

EPI SSFPの基礎

聖マリアンナ医科大学病院

川上 浩二

本日の内容は経験のある皆様には少々退屈な話となってしまうかもしれませんが私がMRIを始めて間もない頃特によく分らなかった領域がEPIとSSFPでした。

EPIってなんだろう??

SSFPってどんなシーケンスなんだろう??...

contents

EPI

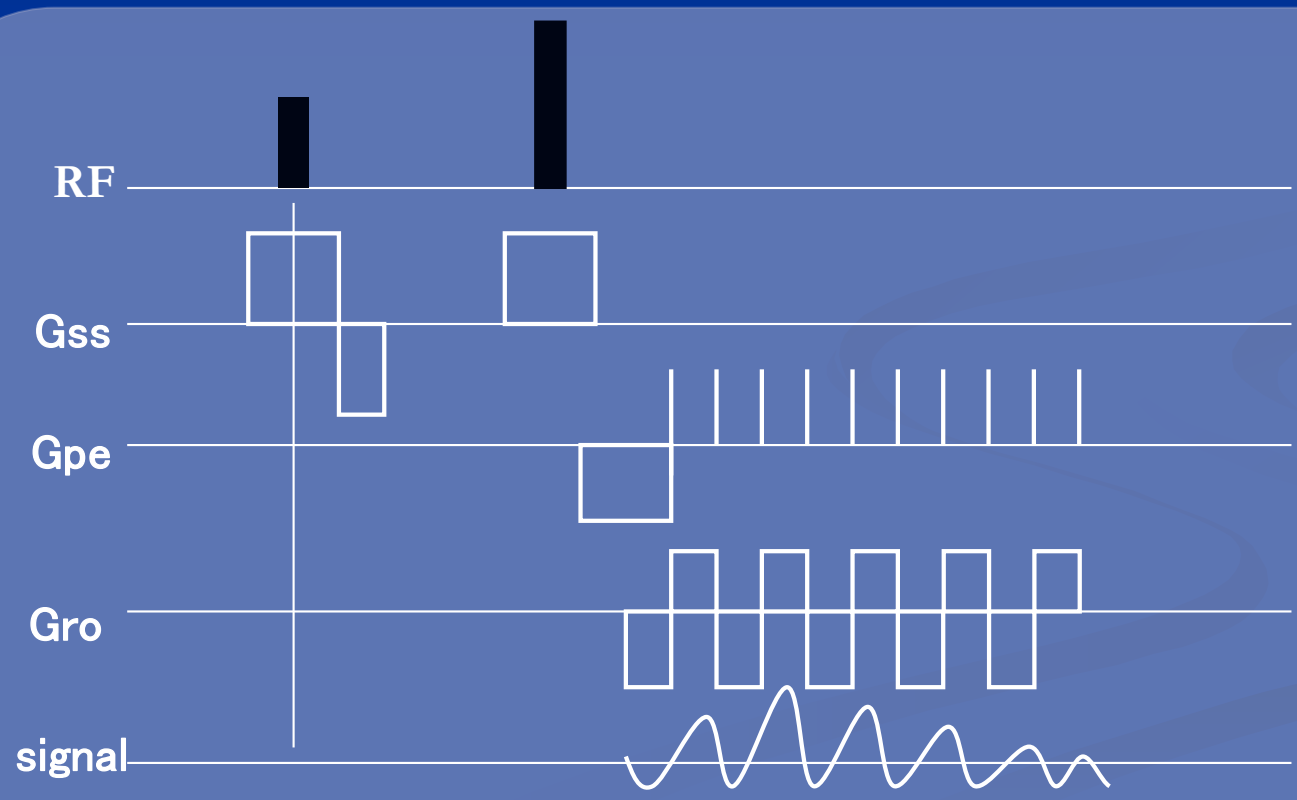
- EPIとは？？
- EPIの種類と性質
- EPIの特徴
- シングルショットEPIとマルチショットEPI

SSFP

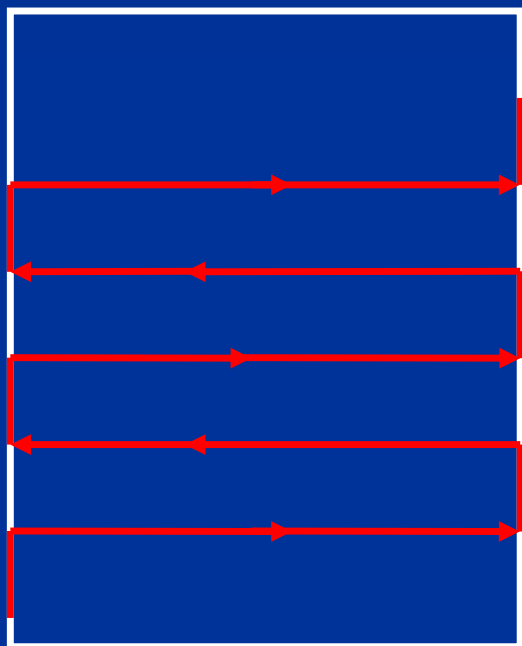
- SSFPって？？
- balanced SSFPとは？？
- balanced SSFPって難しい・・・
- balanced SSFPの特徴

EPIとは？

EPIとはecho planar imagingと言われるパルスシーケンスで高速撮像法の1つです。



EPIのK-space軌跡



Gro反転時に一定の強さのGpe (blippulse) を短時間印加させる。

正のGroで右に進み端でblippulseで上の行にジャンプし、次の負のGroで左方向に進み各行を水平に進み信号収集する。

EPIの種類と性質

FID-EPI

GRE-EPIとも呼ばれ励起RF Pulse後からechoを取得する方法。各信号のピークは $T2^*$ 減衰を示します。

fMRI、ASL、Perfusion(PWI)・・・etc

SE-EPI

励起 90° Pulse 後に 180° 再収束Pulseを印加しSEからecho信号を取得する方法。各信号のピークは $T2$ 減衰を示します。現在使用されている拡散強調画像などでは一般的にこちらが用いられています。

そもそもEPIって拡散強調画像(DWI)でよく使われるけどなぜEPIなの??

組織の拡散の度合いを表すDWIは組織(ボクセル内)の微小な水分子の動きを対象としているので心拍、呼吸などの生理的な動きに影響を受けない高速信号集法が必要となってきたのです。

EPIの特徴

- アーチファクトが多い
ケミカルシフトアーチファクト、磁化率アーチファクト
N/2アーチファクト
- 空間分解能が低い
なんとなくボケてる画像だな～
- TE平均化とT2フィルタリング
どっかで聞いたことあるかも・・・
- 高速撮像できる。
EPI最大の特徴です。

ケミカルシフトアーチファクト

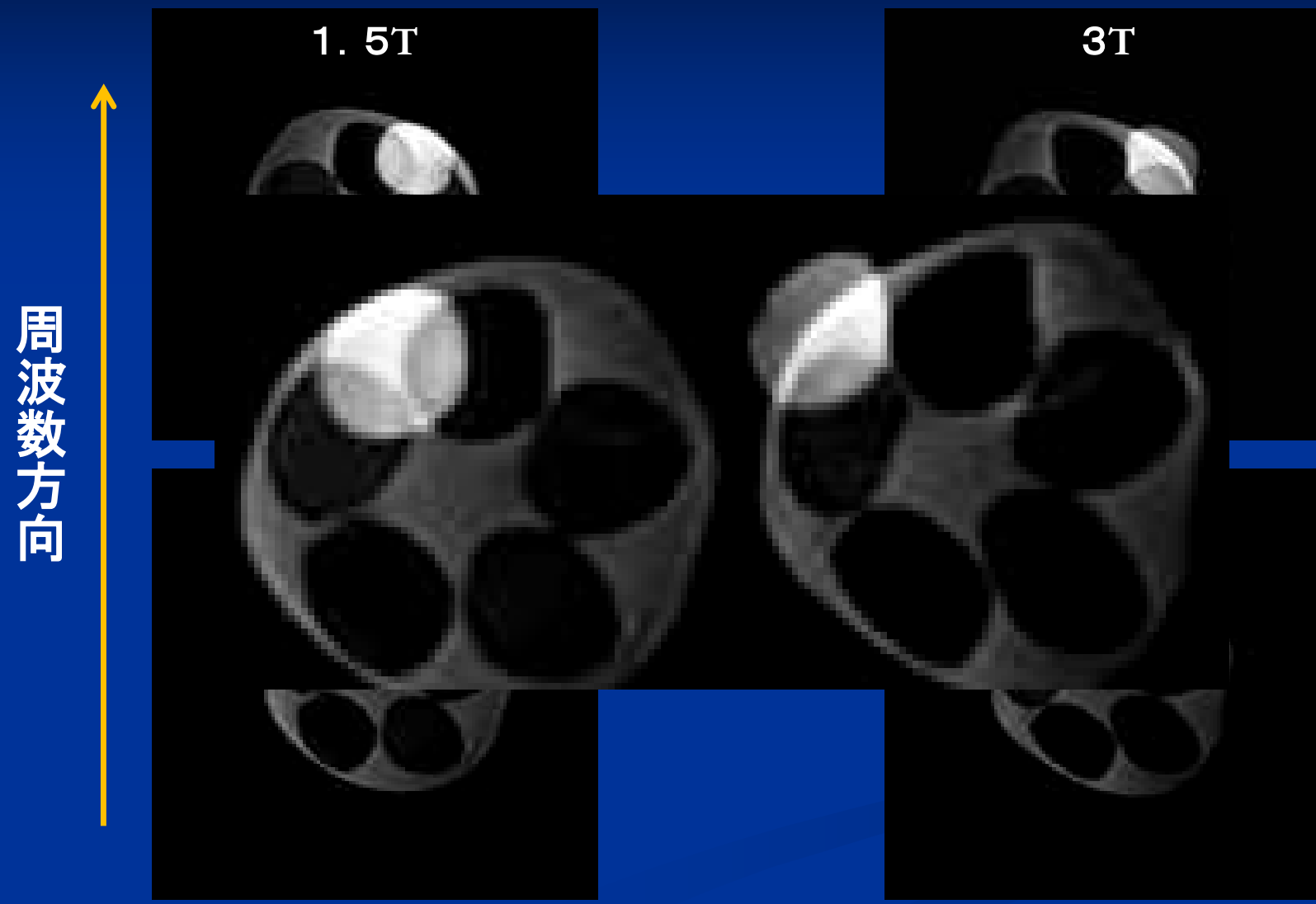
水と脂肪の共鳴周波数差により発生します。
通常は周波数方向に発生するがEPIでは位相方向に
顕著に発生します。

なぜ？？？...

SEやGREシーケンスなどでは位相エンコードステップがTRごと独立しているので、各ステップの終わりには元の状態に戻っているかT2もしくはT2*緩和により完全に位相分散され次のTRには持ち越されないようになっています。

ですが...

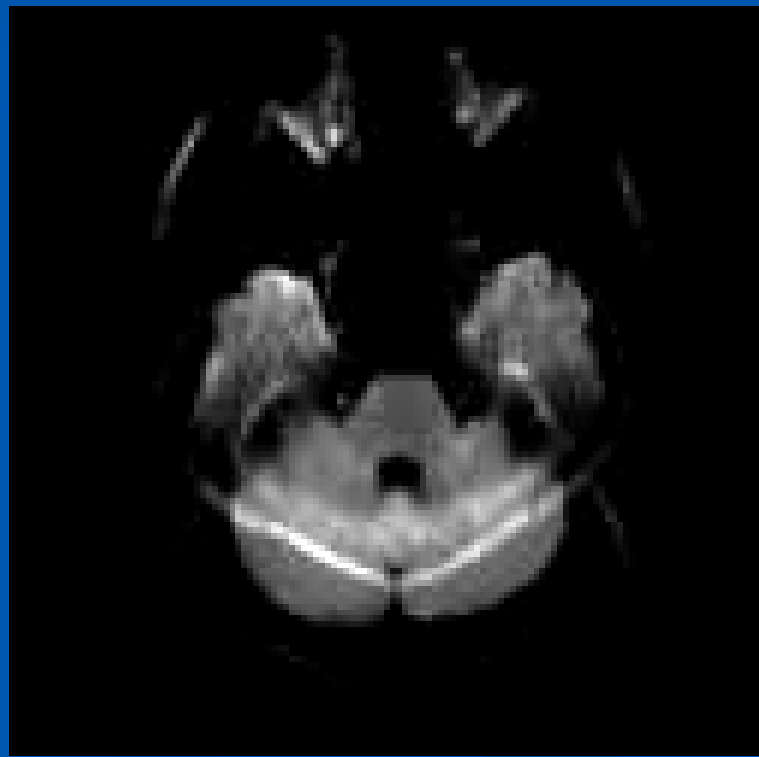
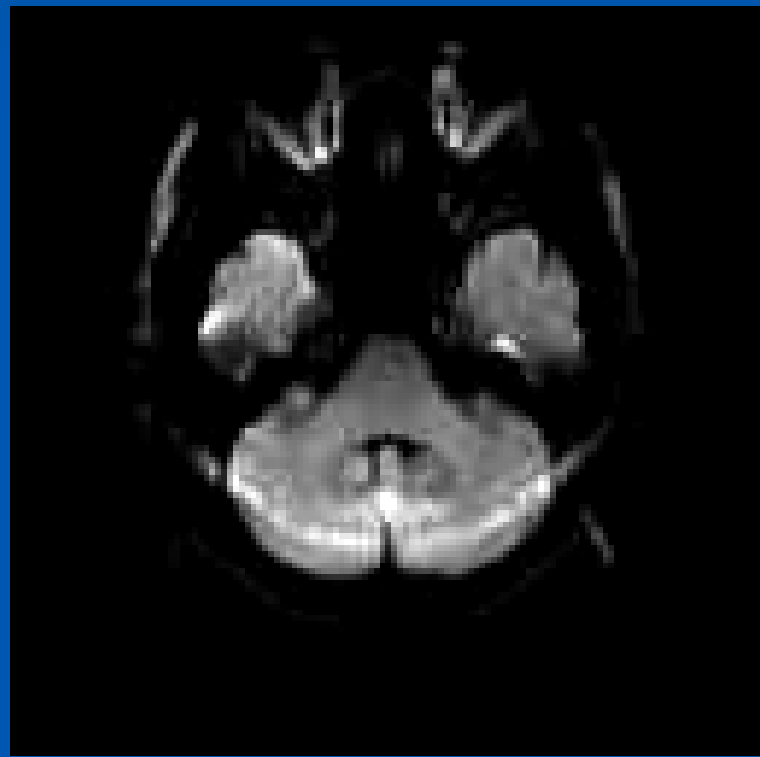
EPIのような短時間で高速に位相エンコードを行うようなシーケンスでは各ステップでの位相差が蓄積され、位相方向にケミカルシフトアーチファクトとして出現してしまいます。



1.5T

3T

位相方向



周波数方向

3T 128x128 SENSE4



なぜ周波数方向には出ないの??

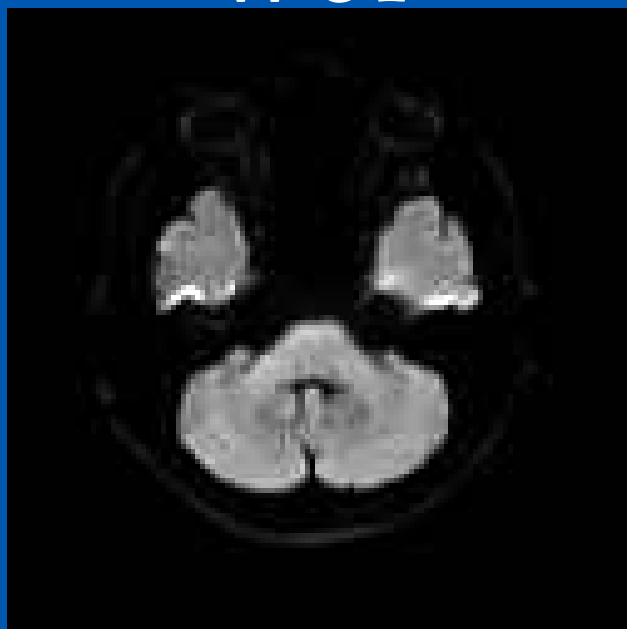
通常EPIにおけるBWは広めに設定されています。
またEPIにおけるサンプリング間隔は μ オーダー
と短かくなっているため1ボクセル内に水と脂肪の
周波数差を閉じ込めてしまい周波数方向に現れな
くなっています。

$$BW = 1 / \text{サンプリング間隔}$$

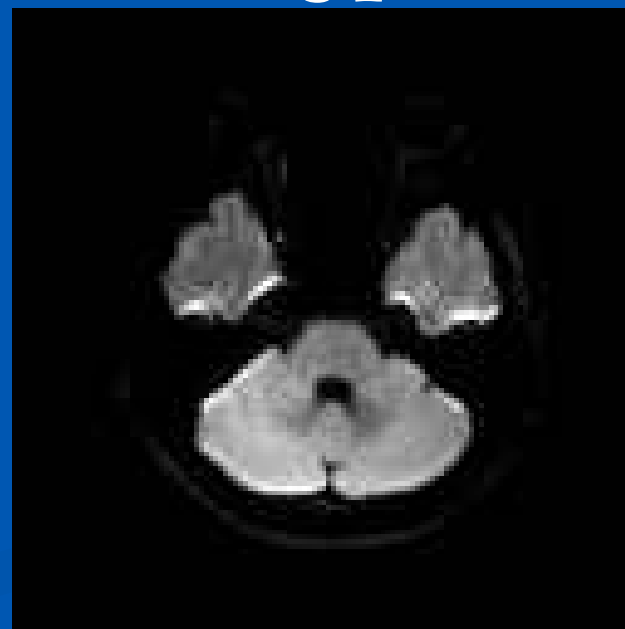
磁化率アーチファクト

EPIは磁化率や磁場の不均一にとっても敏感で、頭蓋底や副鼻腔などの空気が接する領域では磁化率効果となって顕著に表れます。

1.5T

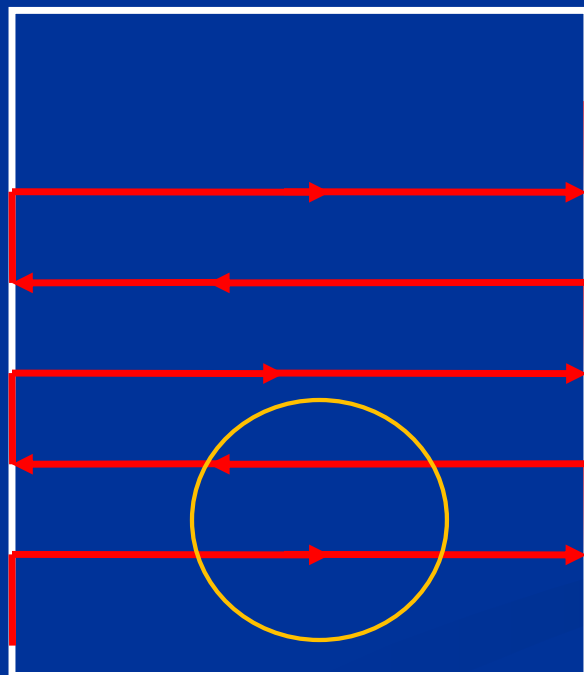


3T



N/2アーチファクト

K-space内でGroが正の信号と負の信号の位相が完全に対象でないことやeddy current等の影響で誘発されるアーチファクトです。



行きと帰りの位相が微妙にずれることにより発生。

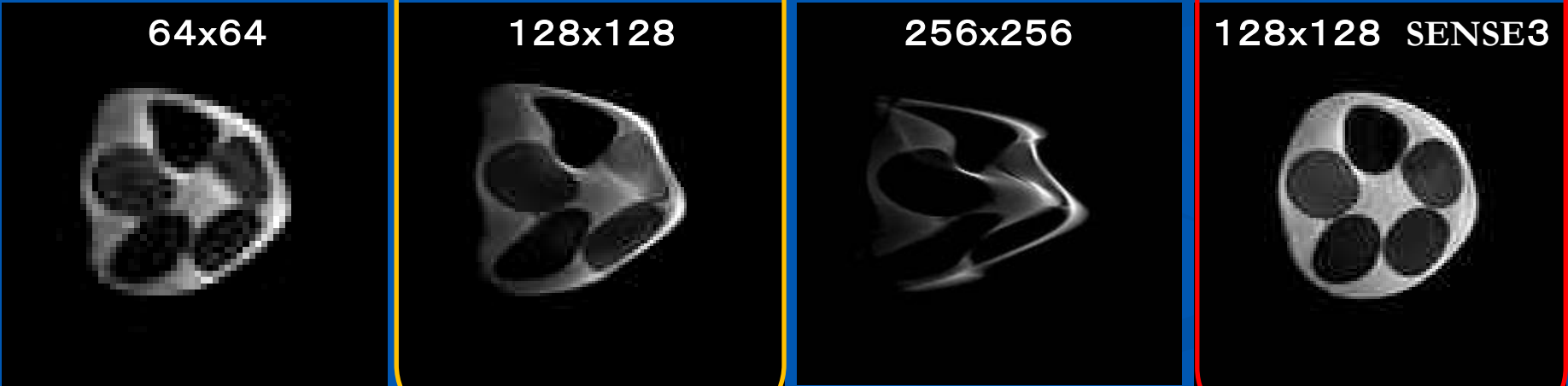
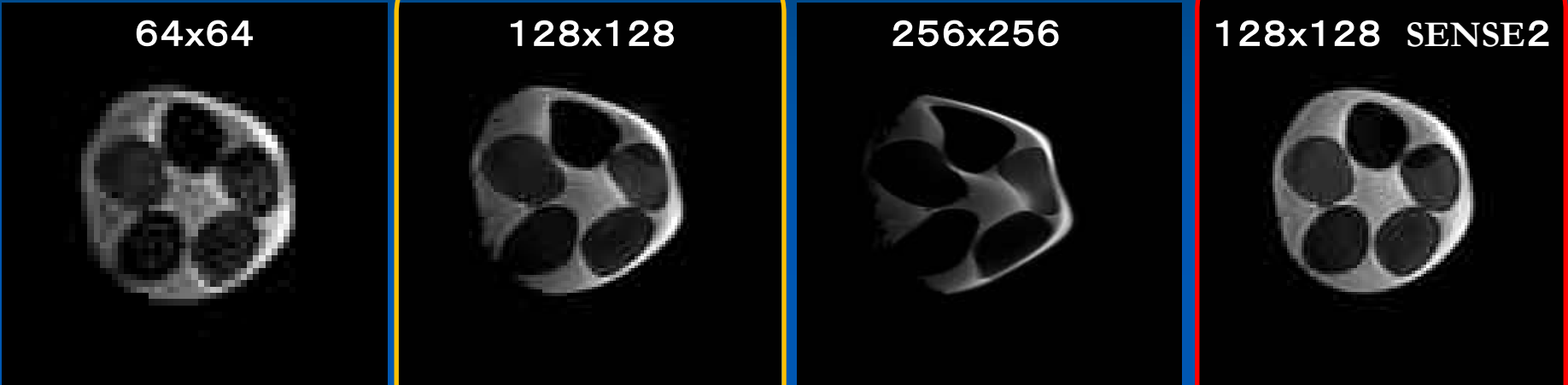
分解能が低い

EPIではBWが広めに設定されておりS/Nが低く、FOVを小さくすることが難しいシーケンスです。

空間分解能を上げるためにMatrixを大きくすると撮像時間の延長や歪みなどが発生してしまい高分解能化が困難なシーケンスなのです。

近年ではParallel imagingなどを利用し位相方向エンコードを間引くことで歪みを低減させる手法を積極的に用います。

1. 5T



3T

シングルショットEPIとマルチショットEPI

シングルショットEPI

1つの励起RF Pulse後にすべての信号を収集します。
今までお話した撮像法で、一般的にこちらを使用します。

マルチショットEPI

シングルショットEPIの欠点を補うために生まれました。
高分解能化や歪みの影響を抑える撮像法ですがMulti shot
化により体動やSN低下などの問題も発生してしまいます。
最新MRIでは位相ナビゲーションを用いたreadout-segmented EPI
などのマルチショットEPIが登場しています。

第24回神奈川MRI技術研究会

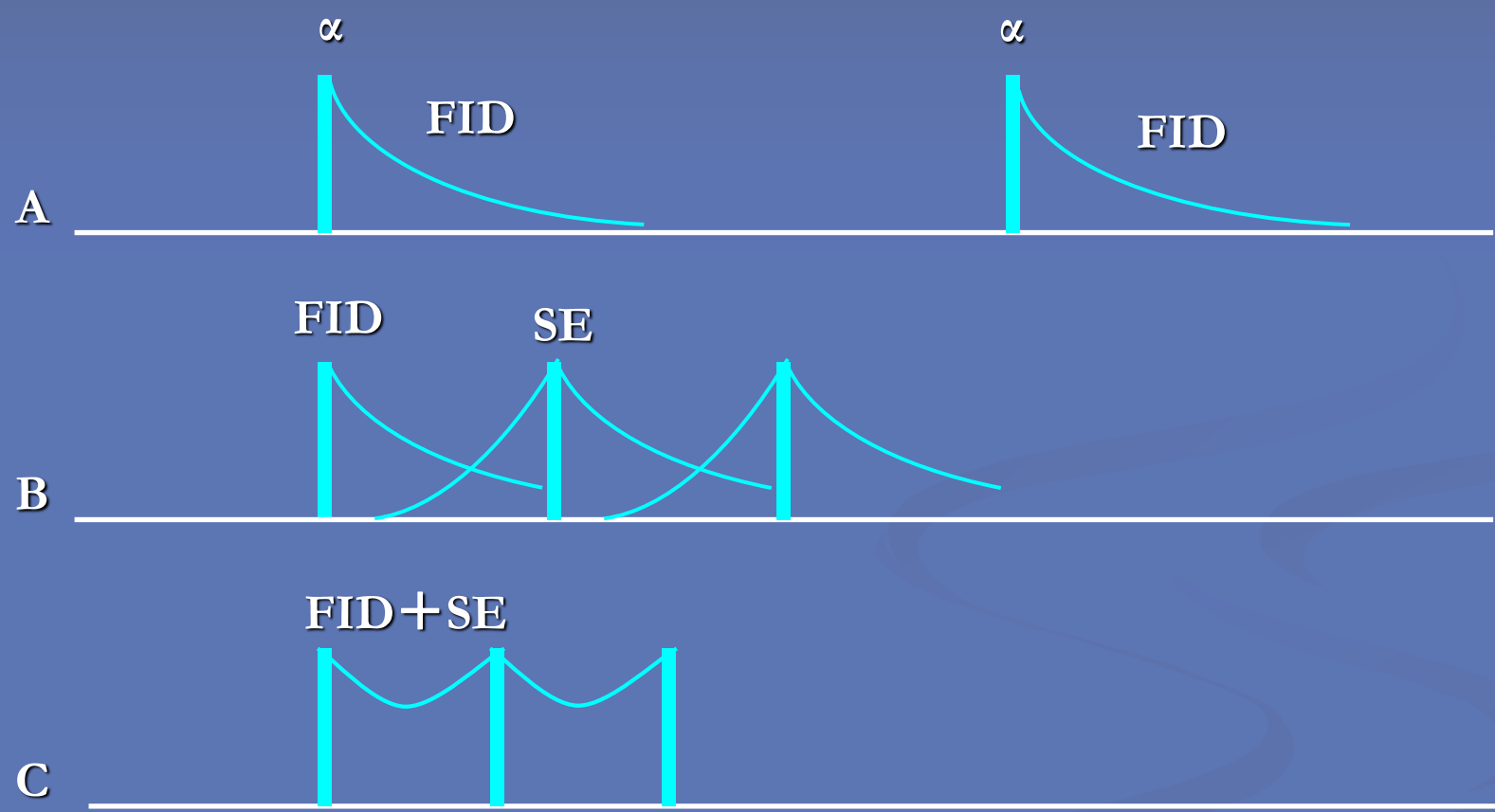


St. Marianna Univ. School of Medicine Hospital

SSFPって??

SSFPとは定常状態自由歳差運動と呼ばれる現象で、通常TRが $T2^*$ より十分に長ければ次のRF Pulseが印加されるまでには横磁化は消失しています。しかしTRが $T2^*$ と同程度以下であれば次のRF Pulse印加時には横磁化が存在します。

この横磁化が存在することで多数のechoが形成されます。
この状態を定常状態自由歳差運動と呼んでいます。



細かくなりますが...

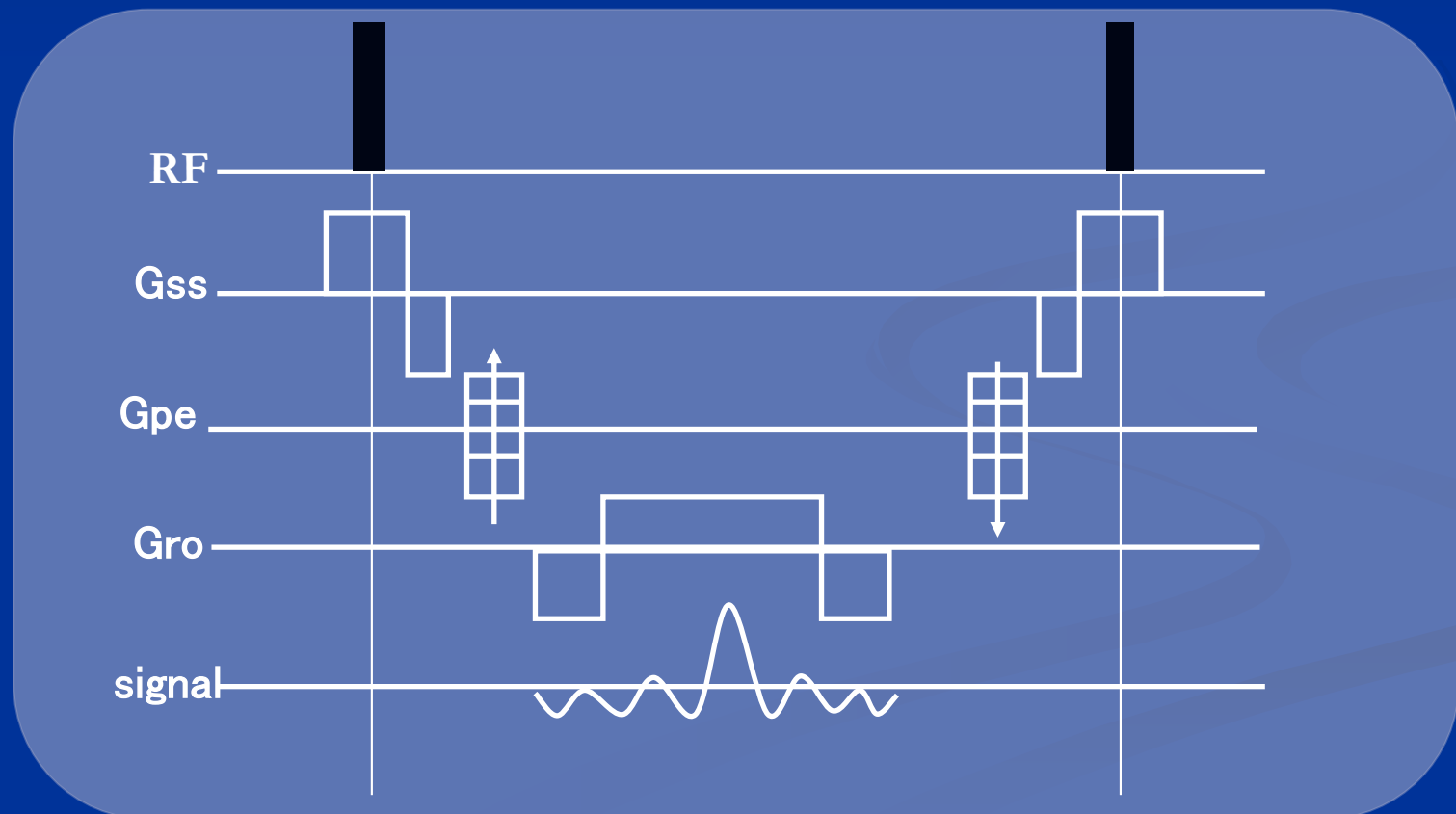
SSFPは別名unspoiled GRE、choerent GREなどと呼ばれ高速GREシーケンスの1つとなります。

またこのSSFPシーケンスは装置メーカーで様々な名前が存在し中でもFID、SE、STE信号同時収集し利用するシーケンスをbalancedシーケンス(balanced SSFP)と呼びます。

また定常状態移行期においても信号が安定するように最初にフリップアングル($-\alpha/2^\circ$)を付加します。

balanced SSFPとは??

Balanced SSFPとは3方向の傾斜磁場が1TR内で正負のバランスがとれているSSFPシーケンスを指します。



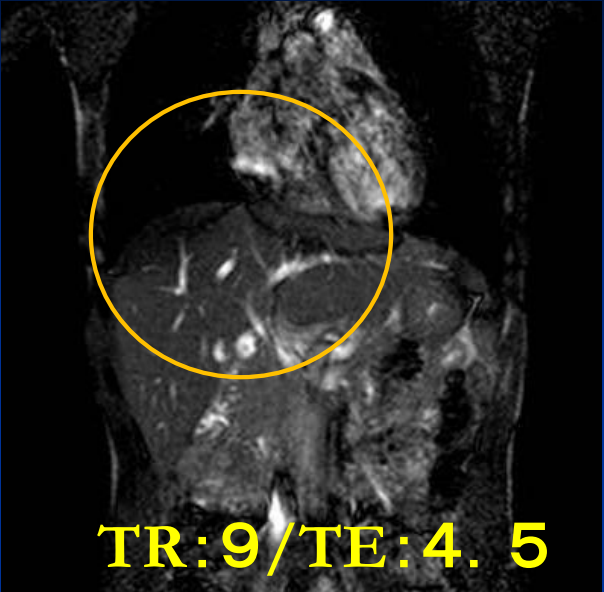
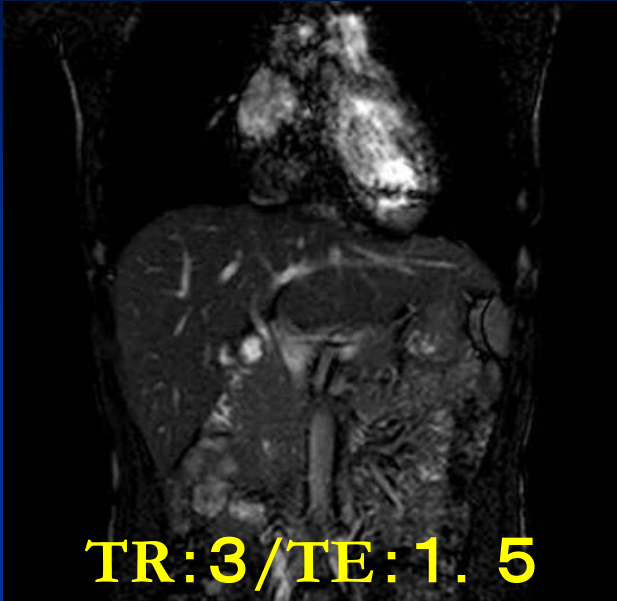
balanced SSFPって難しい・・・

良好な画像を取得するには

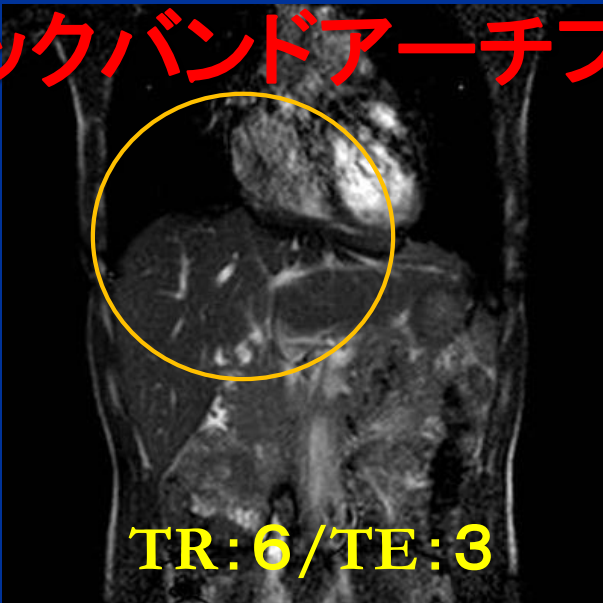
1. RFの位相が正確
2. 3軸の傾斜磁場が完全にリフェーシングされている。
3. B_0 の均一性が高い
4. 静磁場シミングが正確
5. TRの短縮(数ミリ程度)

・・・etc

このようにbalanced SSFPは装置の高いスペックが要求されます。



ブラックバンドアーチファクト



3T



TR:3/TE:1.5



TR:6/TE:3



TR:9/TE:4.5

balanced SSFPの特徴

balanced SSFPシーケンスでの定常状態における信号強度は $T2/T1$ とFAに依存します。 $T2/T1$ が最も大きいのは自由水なのでMRCPなどのhydrographyや血管内が高信号になることからMRAなどにも利用されます。

なぜ血管信号が高信号になるの??

1TR内で3軸の傾斜磁場が完全にリフェーシングされるので3方向における流速補償が成立します。
なので血管内の位相分散が抑えられ高信号になります。

balanced SSFPの信号強度(S)は

$$S = \frac{Kf(v)\rho \sin\alpha}{(T1/T2)(1-\cos\alpha) + 1 + \cos\alpha}$$

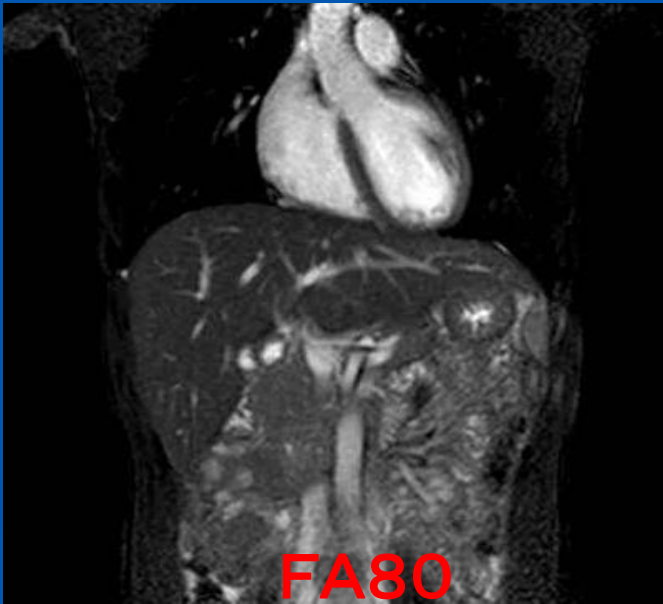
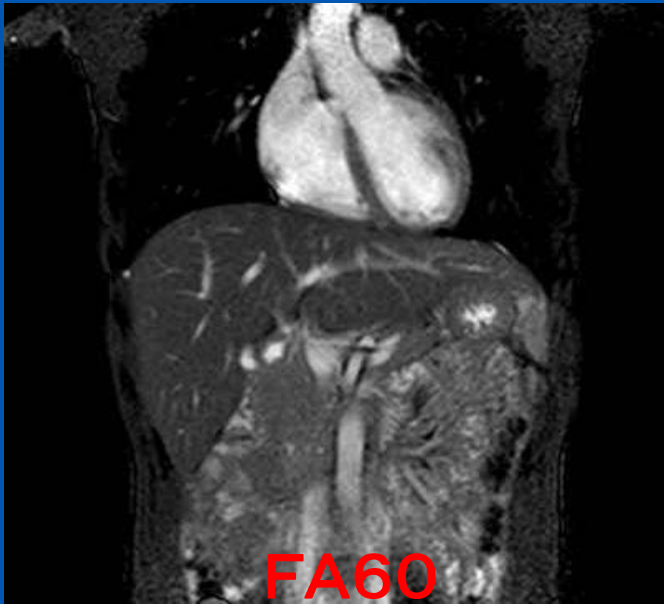
K: 比例定数

Kf(v): 流速因子

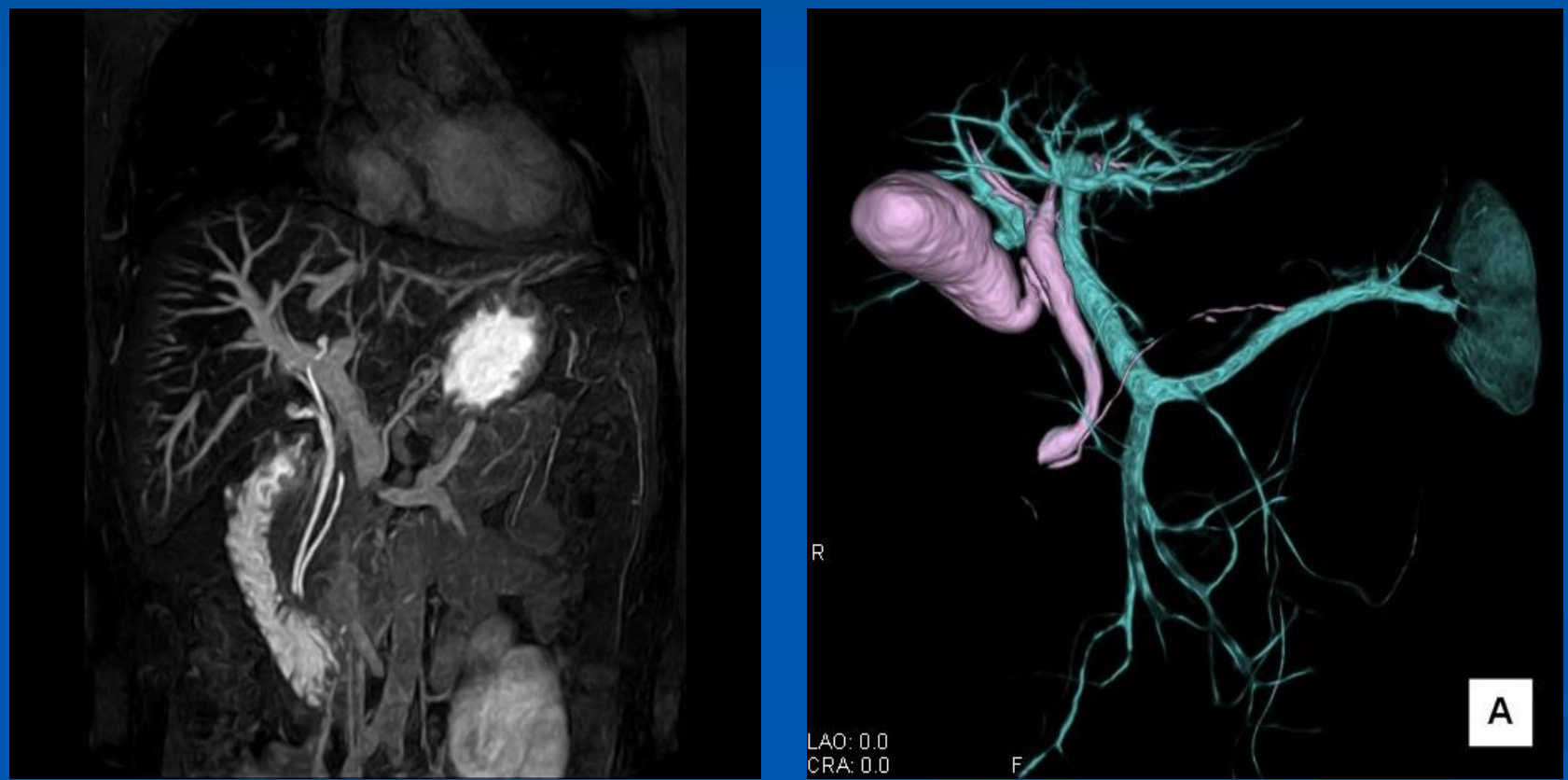
ρ : H原子核密度

Ex) α が 90° の場合: $(1 - \cos\alpha) \rightarrow 1$ $\sin\alpha \rightarrow 1$

第24回神奈川MRI技術研究会



3D balanced-TFE



今回EPIとSSFPについてお話させて頂きました。
MRを始めた頃の頃は日々の検査に追われてなかなか原理の部分まで理解が至らないことと思います。
本日の内容はMRの基礎であり、MRの入り口だと思います。
更に詳しい原理や今回物足りなかった部分に関しては参考書やセミナーなどで理解を深めて頂ければと思います。

謝辞

神奈川MRI技術研究会幹事の皆様

聖マリアンナ医大画像センター MRI室スタッフ一同