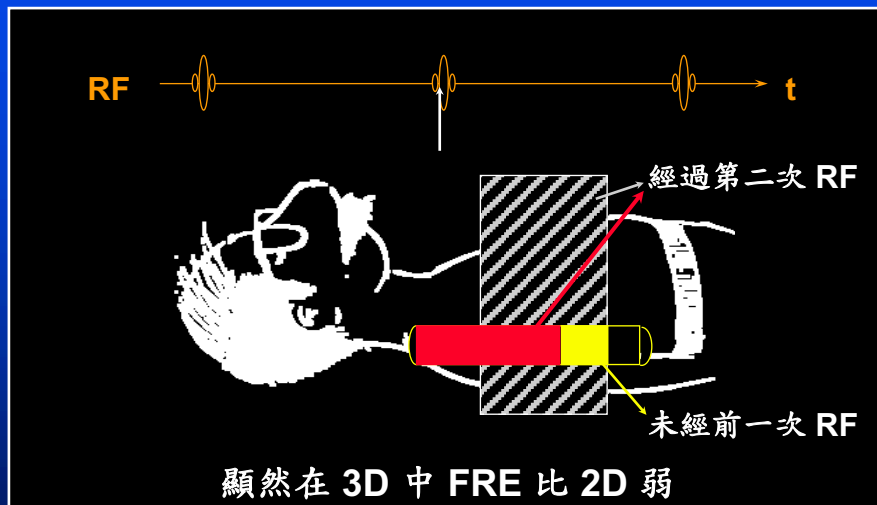
3D TOF MRA 的其他特性

- FRE 仍然較 2D 弱
 - Background suppression 相形之下變得更重要
- 磁轉移飽和法與脂肪飽和

34

34

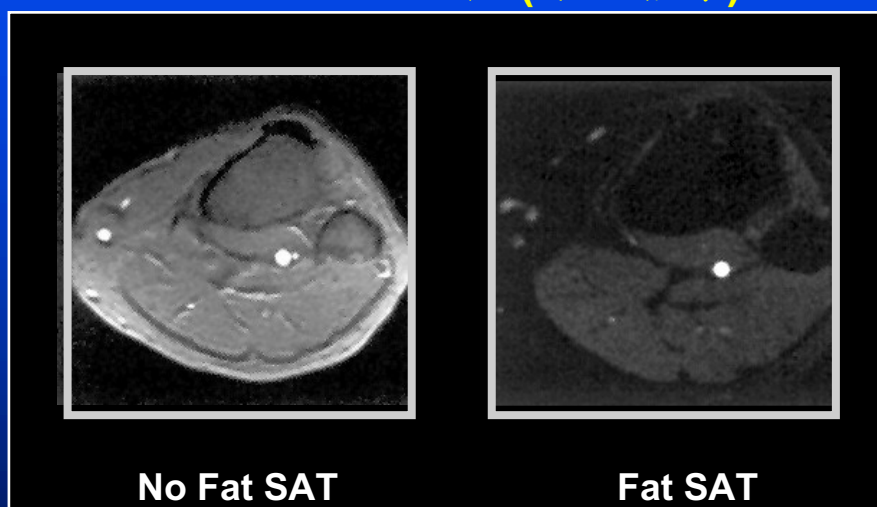
FRE in 3D MRI



35

35

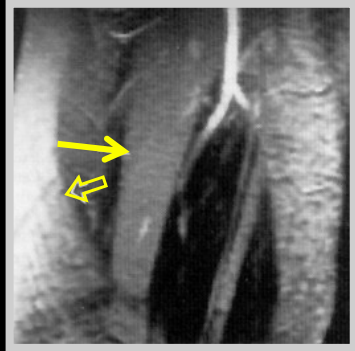
Fat SAT 的比較 (原始影像)



36

36

Fat SAT 的比較 (MIP MRA)



No Fat SAT

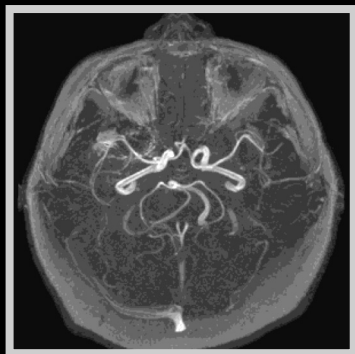


Fat SAT

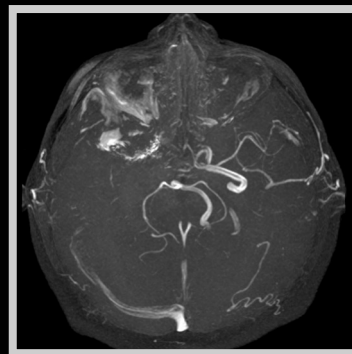
37

37

Fat SAT in MRA



No Fat SAT



Fat SAT

38

38

磁轉移飽和法 (MTS)

- Magnetization transfer saturation
- 暫時沒有時間談，但基本上 ...
- 抑制含有大分子蛋白質組織的信號
(詳細原理及其他應用以後再說)

39

39

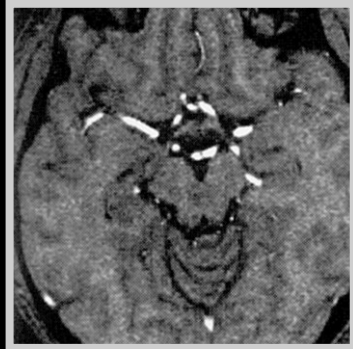
MTS 用於 MRA

- 有效抑制背景組織突顯血液
 - 血液中的蛋白質不太多
 - 血漿蛋白質分子也比組織中小
- ★ MTS 效應在靜止組織中較強

40

40

MTS 的原始影像比較



未加 MTS



已加 MTS

41

41

MTS 的 MIP 影像比較



未加 MTS



已加 MTS

42

42

TONE 與 MTS 的比較



注意小血管的可見度

None

MTS

MTS + TONE

43

43

3D TOF MRA 的其他特性

- 受彎曲血管的影響較 2D 小 (優點)

44

44

切面方向的影響 (2D)

- FRE 只在 thru-plane flow 中明顯
- 血管彎曲處常信號較弱
 - Narrowing, pseudo-stenosis

45

45

切面方向的影響



Proximal anterior tibial artery branch 變窄？

46

46

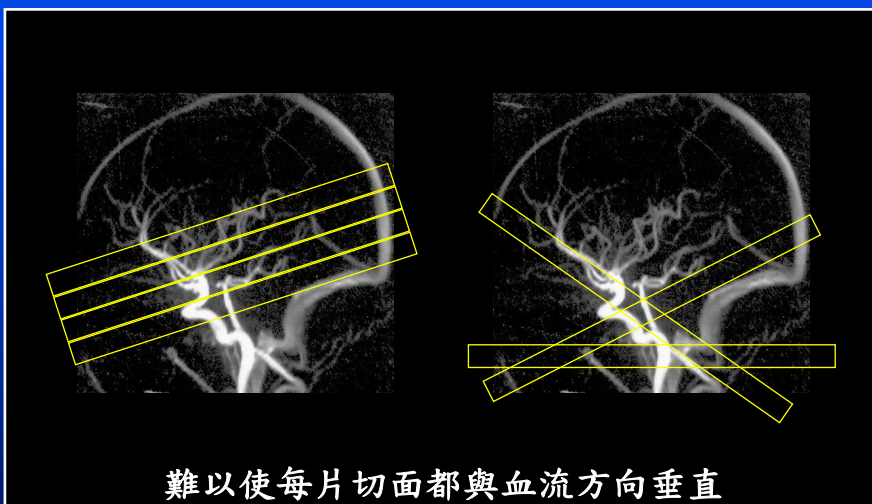
FRE 與切面方向

- 其實只需要在“入口處”垂直即可
 - 確保未飽和血液流入影像區
 - 流入後隨便你怎麼繞
- 3D slab 厚，易於處理

47

47

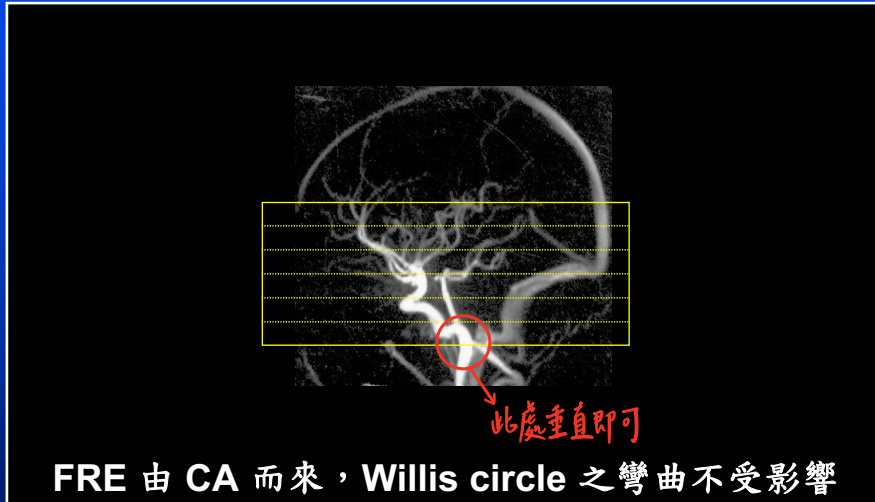
2D MRA 的 Slice 方向



48

48

3D MRA 的 Slab 方向



49

49

2D 與 3D 之比較

- ② • 2D：切面薄 --> 有利於 FRE --> 尤其適合較慢血流 (venogram)
- ② • 對 in-plane flow 不敏感
 - 典型範例：carotid arteries

50

50

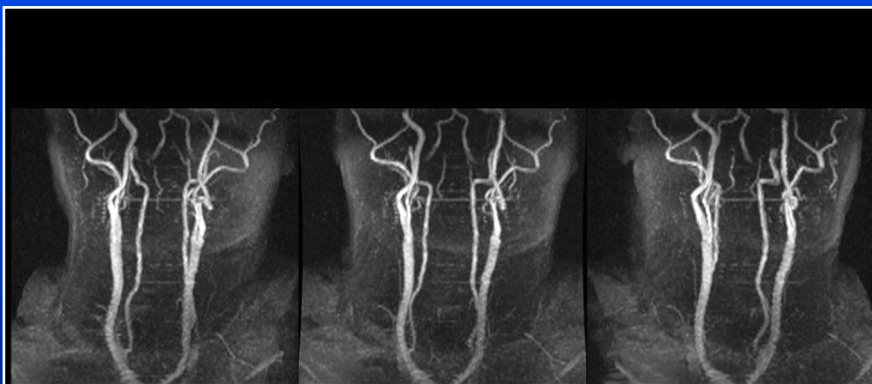
註：“較慢” ??

- 大約是指靜脈的流速
- 流速如果太慢就根本不會 enhance
 - 例：CSF
- 流速 ~ 相對於 TR 與 slice 厚度

51

51

2D TOF MRA



三個不同角度的 Carotid Arteries

52

52

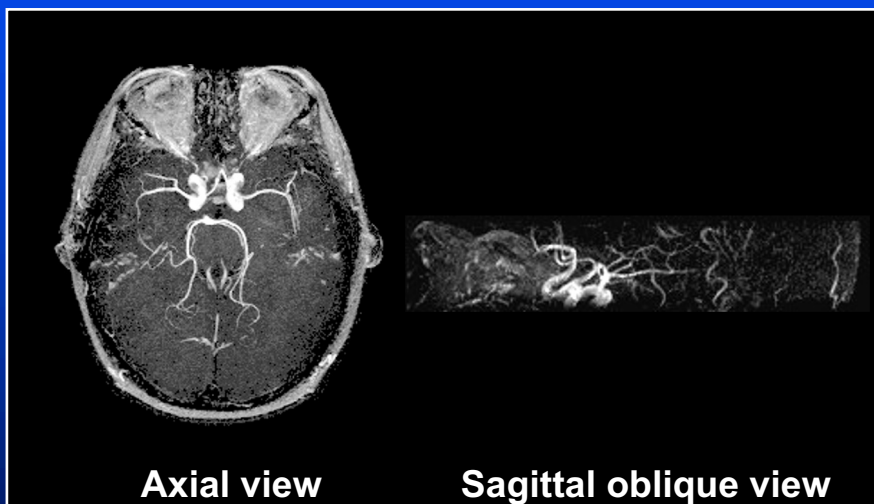
2D 與 3D之比較

- 3D：切塊厚，使 FRE 略遜於 2D
- SNR，解析度優於 2D
- 血管彎曲處之 FRE 差異不致太大
- 典型範例：circle of Willis

53

53

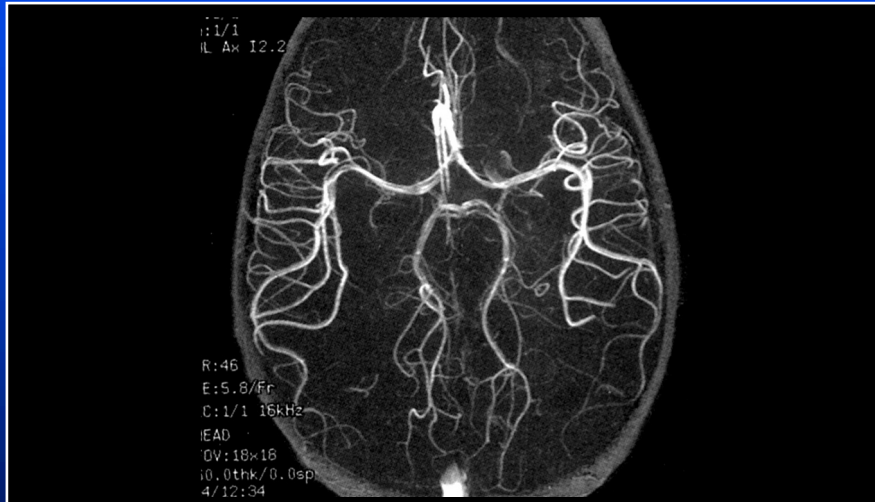
Circle of Willis 的 MRA MIP



54

54

現在常見的 3D Time-Of-Flight MRA



55

55

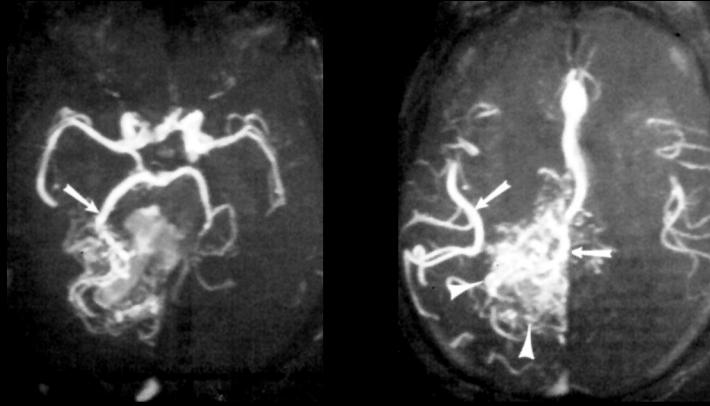
調和兩者的優缺點

- 又有彎曲，血流又慢 (例：AVM)
- 用數個較薄的 3D slabs 合成
- Multiple Overlapped Thin-Slab Acquisition (MOTSA)

56

56

Arteriovenous Malformation

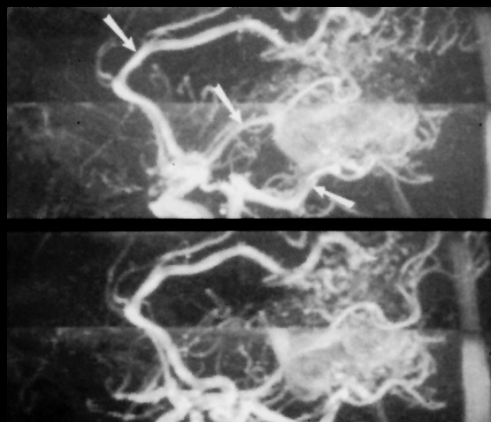


分為上下兩個 **slabs** 以增加慢血流可見度

57

57

MOTSA of AVM



AVM 的動脈與靜脈端均可 visualize

58

58

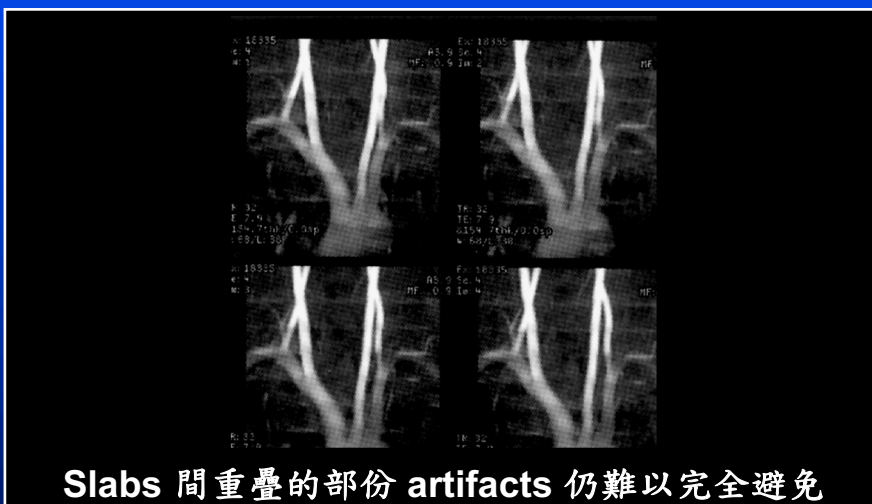
備註 (MOTSA)

- 已經商業化，多用於 aneurysm, vascular malformation
- Slab 間界線仍舊明顯
- 還不是十分完美

59

59

Multi-Slab 的小缺失



Slabs 間重疊的部份 artifacts 仍難以完全避免

60

60

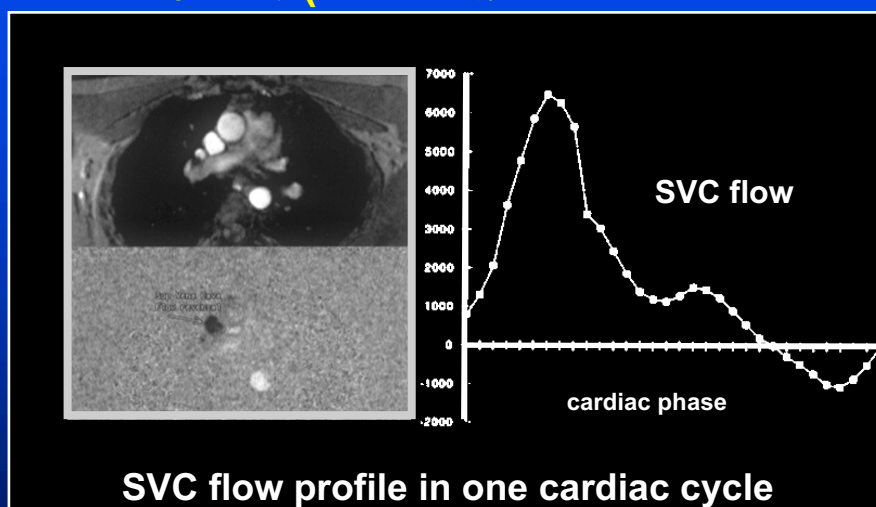
MRA 還沒結束 ...

- **Artifacts** : 流動 + 梯度 ~ 相角
 - 流動不均 --> 相角不一 --> 低信號
- 相角可以指示流速 ?
- 下次課程主題 : 相位對比 MRA

61

61

血流流速量測 (上腔大靜脈 reversed flow)



62

62

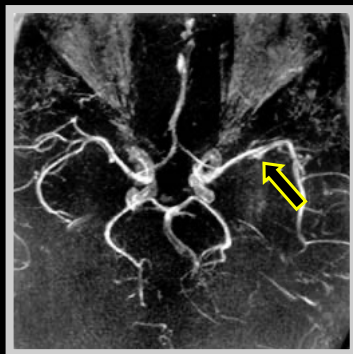
MRA 還沒結束 ...

- **Artifacts** : 脂肪蓋住血管
 - 脂肪 T1 短 → MRA 信號強
- 可否使血液 T1 減短 ?
- 進階課程主題 : 對比劑 MRA

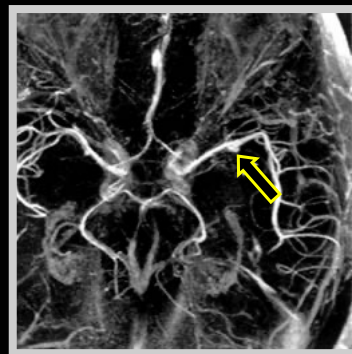
63

63

顱內的 CE MRA (Aneurysm)



TOF MRA



CE MRA

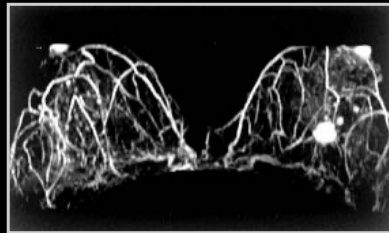
64

64

Body 的 CE MRA



GI MRA



Breast MRA

65

65

MRA 還沒結束 ...

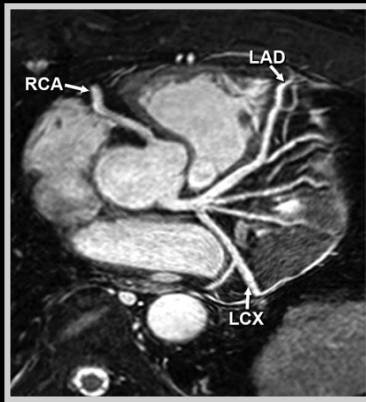
- 顯影劑的 NSF 風險
- 轉彎血管不適合 TOF MRA
 - 例：Renal arteries
- 進階主題：bSSFP MRA

66

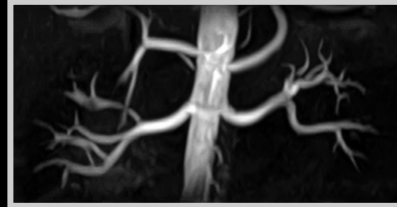
66

参考

bSSFP Non-CE MRA



冠狀動脈

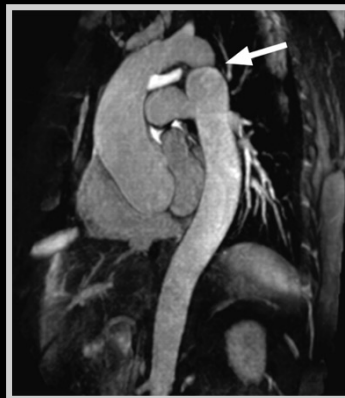


Renal Artery

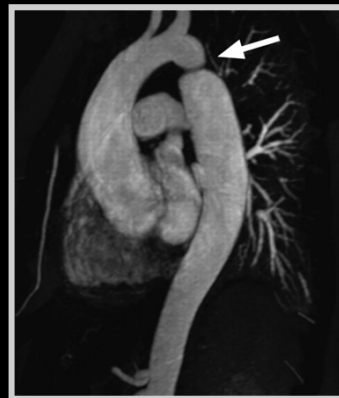
67

67

Thoracic Aorta MRA



bSSFP



CE-MRA

68

68

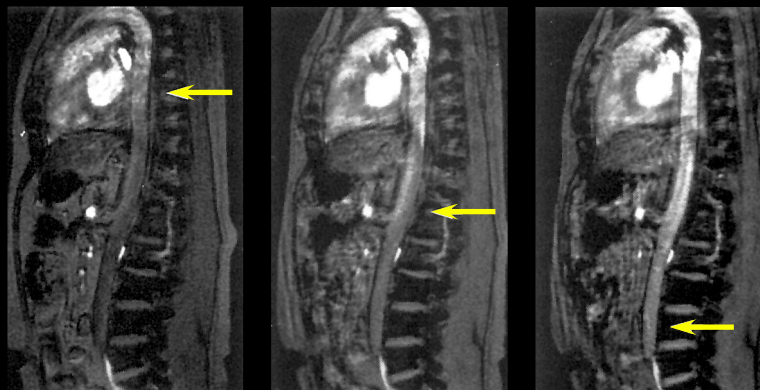
MRA 的戰國時代

- 只要臨床還沒完全滿意，就會繼續有新的研發
- 臨床是絕對不可能完全滿意的
- 好像學不完，唉 ...

69

69

FRE 在血管上游和下游的差異



TR = 20

TR = 40

TR = 80

70

70