

第30回 神奈川MRI技術研究会 2015.7.17

拡散強調画像の 撮像の工夫と実際

国家公務員共済組合連合会 横浜栄共済病院
診療技術部 放射線技術科
高橋光幸 平野謙一 鈴木圭一郎 青木孝枝

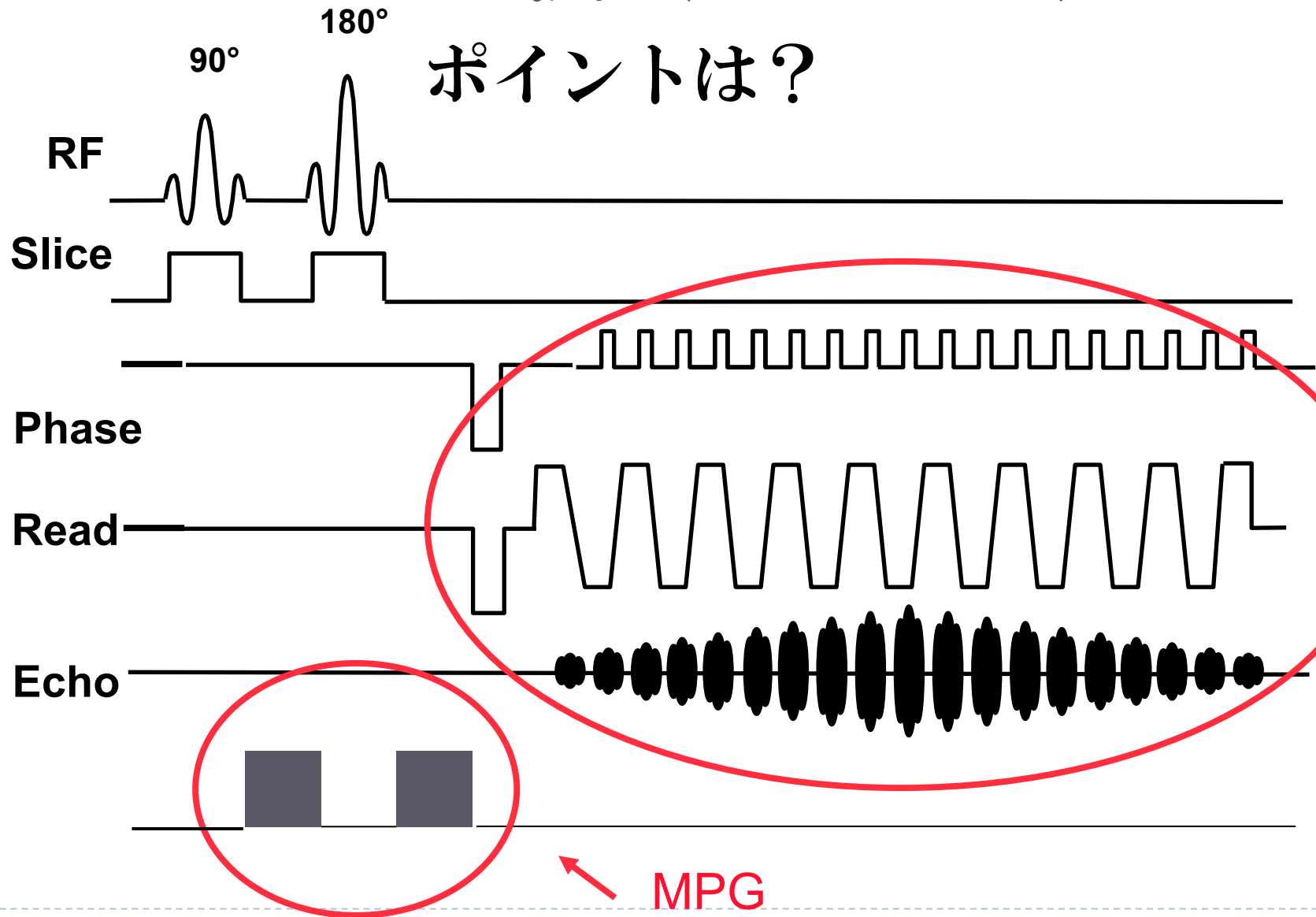


この発表の内容に関する利益相反事項は、

☒ ありません

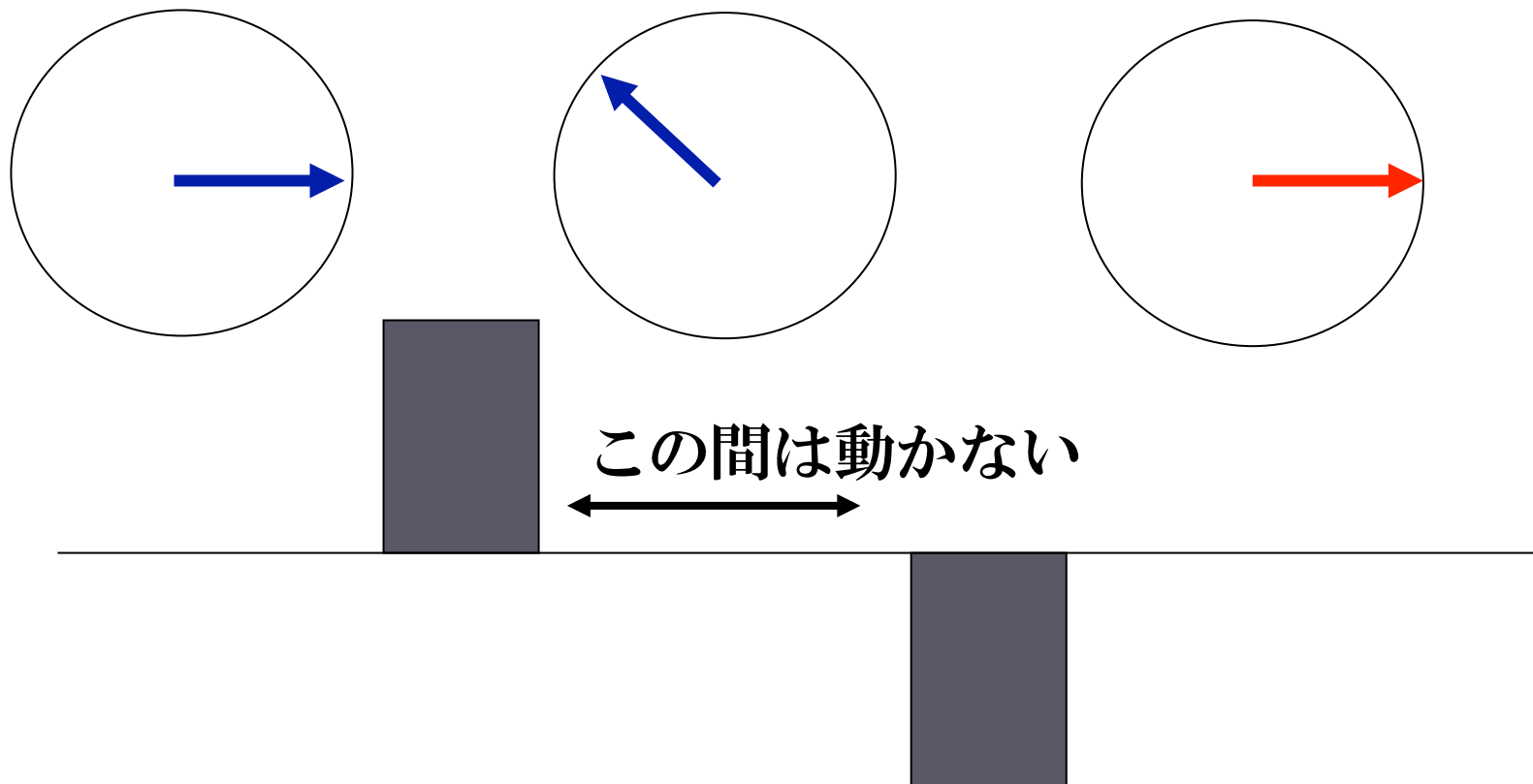


EPI-DWI法 (Diffusion)



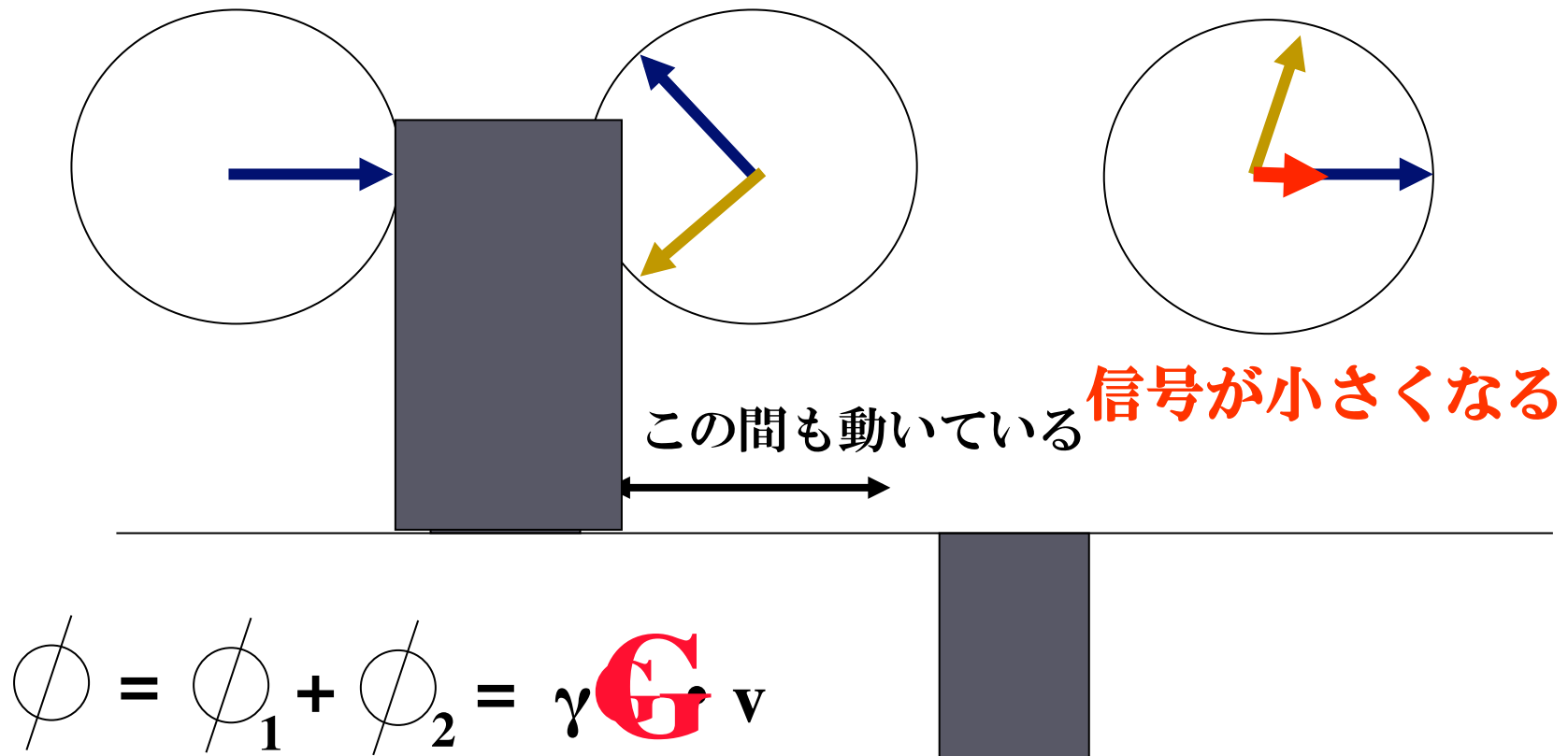
MPGパルスの効果

動きのないもの



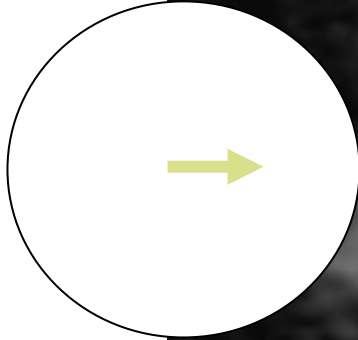
MPGパルスの効果

動きのあるもの

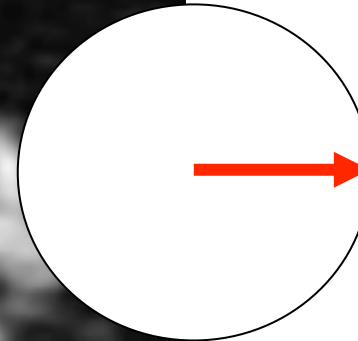


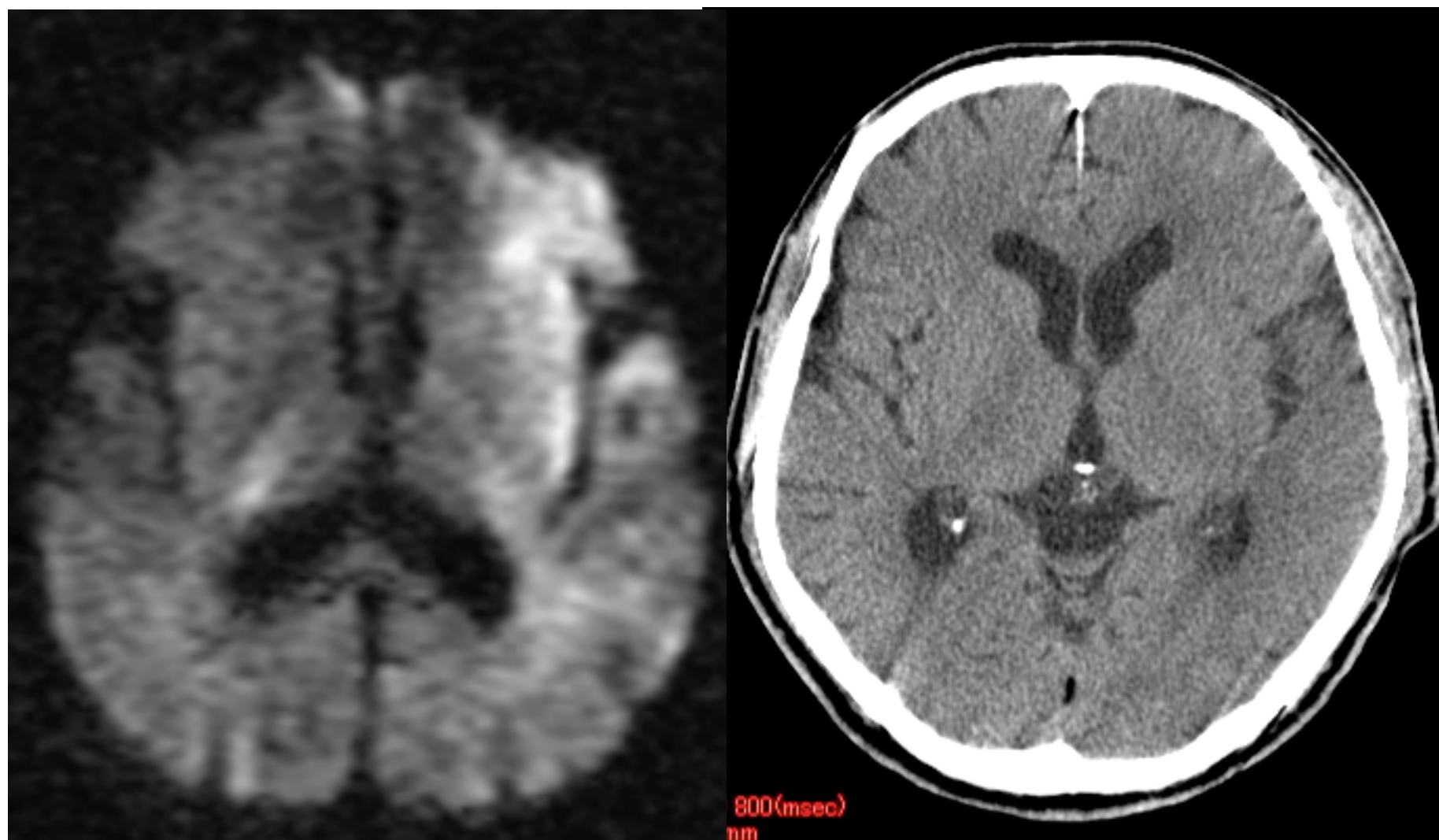
信号強度の解釈

正常は
信号が低い

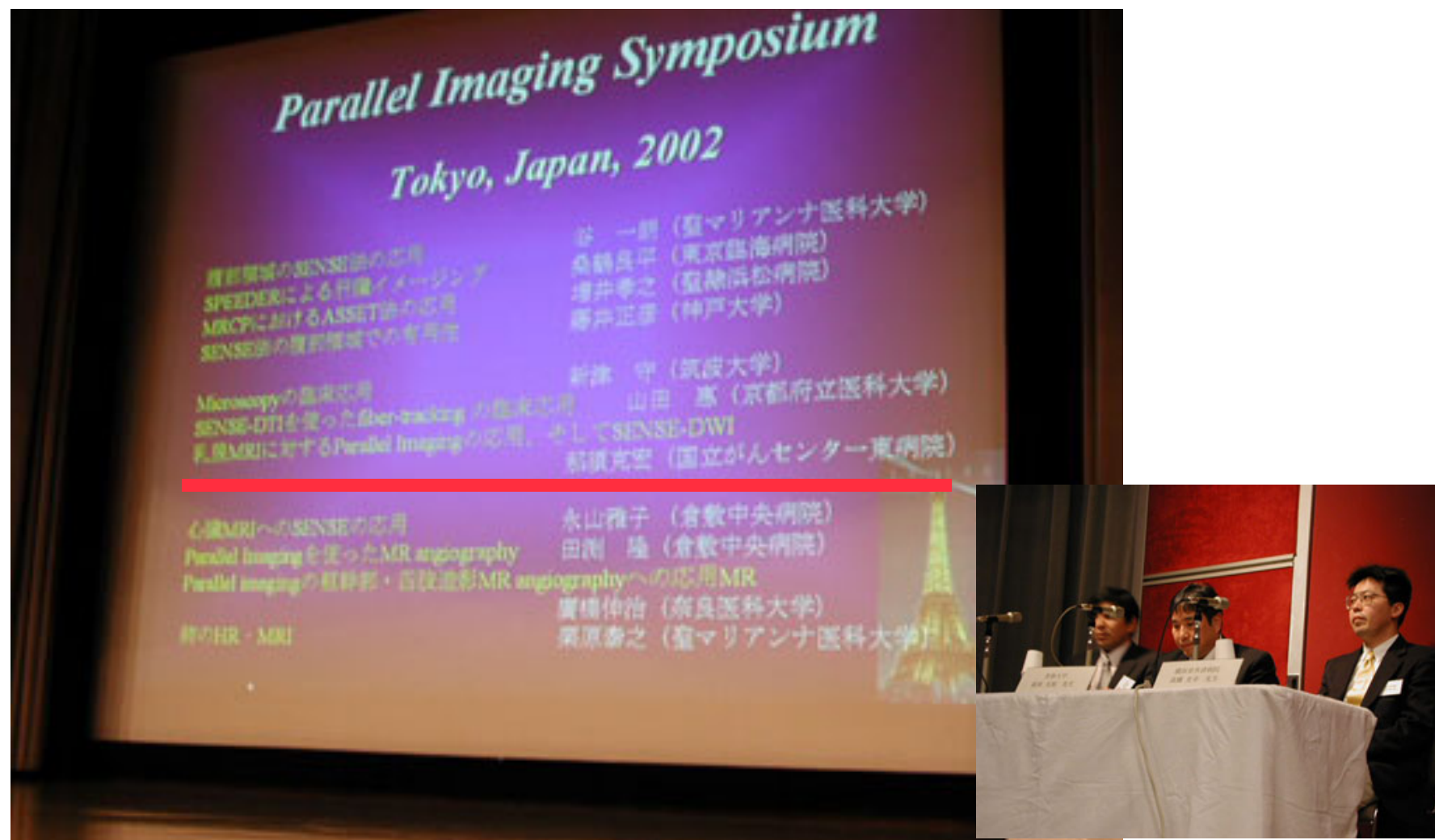


異常は
信号が高い



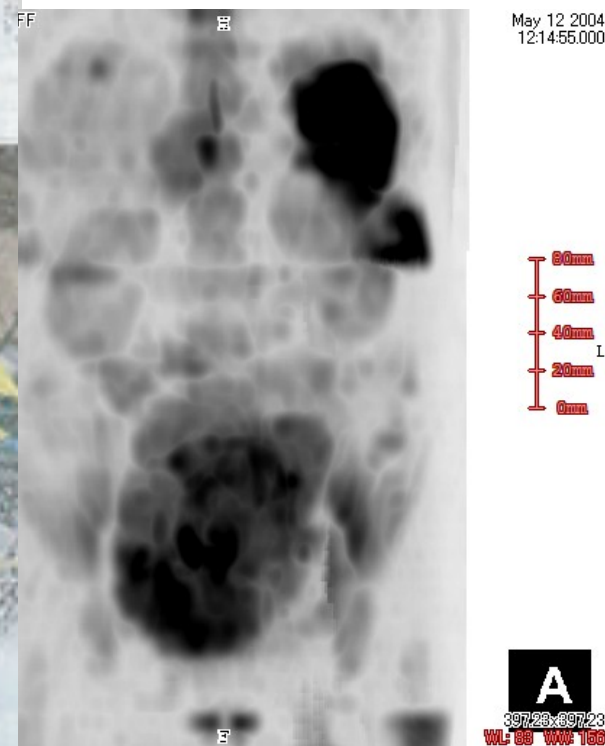


2002.11(約13年前)：衝撃的な講演



DWIE

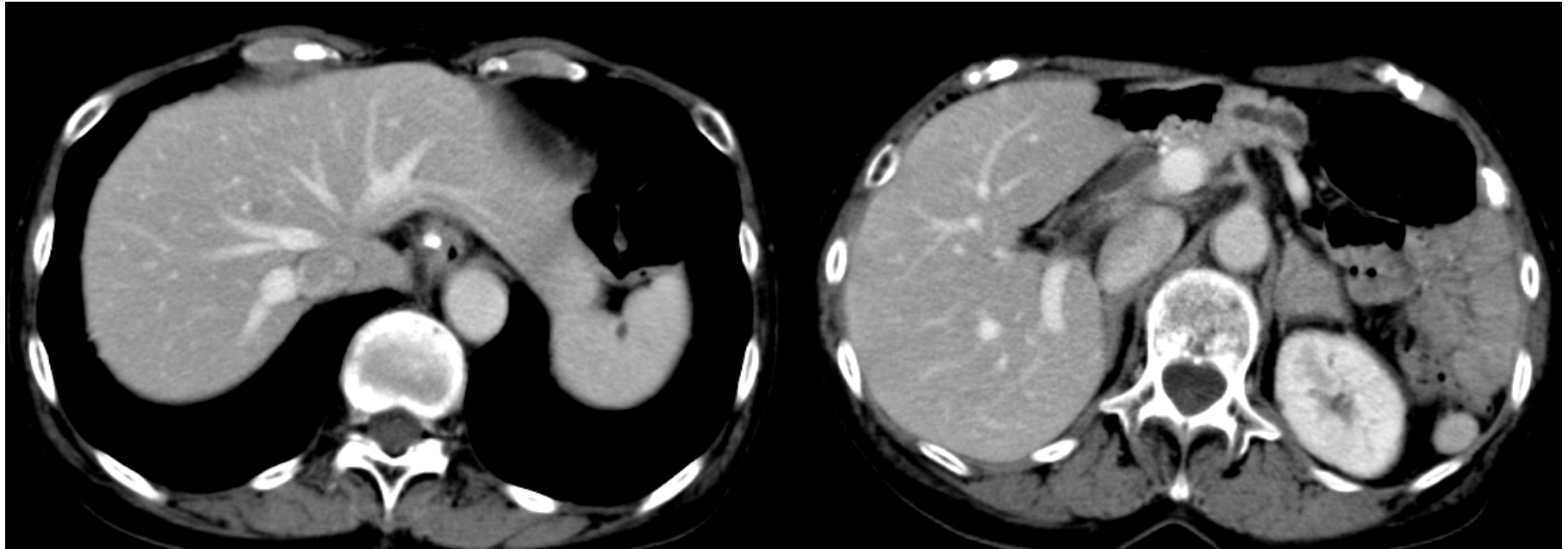
5.3)



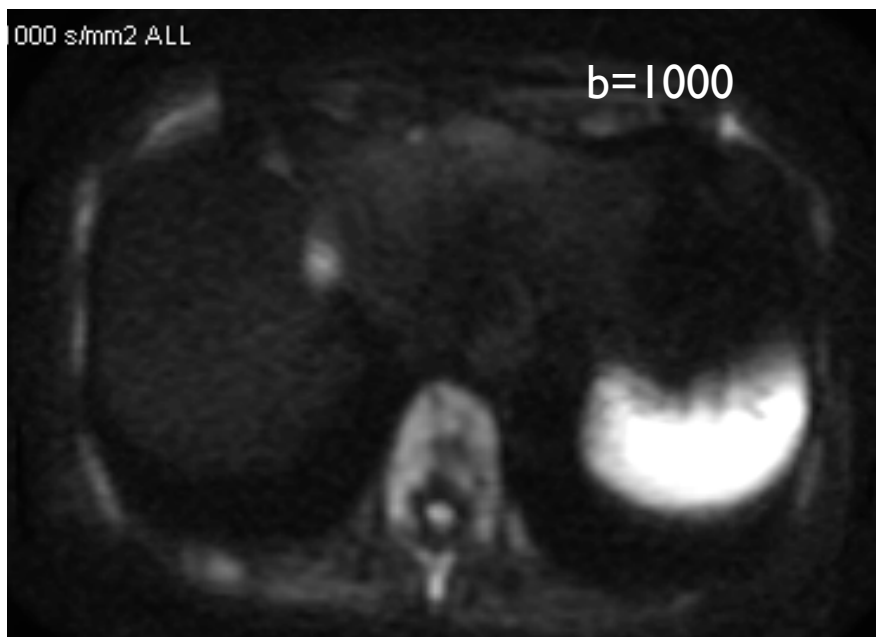
Diffusion Weighted Who
Suppression

round Body Signal

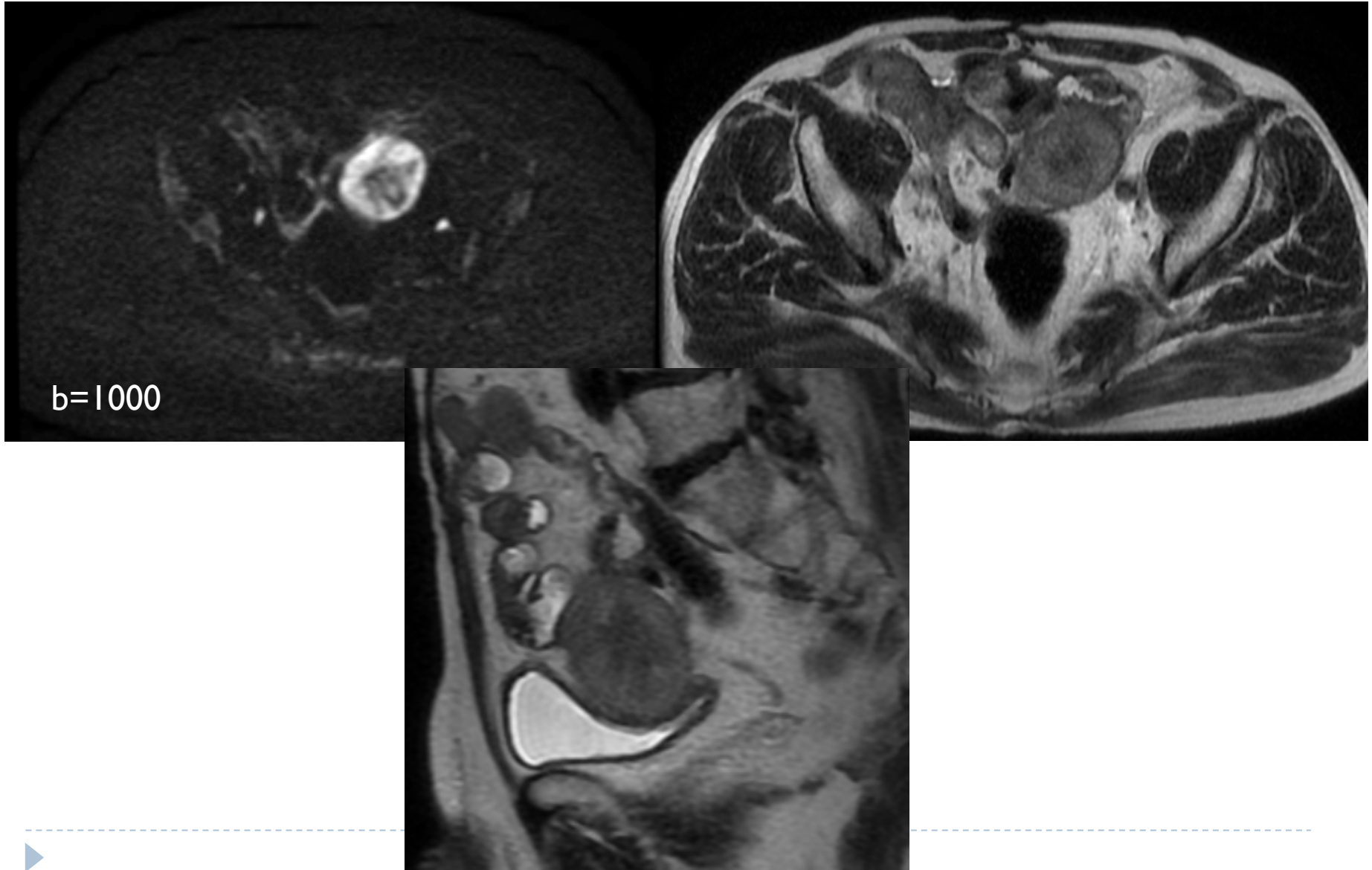
現在では

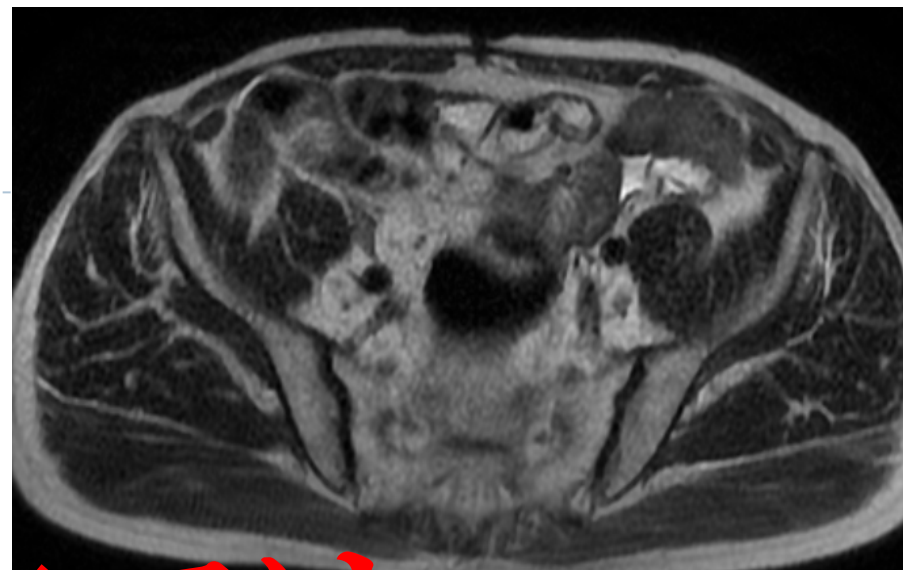
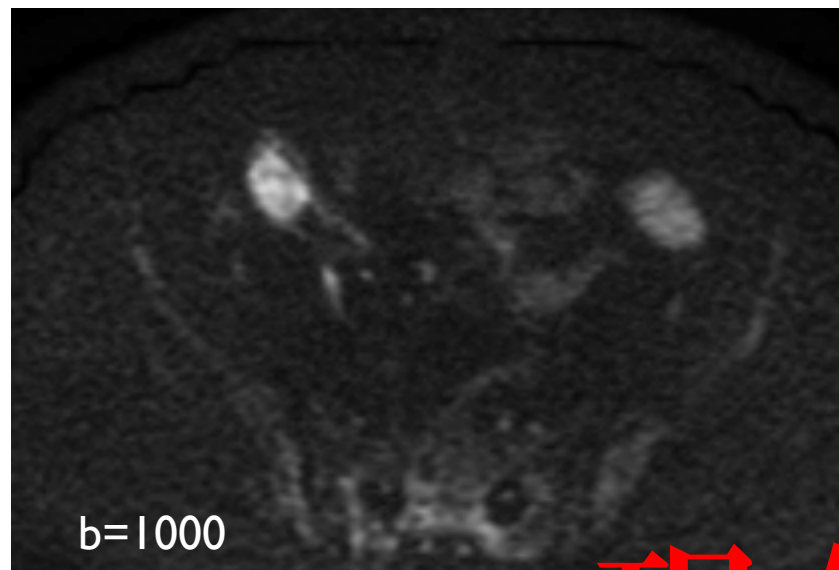


現在では

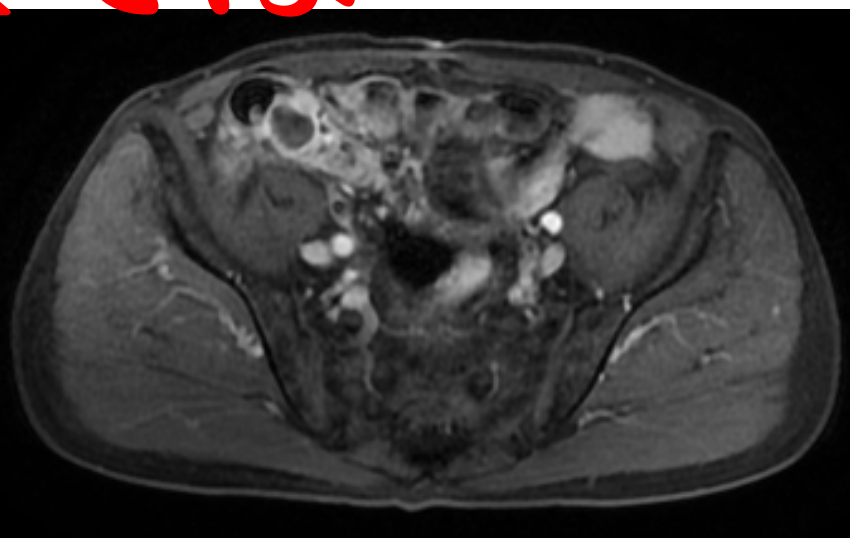
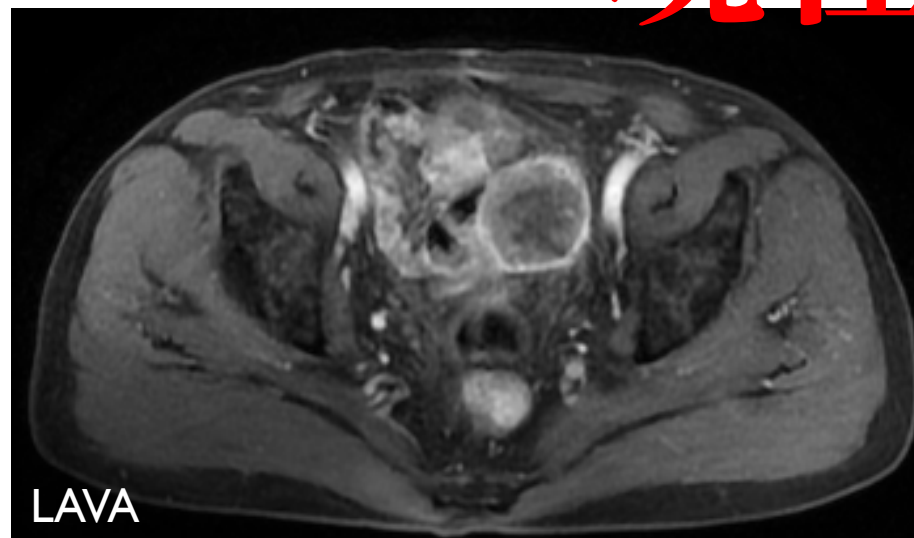


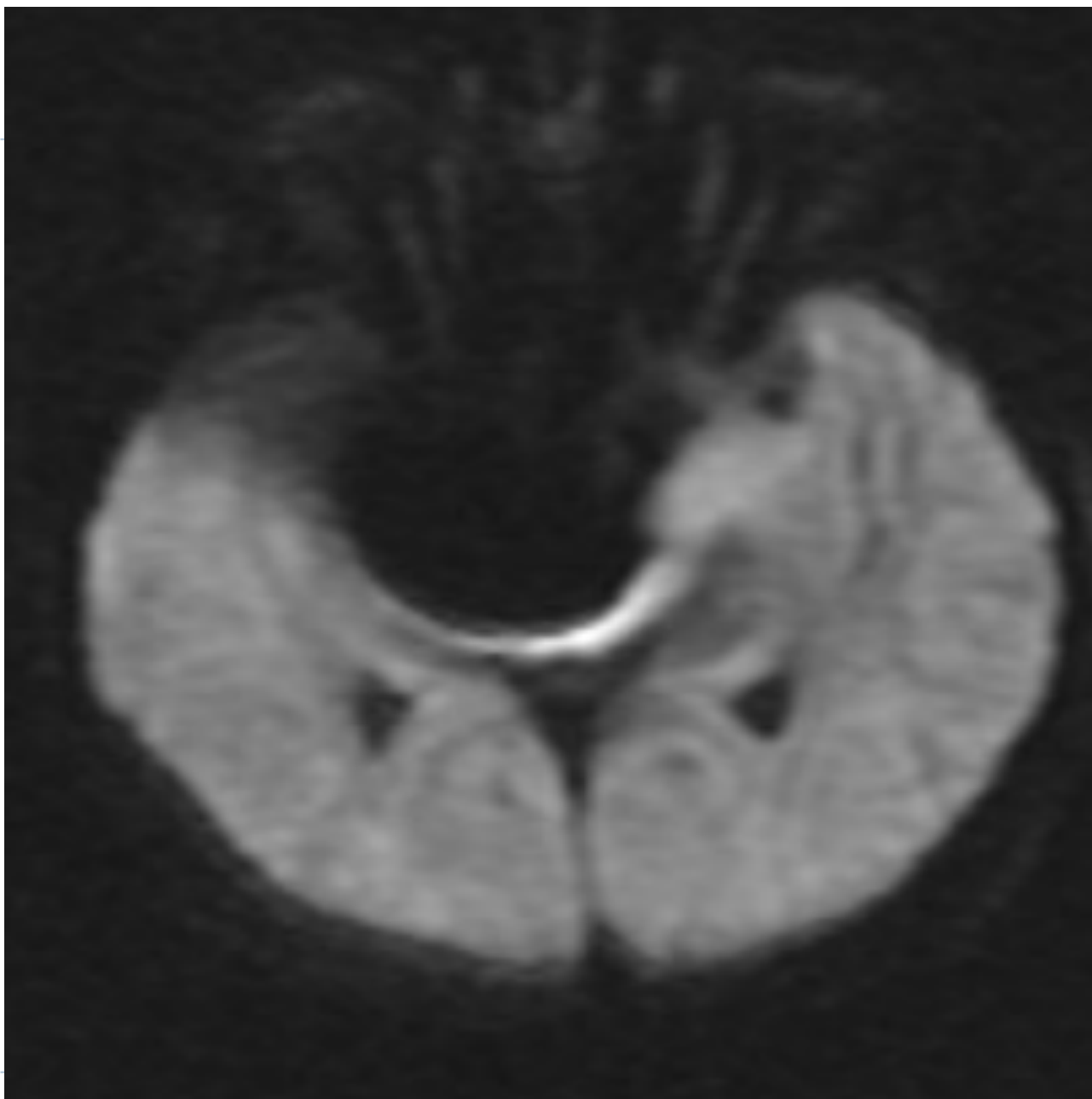
現在では





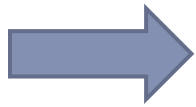
現在では



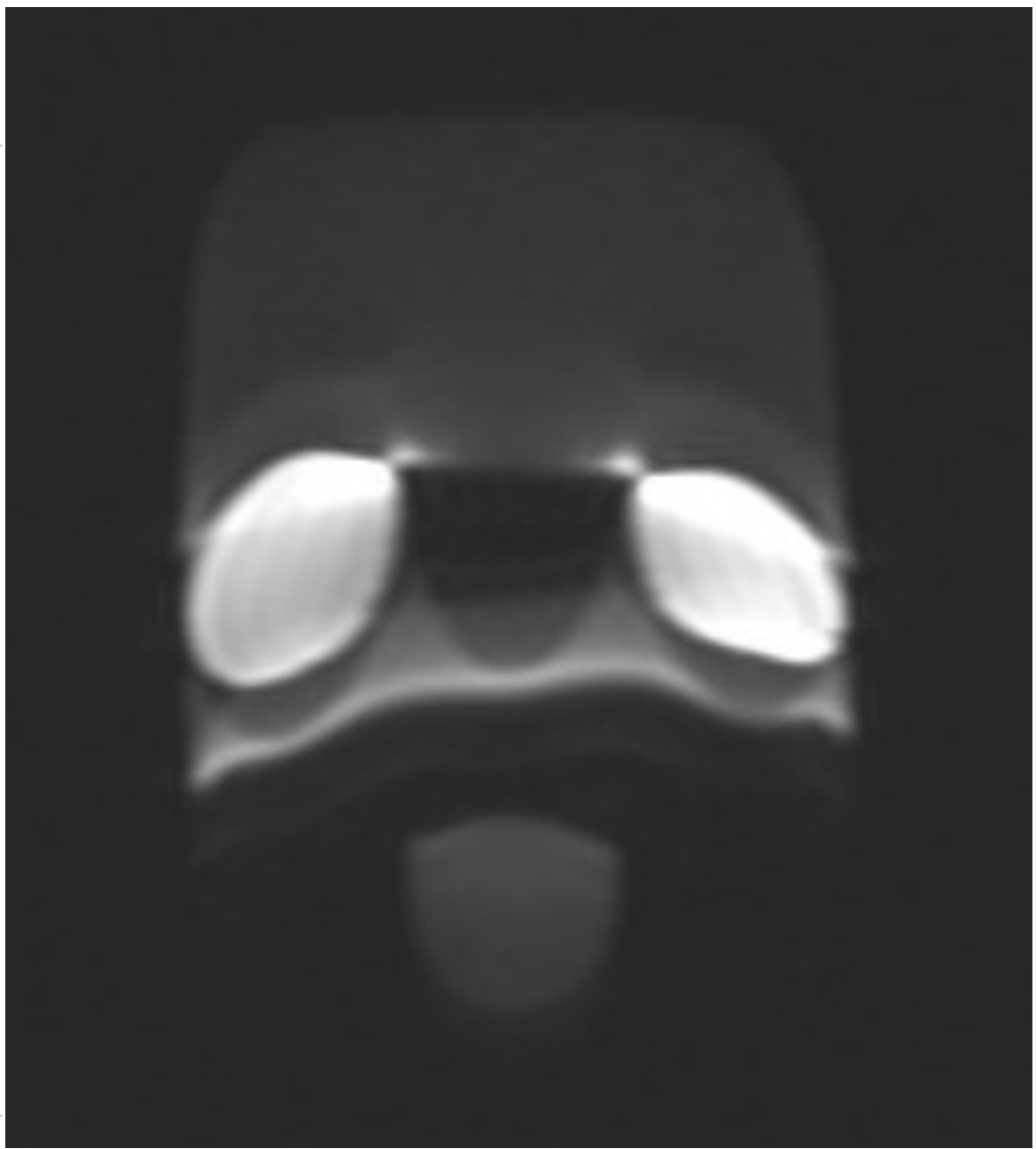


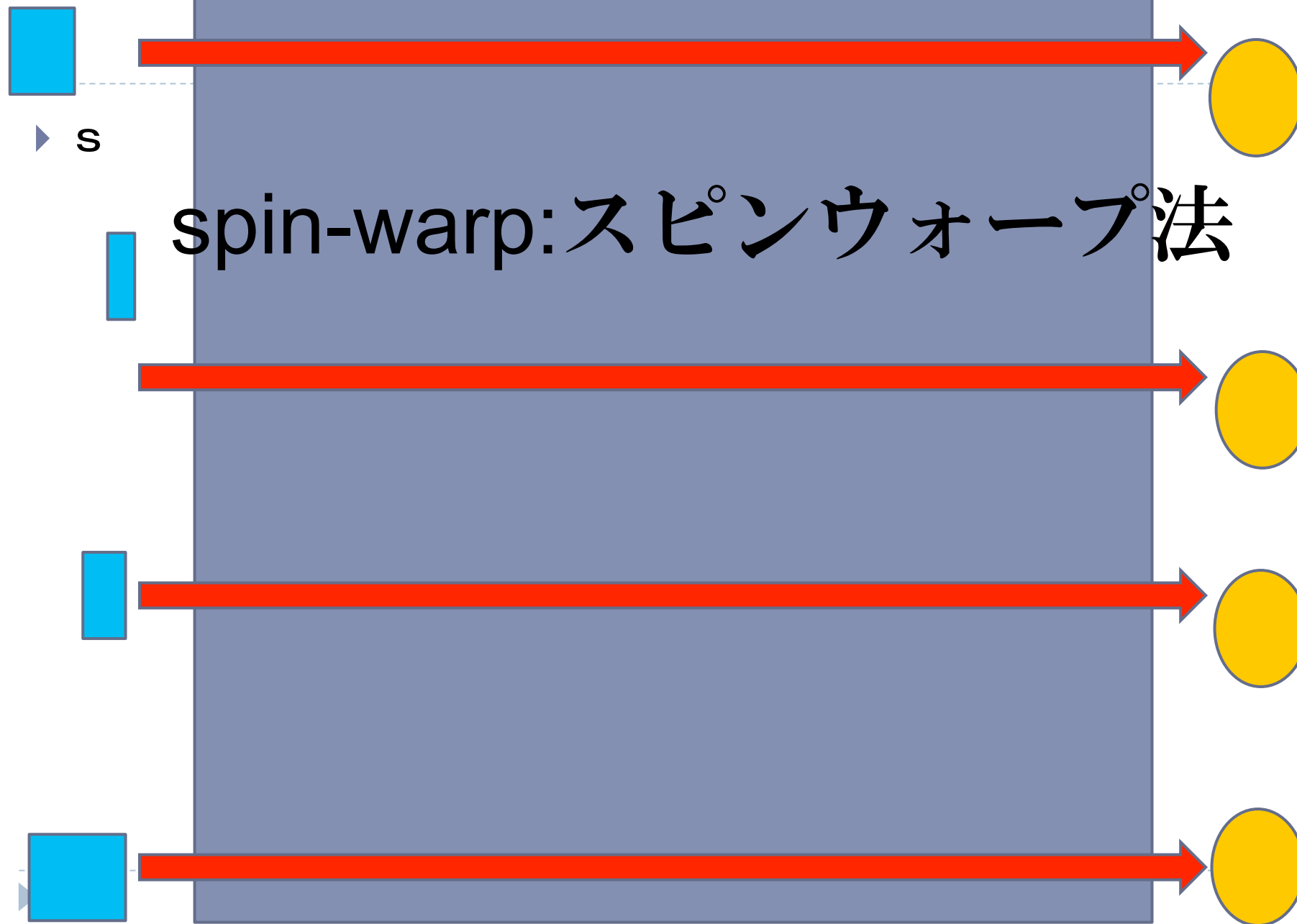
EPIにおけるひずみ

EPIは一筆書き様にデータを収集するため、位相の累積エラーを生じる。



位相方向にアーチファクトを生じる
脂肪 (ケミカルシフトアーチファクト)
周波数方向は？





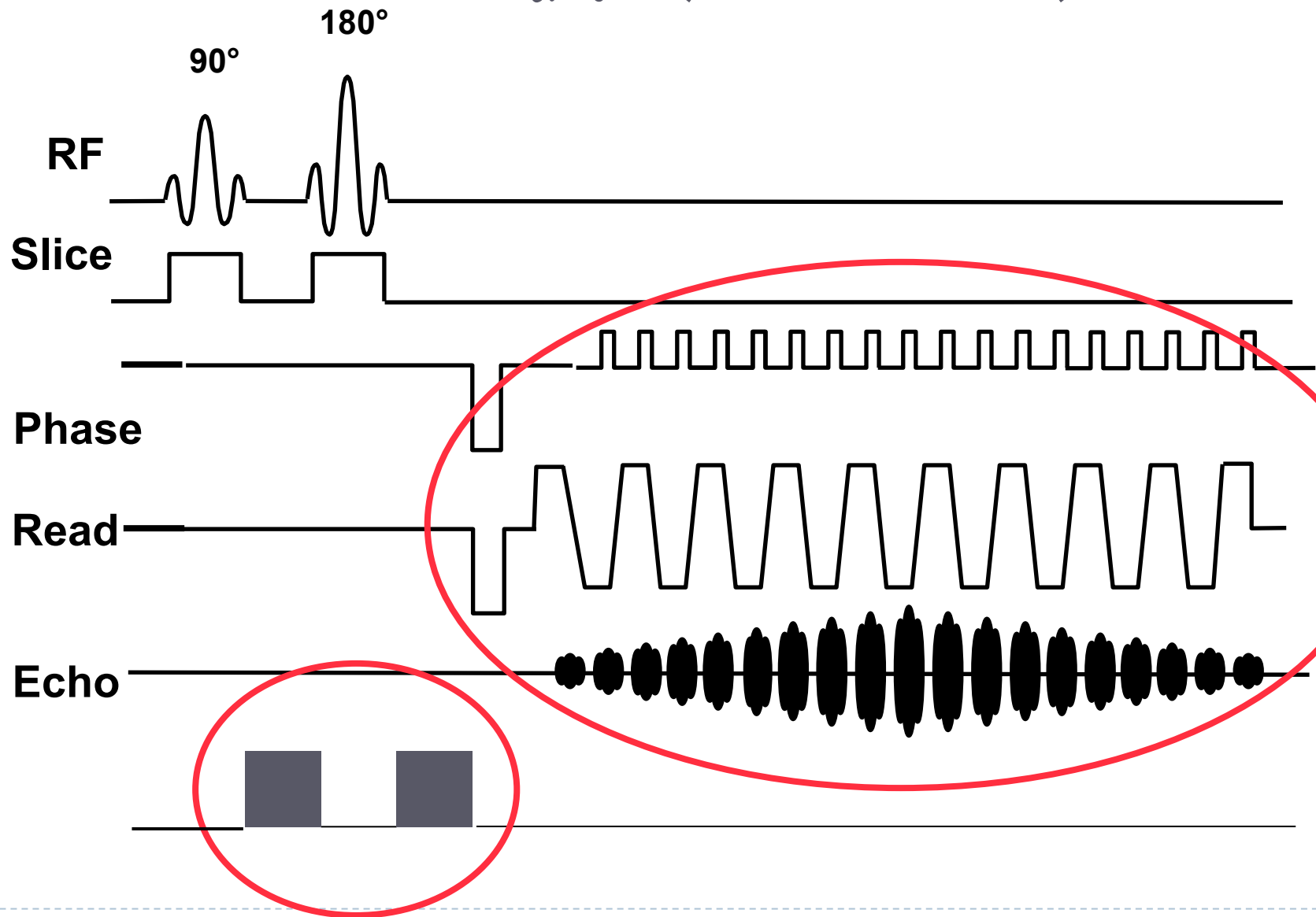


本日の内容

- ▶ 拡散強調画像におけるひずみの検討
(EPIモジュール.MPGモジュール)
- ▶ 実際の現場の工夫と臨床画像
- ▶ 最後に問題を出します



EPI-DWI法 (Diffusion)



使用装置



GEヘルスケア
1.0T Signa MR/I Ver9.1

GEヘルスケア
1.5T Signa HDxt Ver23.02



GEヘルスケア
3.0T Discovery750w DV.24



EPIのひずみの検討 方法

基本撮像シーケンス

DWI-EPI TR5000/eff TE 93.3ms

FOV36cm,Thickness 5mm,Coronal,Matrix128*128 BW $\pm$ 62.5kHz, shot1

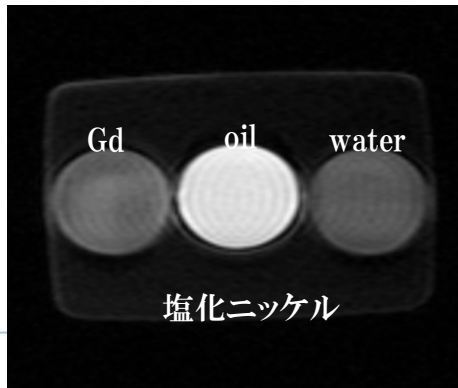
脂肪抑制(-) chemical shiftとひずみとの関係を計測,

Head Coil

撮影装置

1.0T Signa MRI Hispeed ver9.1

1.5T Signa Horizon LX ver9.1(北里大学病院)



自作ファントム

Gd水溶液, ベビーオイル, 水
周囲を塩化ニッケルで囲んだもの

ファントム

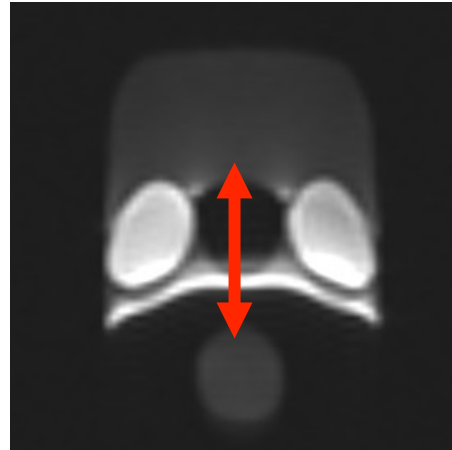
検討項目 変化させたパラメータ

- 位相matrix数(128,256,64,32)
- Phase FOV:長方形FOV factor(0.5, 0.75, 1.0)
- shot数(1, 2, 4)
- 周波数matrix数(128,64)
- Over sampling factor=half scan factor
(8, 16, 32, 36)
- BW($\pm 62.5\text{kHz}$, $\pm 31.2\text{kHz}$)
- TE(100, 60msec)
- FOV(36cm, 24cm)
- ESP(1232usec, 1500usec)BWは $\pm 62.5\text{kHz}$ 固定
- 静磁場変化 (1.5T)



定量評価方法

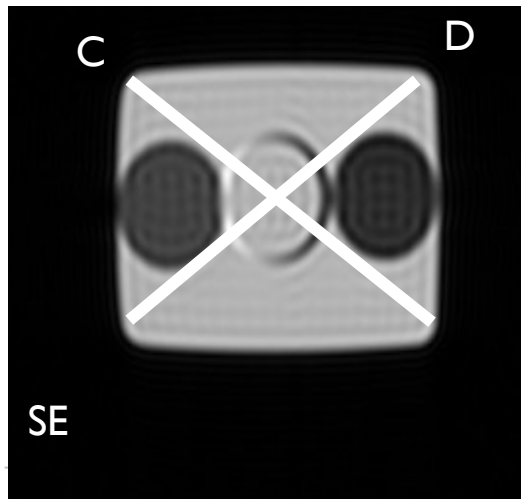
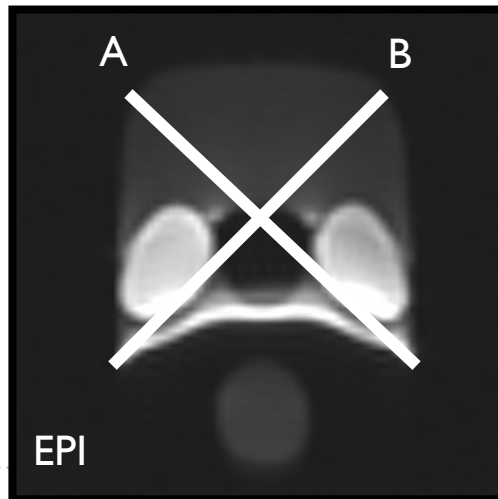
ケミカルシフト測定方法



油ファントムのchemical shiftは左図のように測定した。

長さ (mm) を計測

ファントムのひずみ率 測定方法



$$\text{DR(Distortion Ratio)} = (A+B)/(C+D)$$

ファントムのひずみ率はSE法で撮影したものを計測し,EPIで撮影されたものから歪み率(EPI測定/SE測定)を求めた。

検討項目

文献*より，ケミカルシフトとひずみは同一の原理で生じると推測．

- 以下の計算式でケミカルシフトを求め理論値と実測値との関係

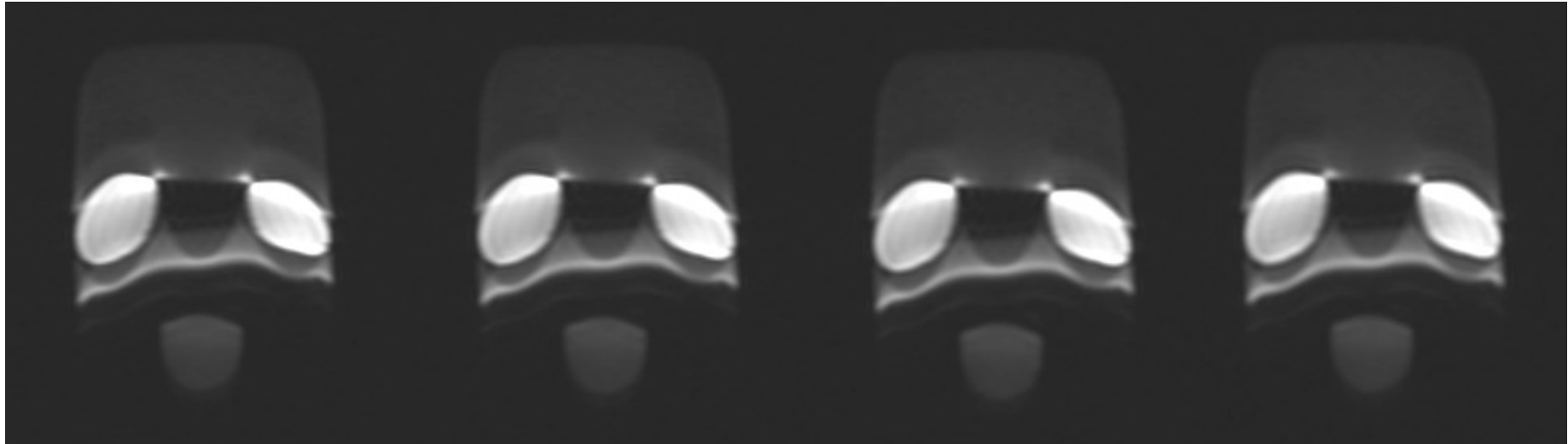
$$\begin{aligned} & \text{ケミカルシフト量(mm)} \\ &= \text{共鳴周波数の変化量(Hz)} / \{ 1 / (1/BW(\text{Hz}) \times M_r \times M_p \times 1/ \\ & \text{shot} \times \text{phase FOVratio}) \} \times (\text{FOV(mm)} / M_p) \end{aligned}$$

- ケミカルシフト量 (実測値) とひずみ量の関係
最小二乗法による相関係数をもとめた．

*Denis LB, Cyril P, Alexis A, et al.:Artifact and Pitfalls in Diffusion MRI.
J.Magn.Reson.Imaging 2006;24:478-488.



ひずみの検討 位相エンコード数

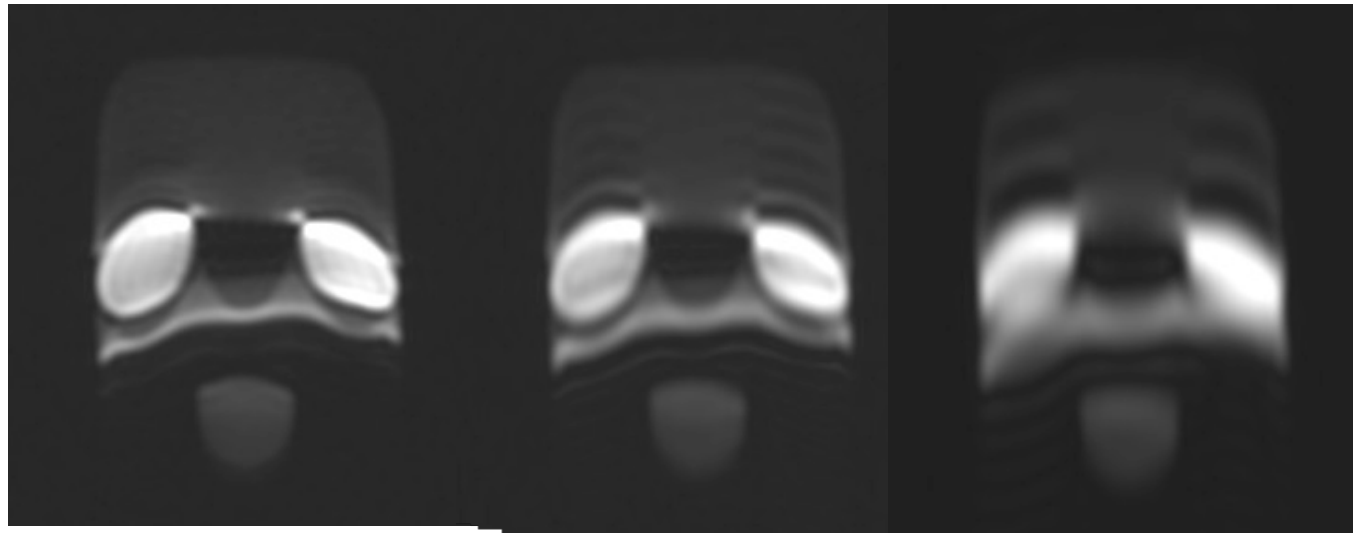


128 X 256

128 X 224

128 X 192

128 X 160



128 X 128

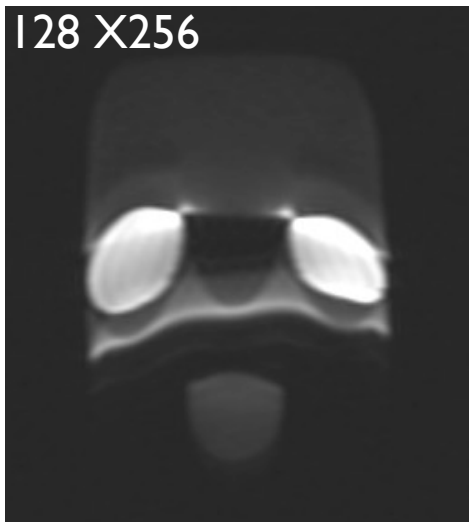
128 X 64

128 X 32

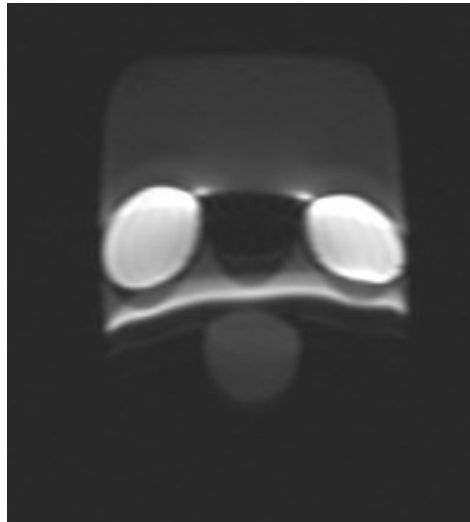


ひずみの検討 PHASE FOV

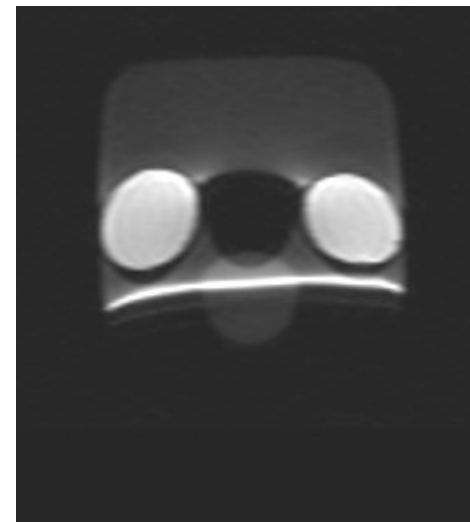
128 X256



P-FOV1

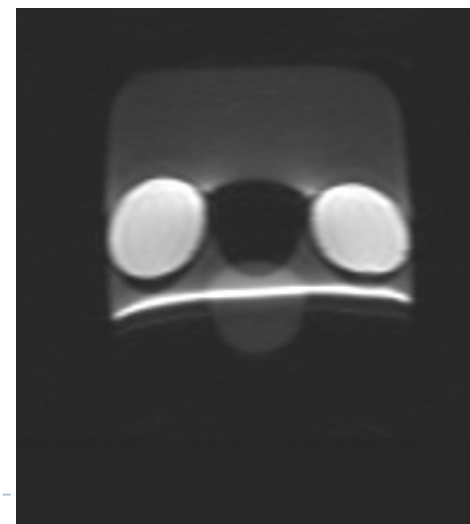
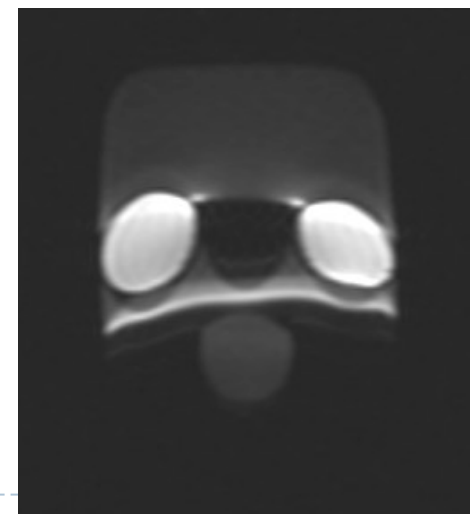


P-FOV0.75



P-FOV0.5

128 X192

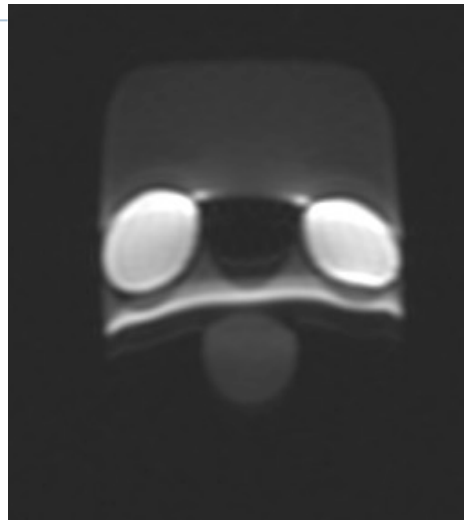


ひずみの検討 PHASE FOV

128 X128



P-FOV1



P-FOV0.75



P-FOV0.5

128 X64



ひずみの検討 サンプルング時間

周波数エンコード変化

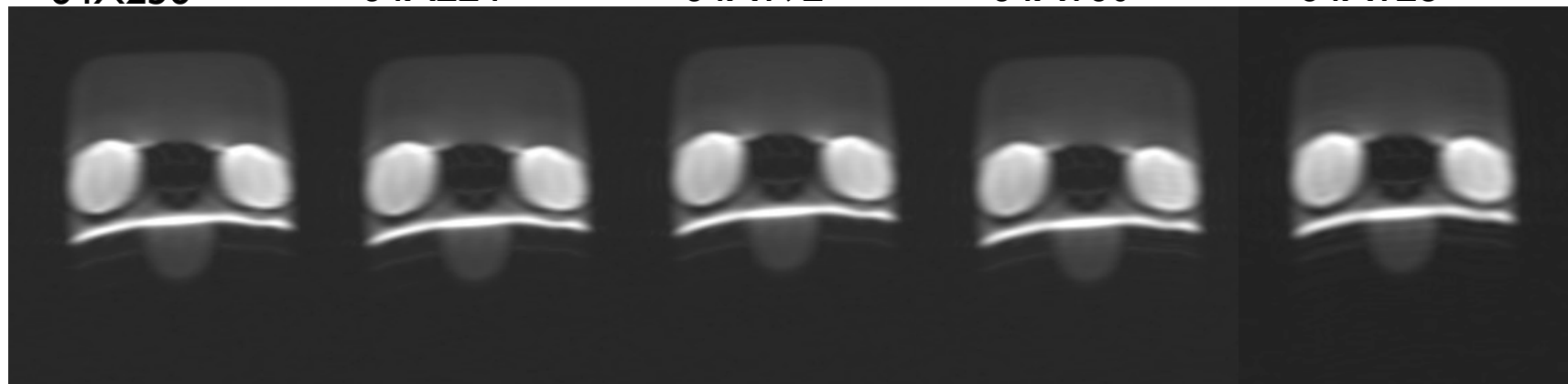
64X256

64X224

64X192

64X160

64X128



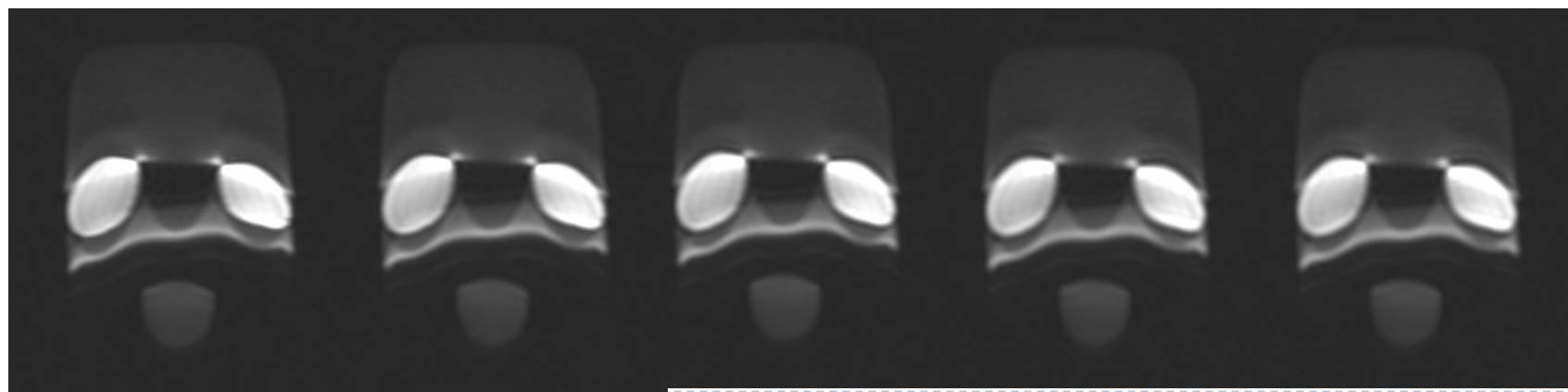
128X256

128X224

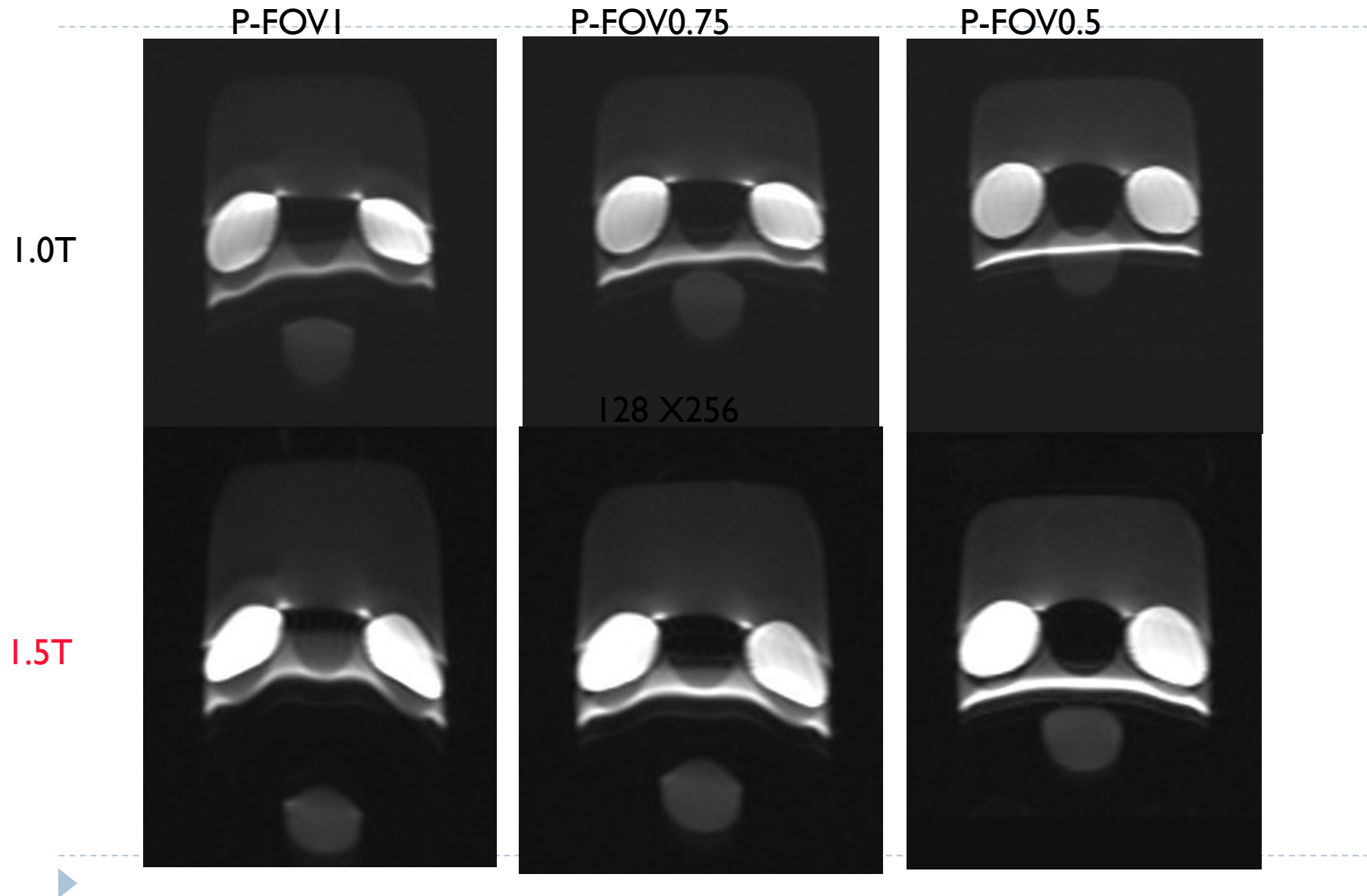
128X192

128X160

128X128



ひずみの検討 1.5Tとの比較



ひずみ, ケミカルシフトに 関係するパラメータ

関係するパラメータ

Phase FOVratio, BW, 周波数matrix
shot数, FOV, ESP, 静磁場強度

(PI factor)

関係しないパラメータ

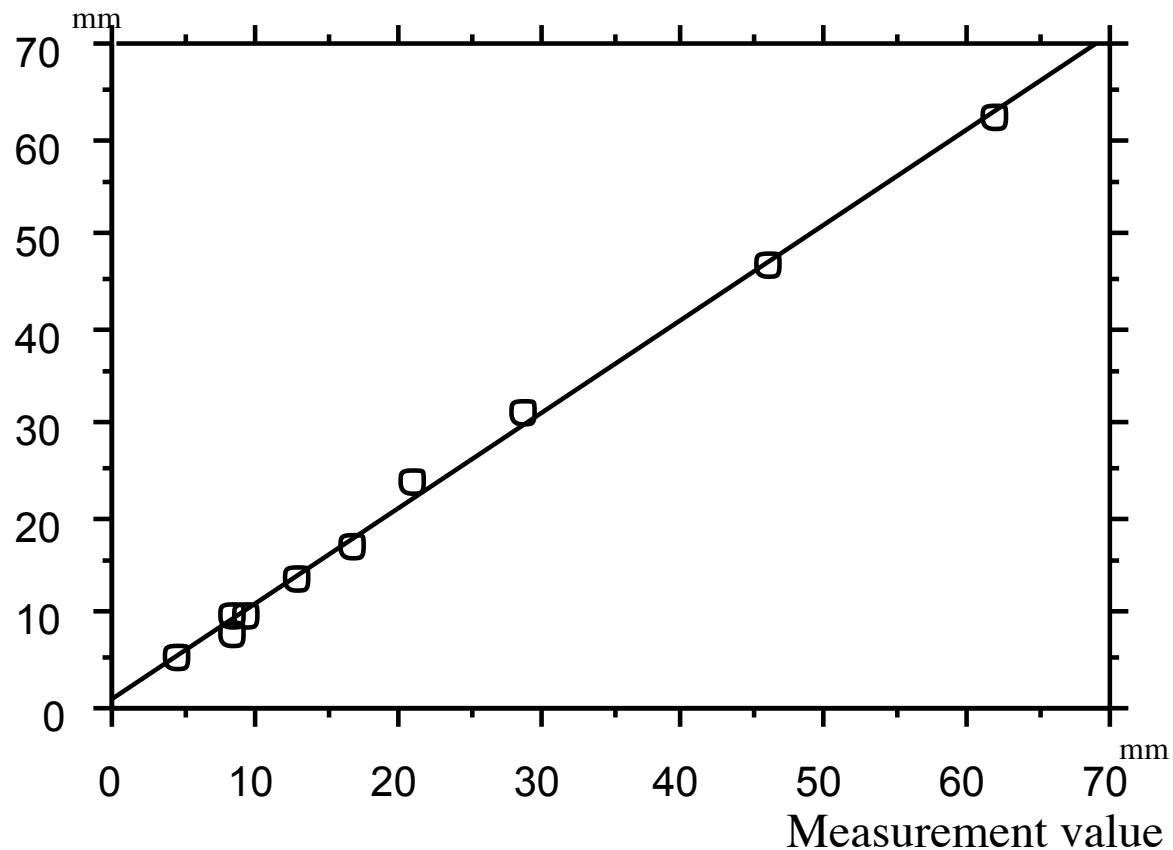
位相matrix, TE,
over sampling factor(=half scan factor)



ケミカルシフトの 理論値と実測値との関係

Theory value

相関係数0.996



$$Y = .793 + 1.002 * X; R^2 = .996$$

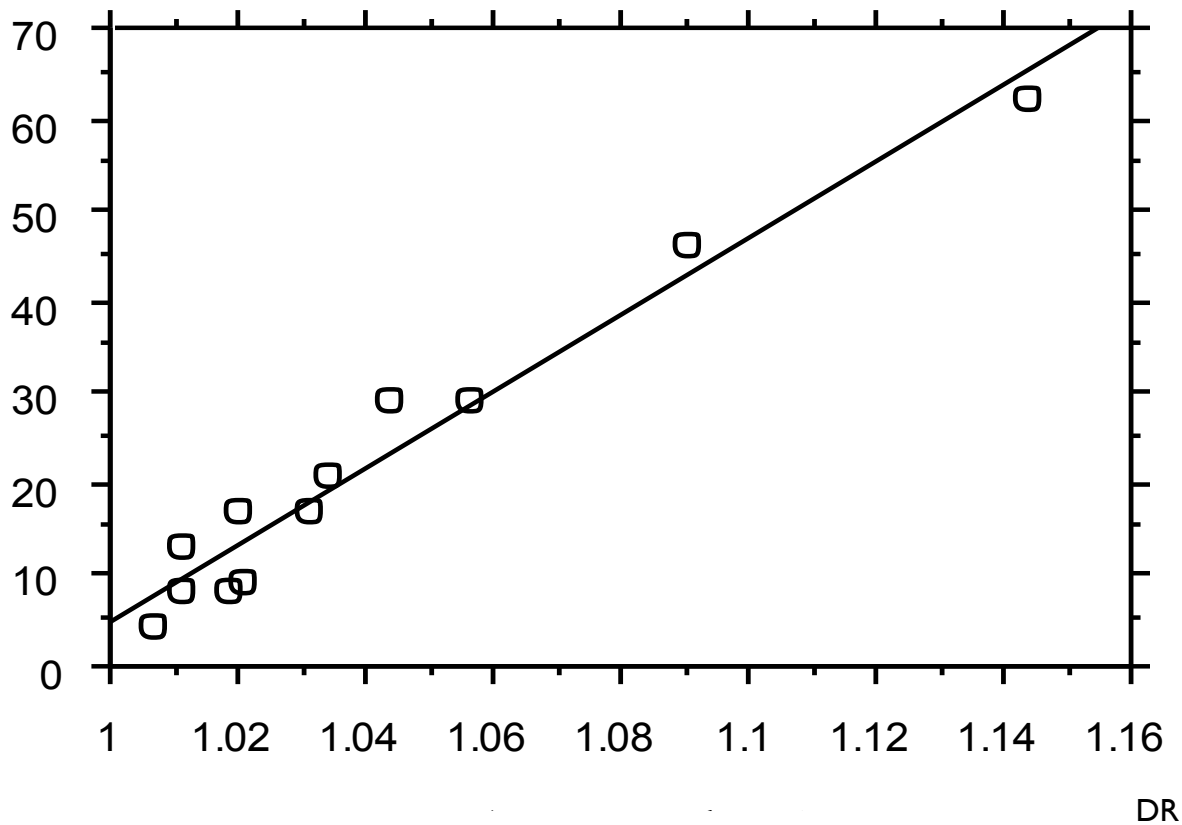


結果 ケミカルシフトとDRとの関係

chemical shift

mm

相関係数0.959



$$Y = -415.314 + 420.269 * X; R^2 = .959$$



結果から

ケミカルシフトとひずみは同一の原理
で生じる

$$\begin{aligned} & \text{ケミカルひずみ量(mm)} \\ &= \text{共鳴周波数の変化量(Hz)} / \{1/(1/BW(\text{Hz}) \times M_r \times M_p \times 1/ \\ & \text{shot} \times \text{phase FOVratio})\} \times (\text{FOV(mm)} / M_p) \end{aligned}$$

*Denis LB, Cyril P, Alexis A, et al.:Artifact and Pitfalls in Diffusion MRI.
J.Magn.Reson.Imaging 2006;24:478-488.



仮に

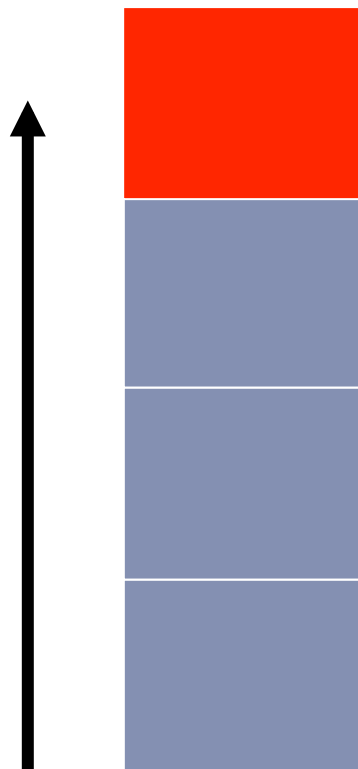
Phase FOV変化でおきていること (長方形FOV)

交差

128X128

=収集時間 α

位相方向の周波数帯域は狭い
=移動するピクセル数が多い



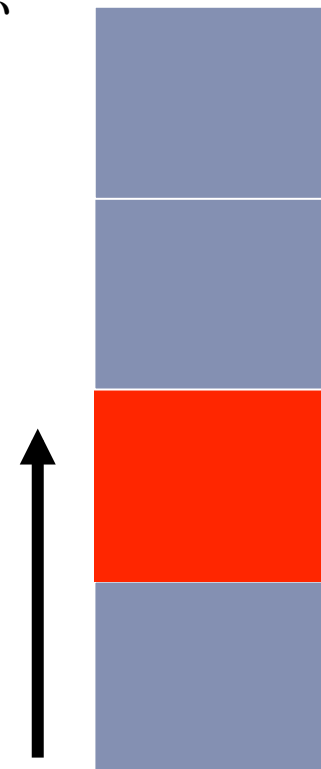
移動するピクセル4

128X128(Phase FOV0.5)

=収集時間 $\alpha / 2$

位相方向の周波数帯域は広い

=移動するピクセル数は少ない

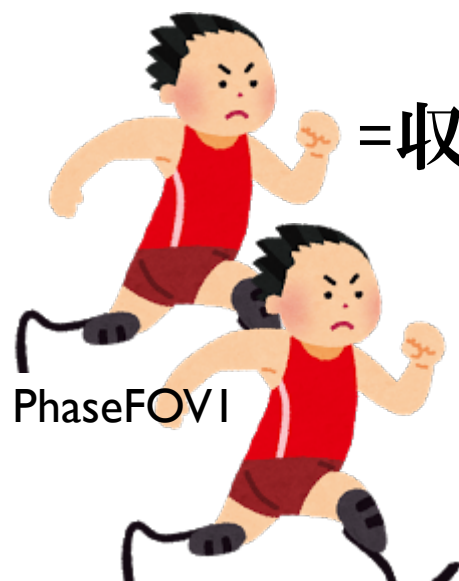


移動するピクセル2

A

周波数のずれ

周波数 = $1/\text{時間}$

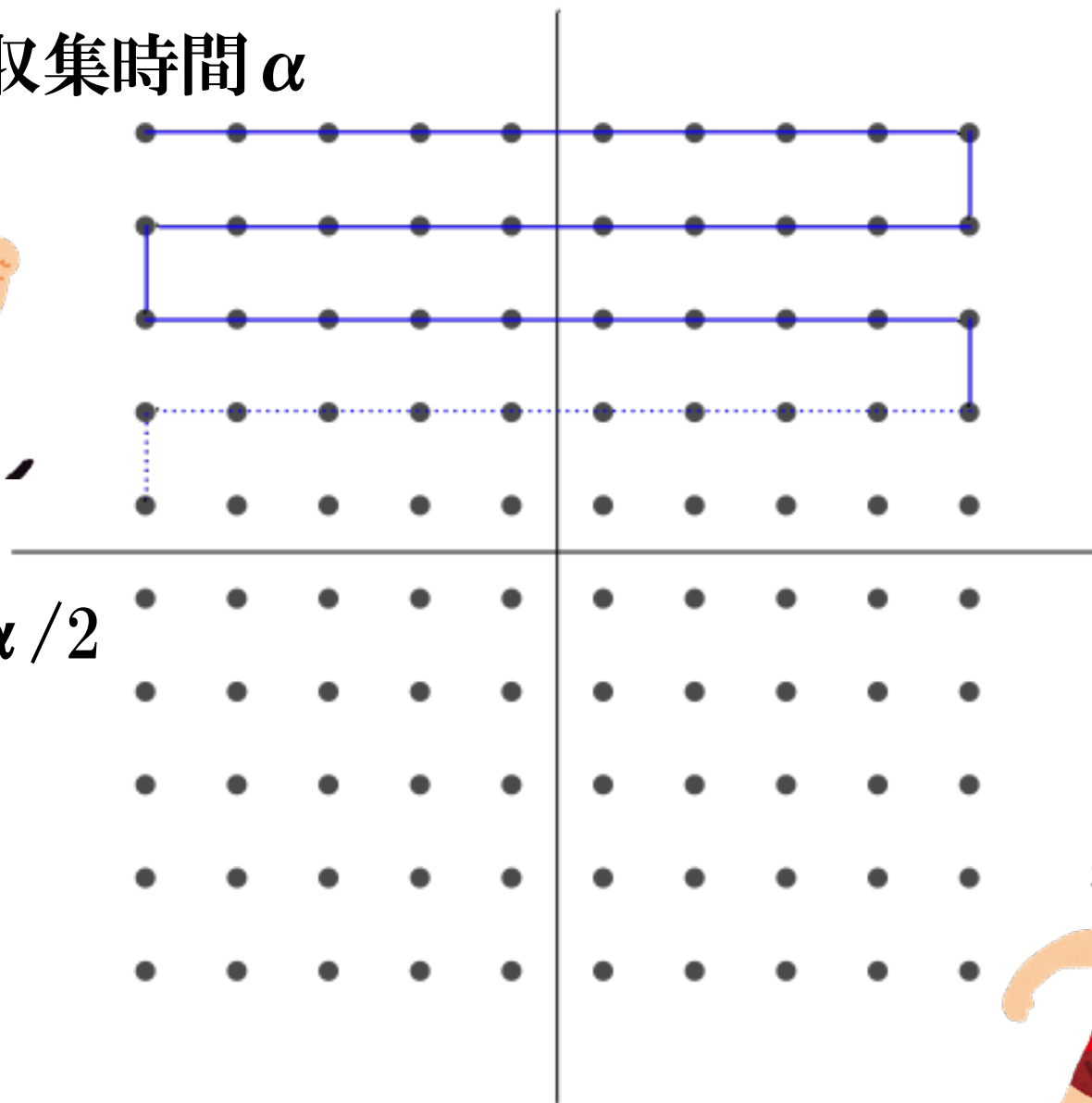


= 收集時間 α

PhaseFOV1

PhaseFOV0.5

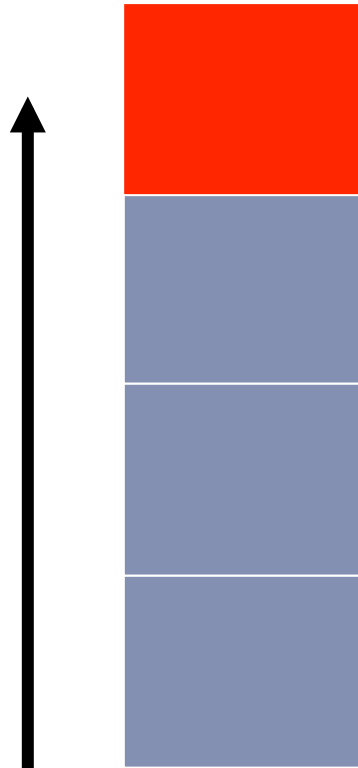
= 收集時間 $\alpha / 2$



本当の Phase FOV (GE)変化でおきていること

128X128

=収集時間 α



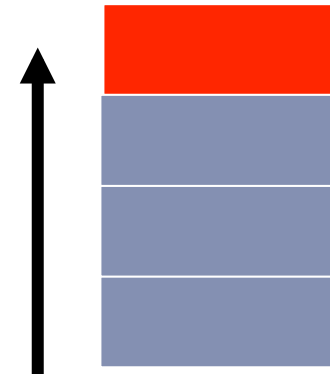
ピクセルの大きさ
を加味すると

ひずみは減少する

移動するピクセル4

128X128(Phase FOV0.5)

=収集時間 α



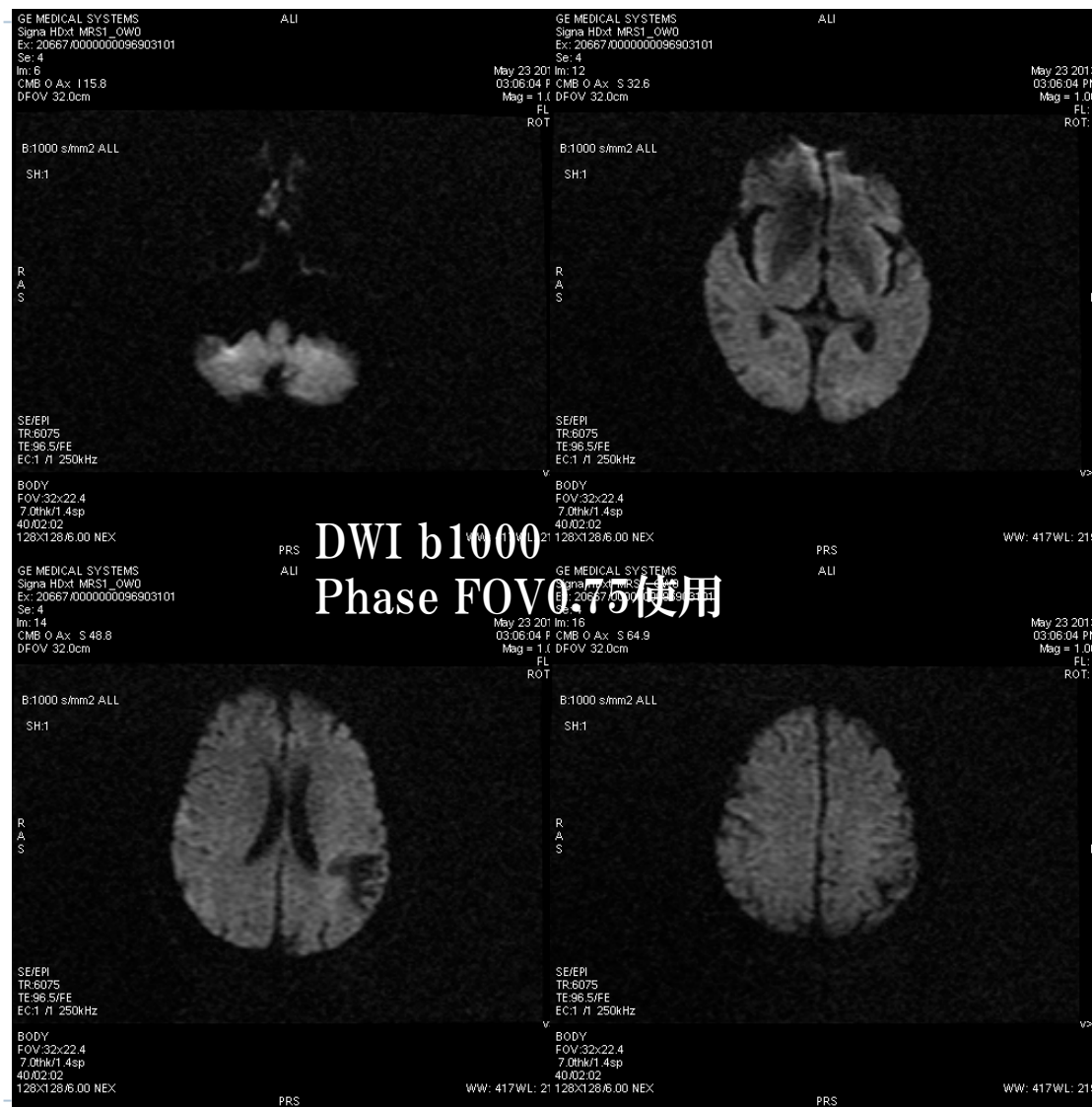
移動するピクセル4



P-FOVを使うと、ひずみは改善され、分解能も改善される



Phase FOVが役にたった症例



DWI b1000
Phase FOV0.75使用

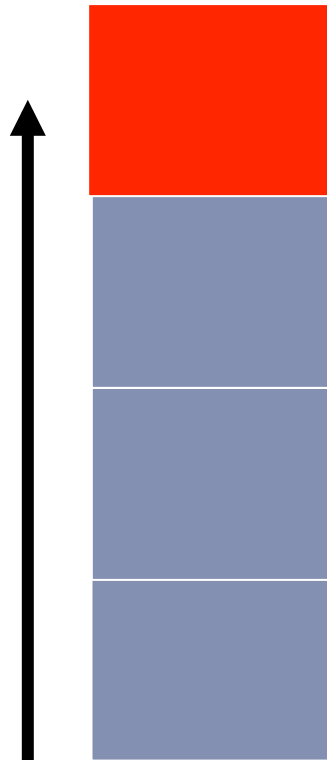
頸部硬直が強い患者様. 通常のコイルにはいらないのでBody Coilで撮影

位相matrixの変化でおきていること

128X128

=収集時間 α

位相方向の周波数帯域は狭い
=移動するピクセル数が多い

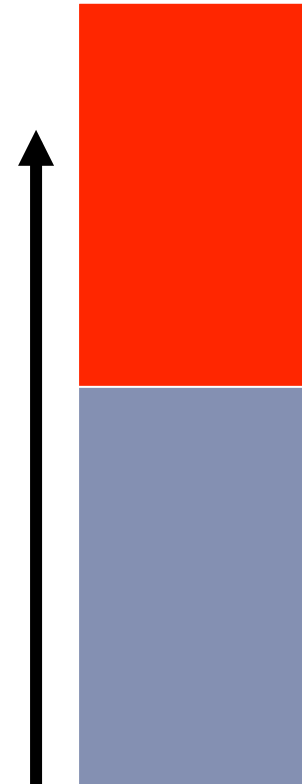


移動するピクセル4

128X64

=収集時間 $\alpha/2$

位相方向の周波数帯域は広い
=移動するピクセル数は少ない

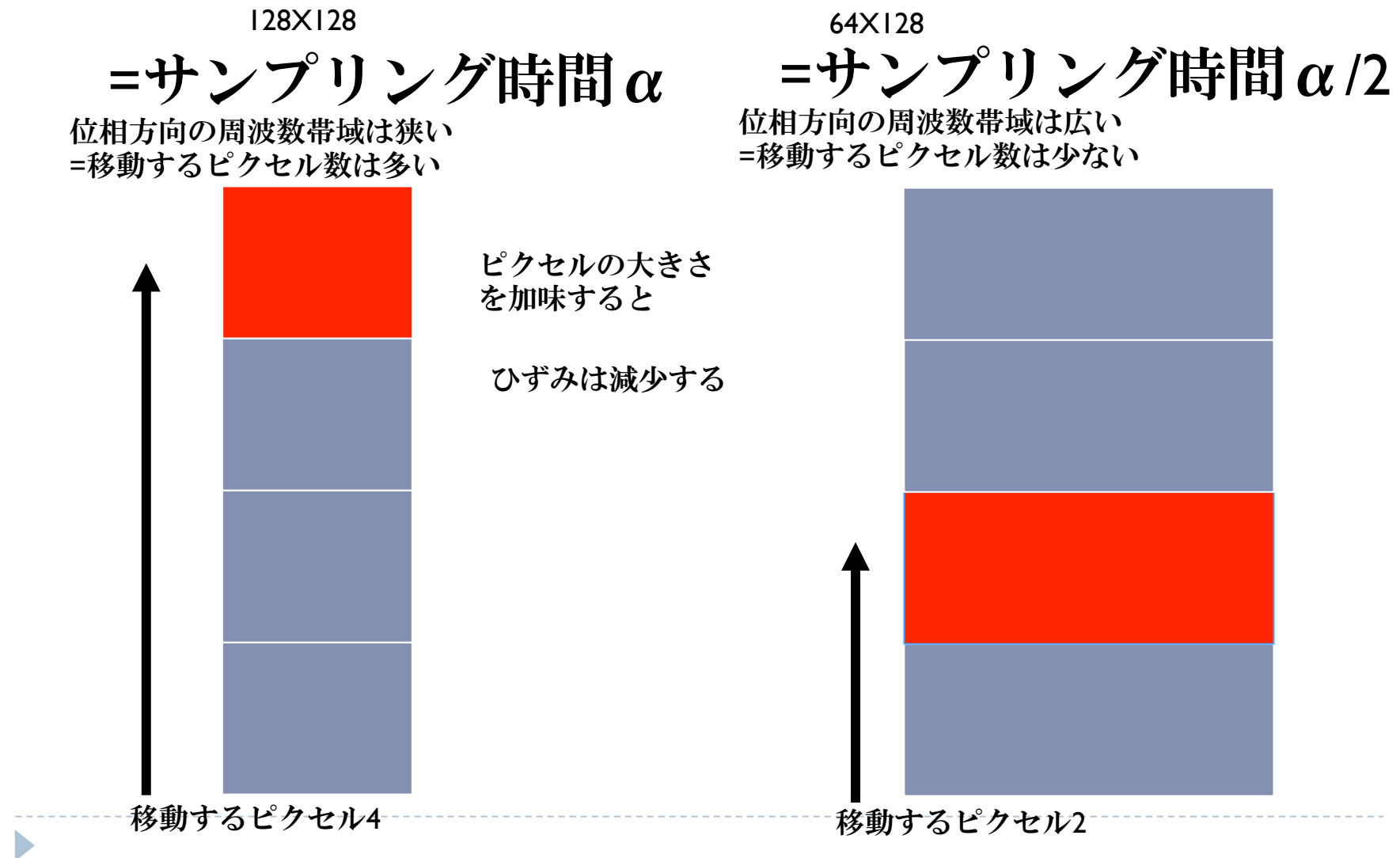


移動するピクセル2

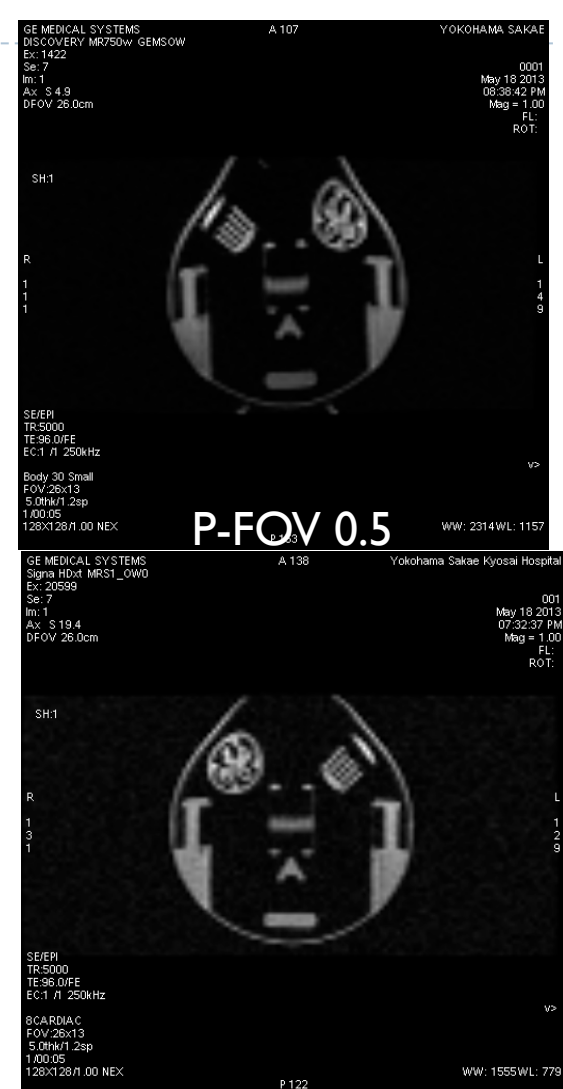
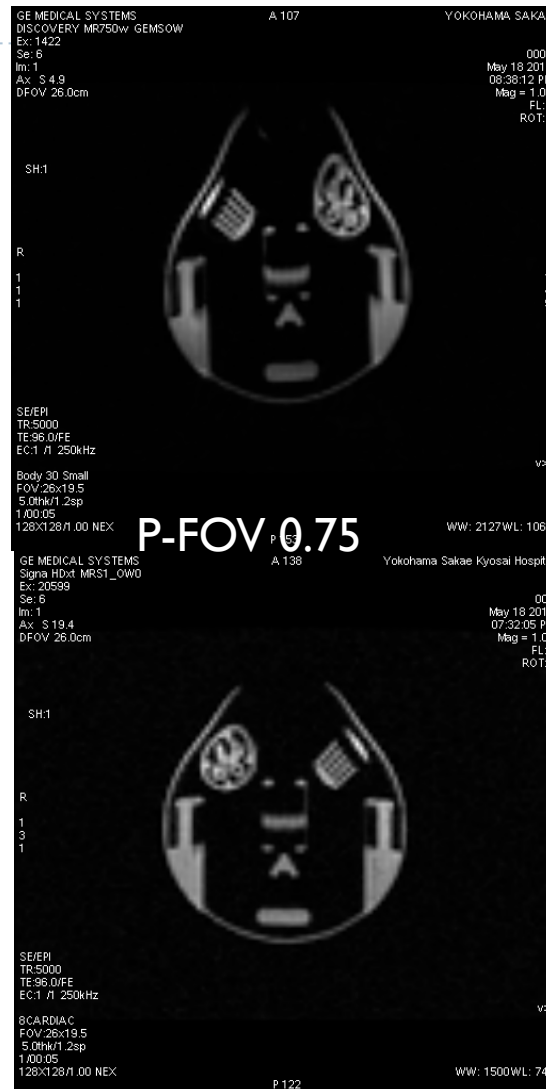
ピクセルの大きさ
を加味すると

歪みは変化しない

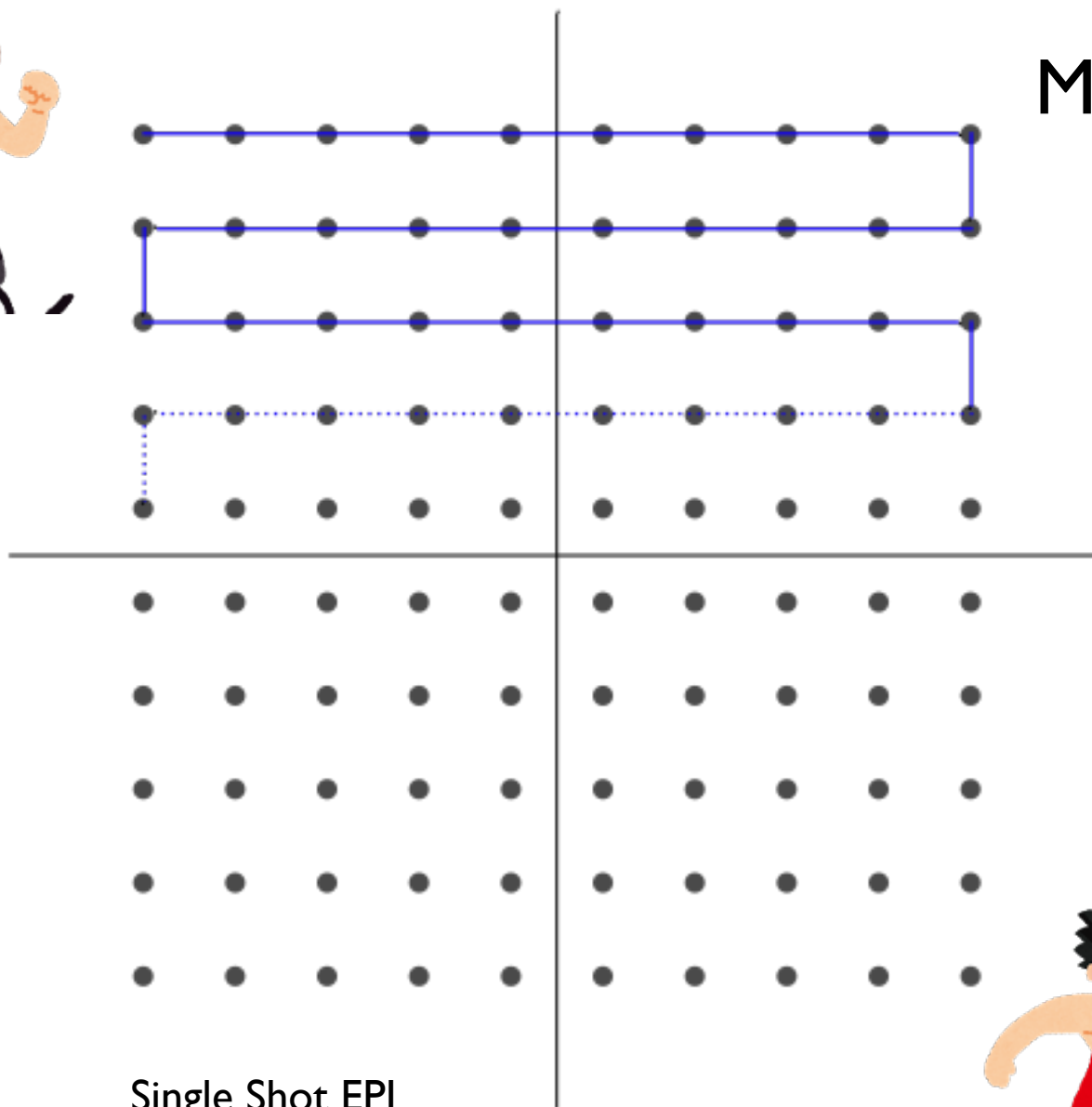
周波数matrixの変化ひずみが減少するのは？



静磁場強度 3T vs 1.5T



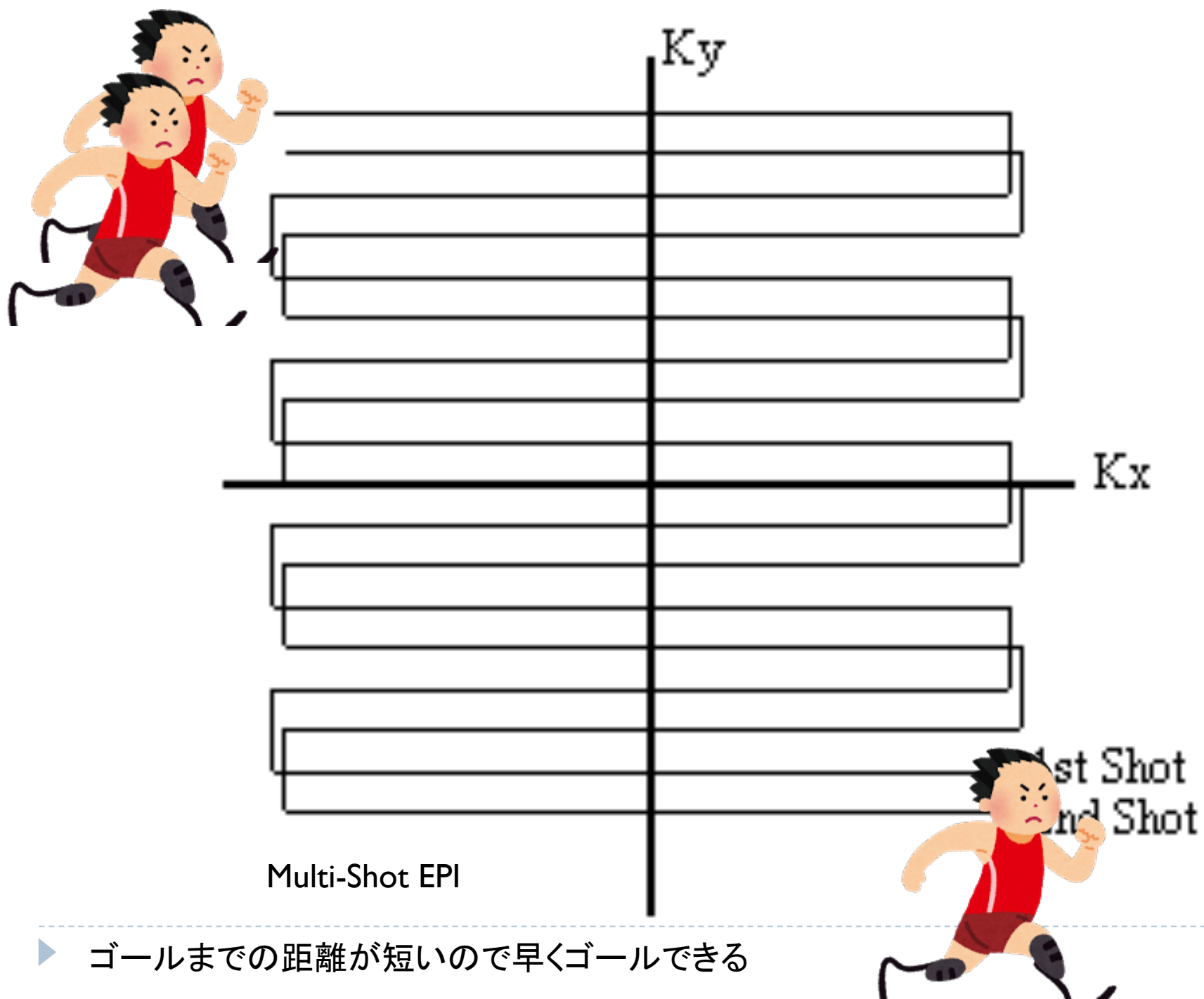
128×128



MSの説明

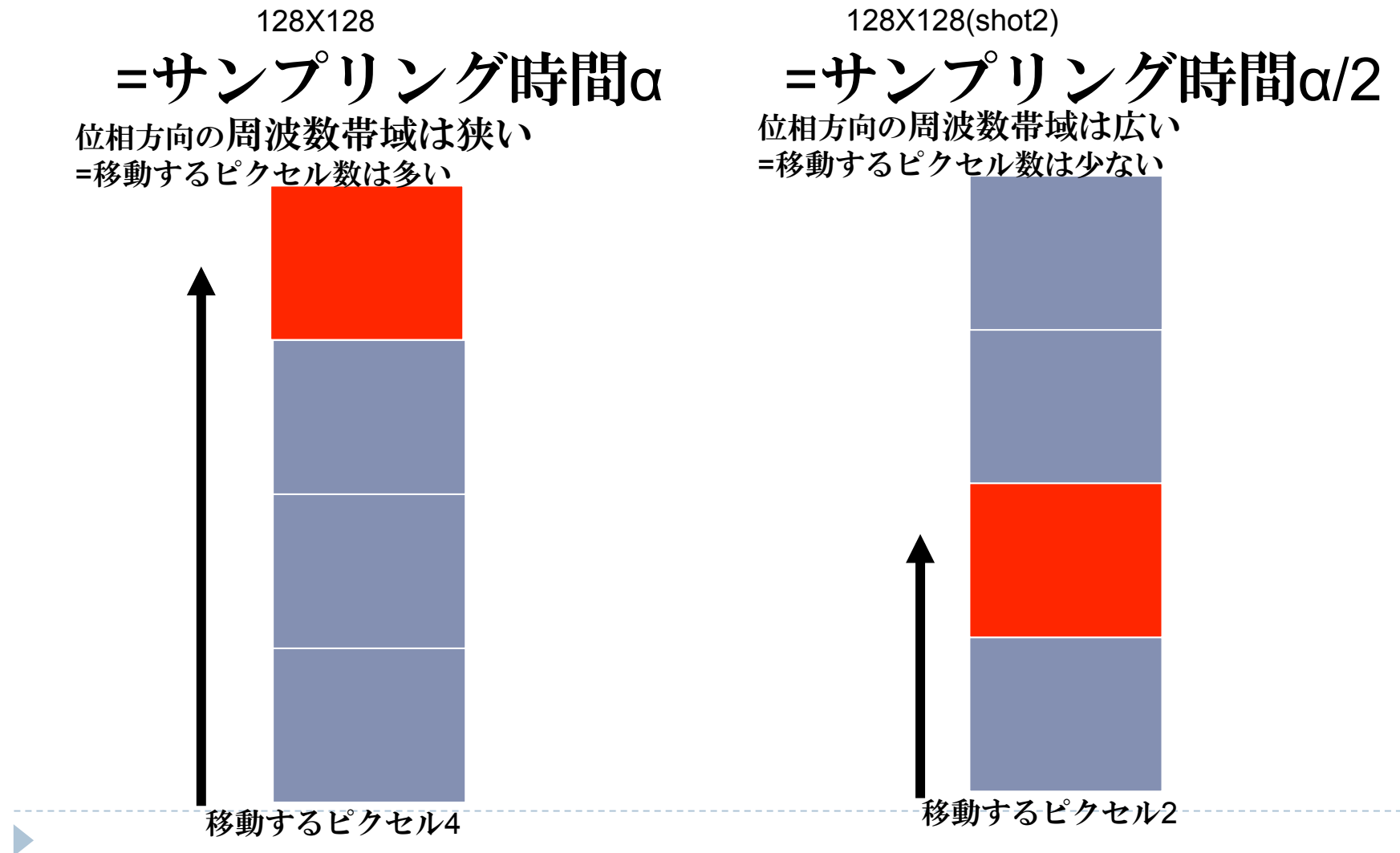
Single Shot EPI

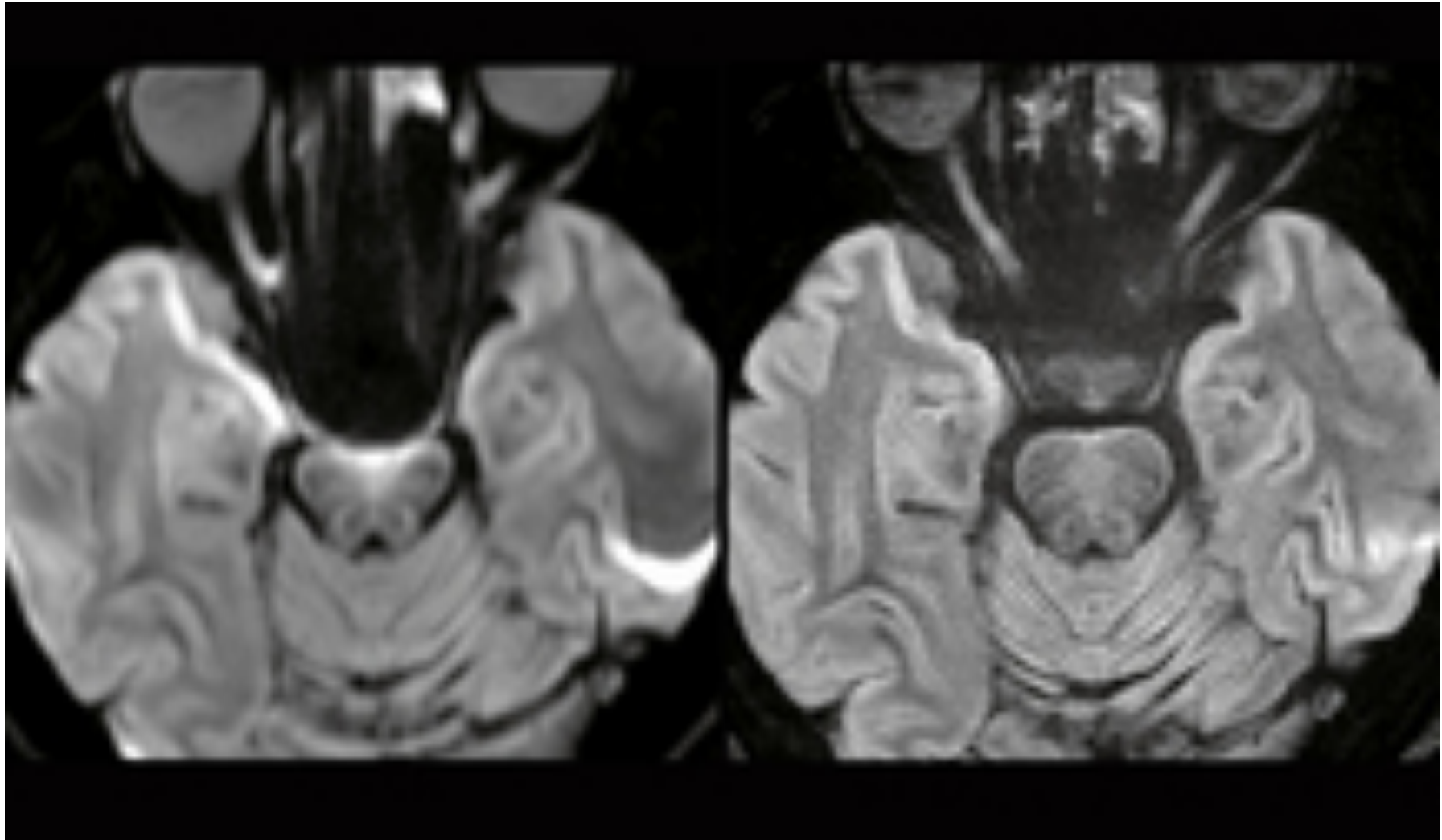


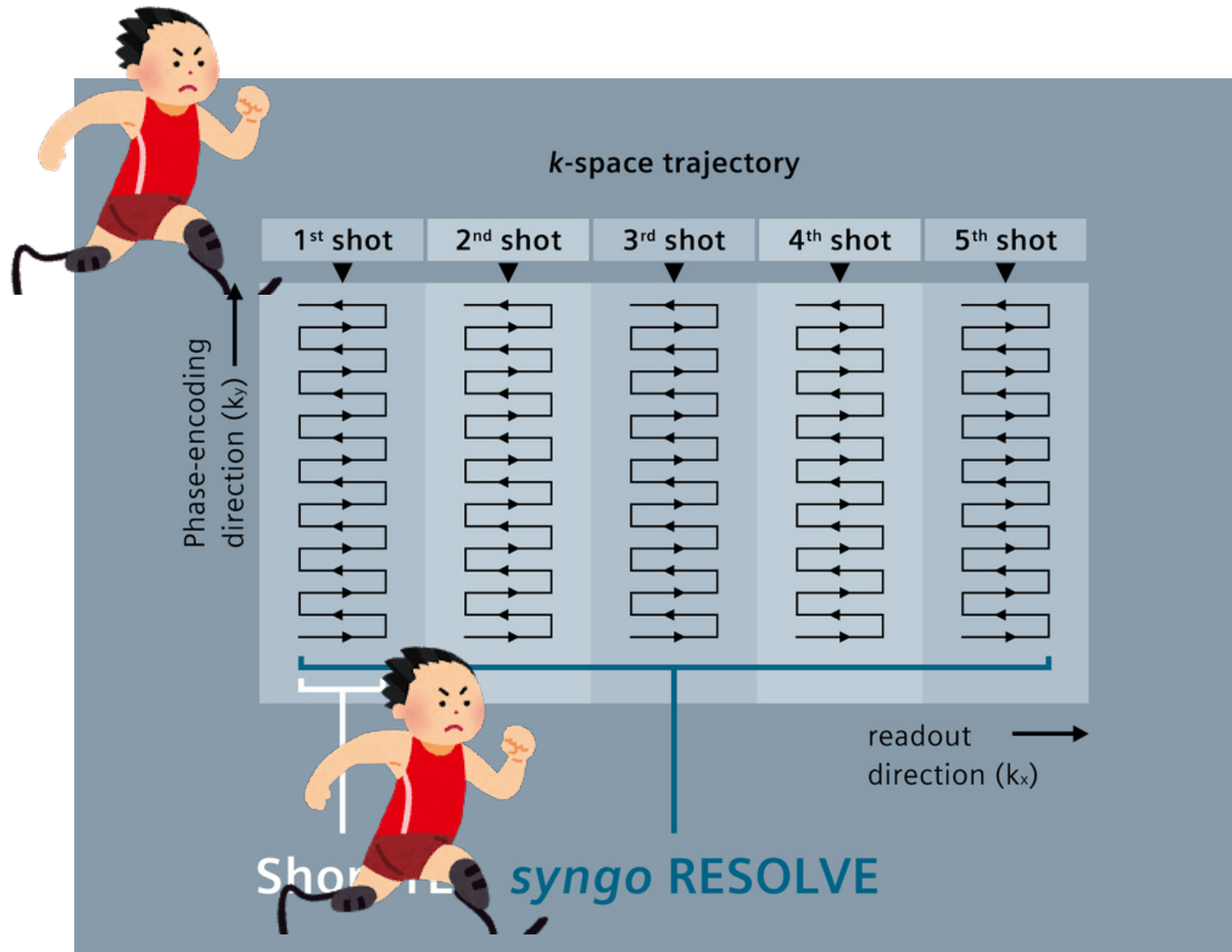


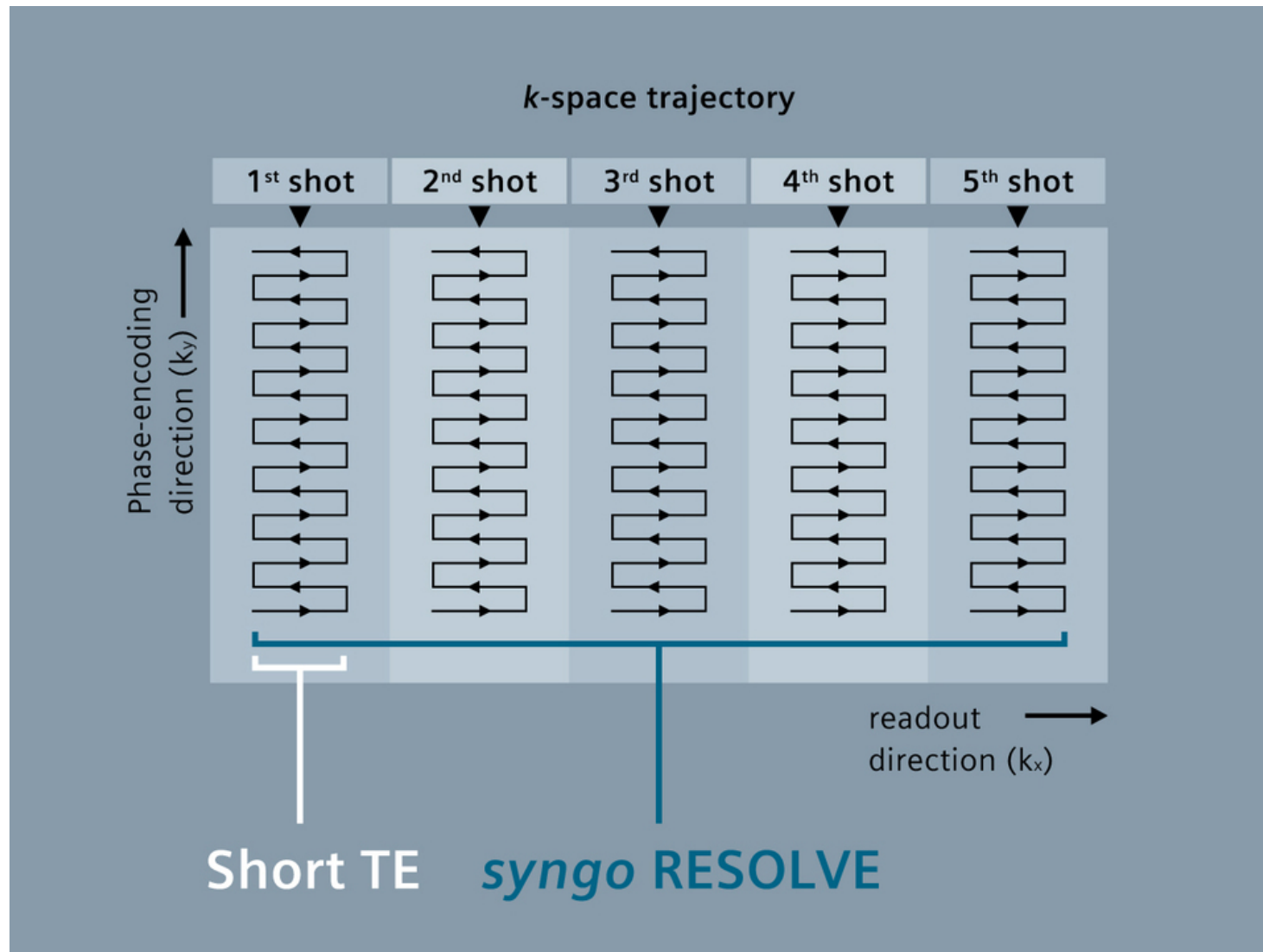
- ▶ ゴールまでの距離が短いので早くゴールできる

Shotの変化でひずみが減少するのは？









拡散強調画像におけるひずみの検討

GEHC-J 1.5T Signa HDx ver.14

撮像シーケンス：

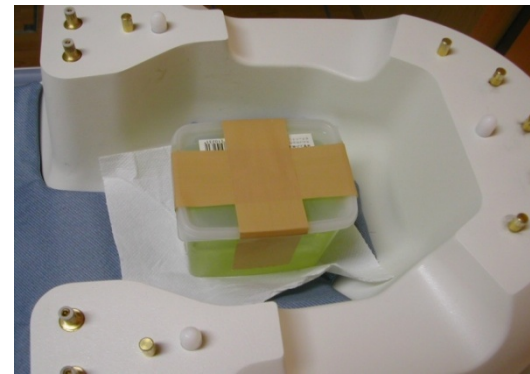
epi3_ax 尾崎正則(北里大学医療衛生学部：現GEヘルスケア)

撮像ファントム：EPI法のひずみ検討で用いた容器＋中性洗剤

成分/界面活性剤

(18%,直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム)

撮像コイル NVコイル(config NVHEAD_A 8ch)



撮像条件

TR2500ms effTE83.2ms固定 NEX2

Asset factor2

Matrix 128*128 BW±125kHz(250kHz)

FOV 36cm×36cm, 撮像断面 冠状断

可変パラメータ

▶ 1)MPG

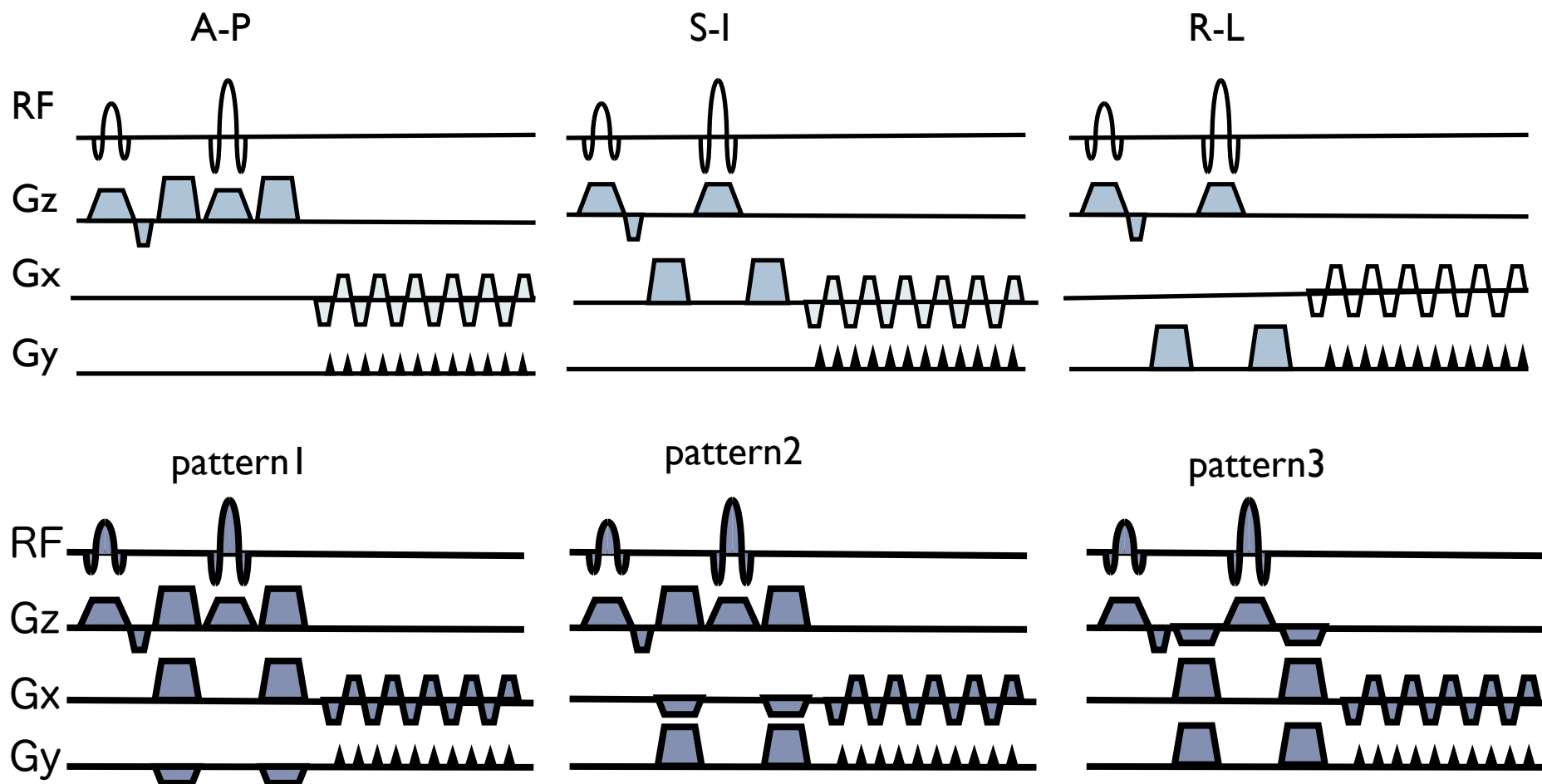
b50,100,250,500,750,1000,1250,
1500,1750,2000,2250の11測定点

▶ 2)

▶ MPG印加法 3軸合成法, 3軸同時印加法



3軸合成法と3軸同時印加法

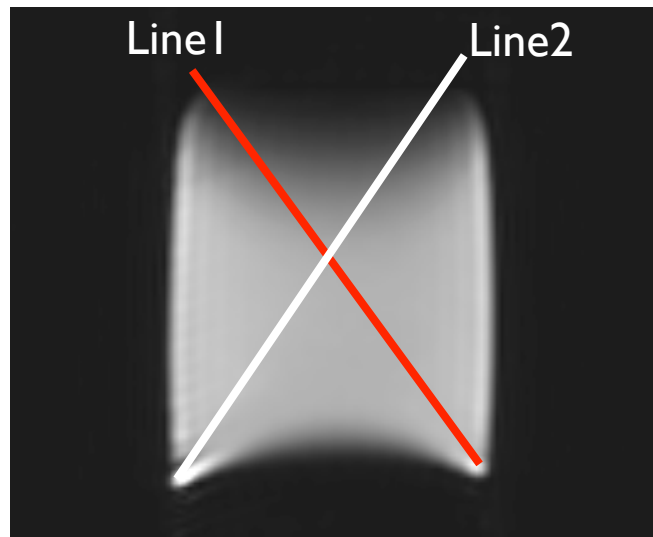


isotropic DWI

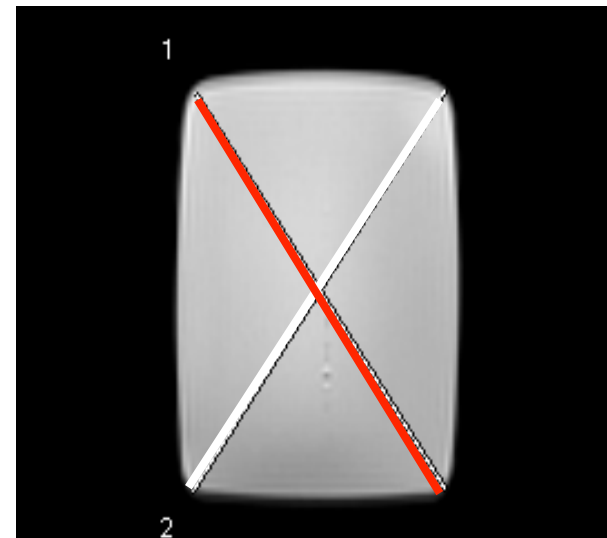
定量評価 EPIの検討と同じ

Distortion Ratio(DR)

$$=(\text{Line1}+\text{Line2}):EPI,DWI/(\text{Line1}+\text{Line2}):SE$$



EPI, DWI撮影

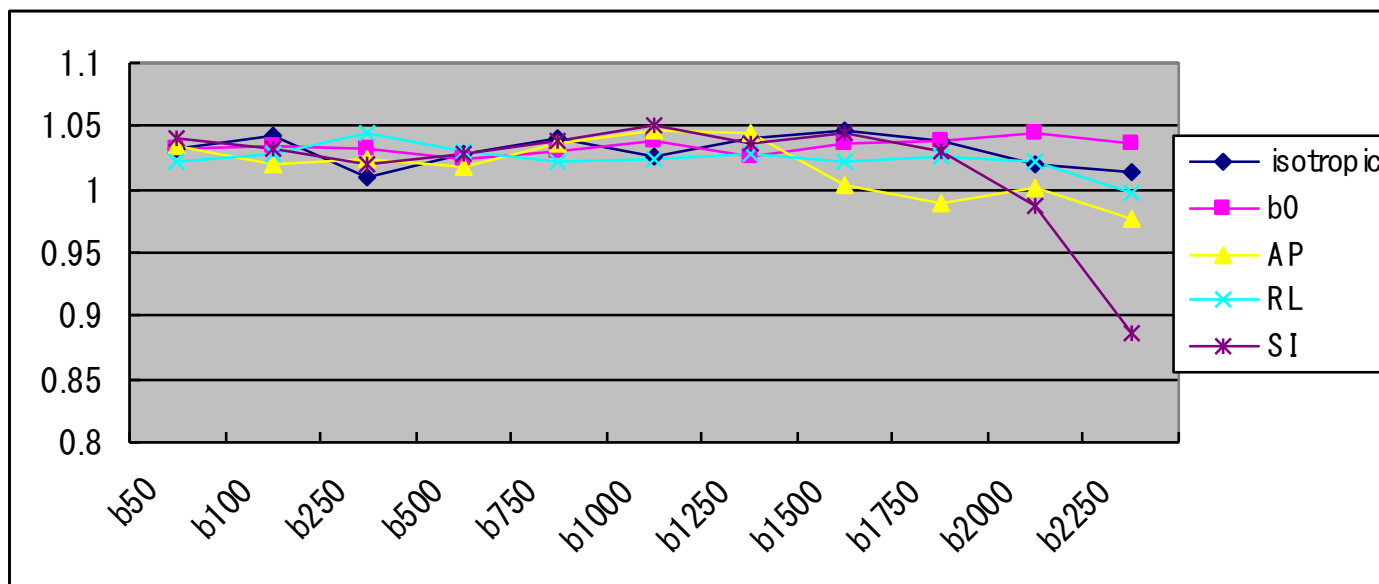


SE法撮影

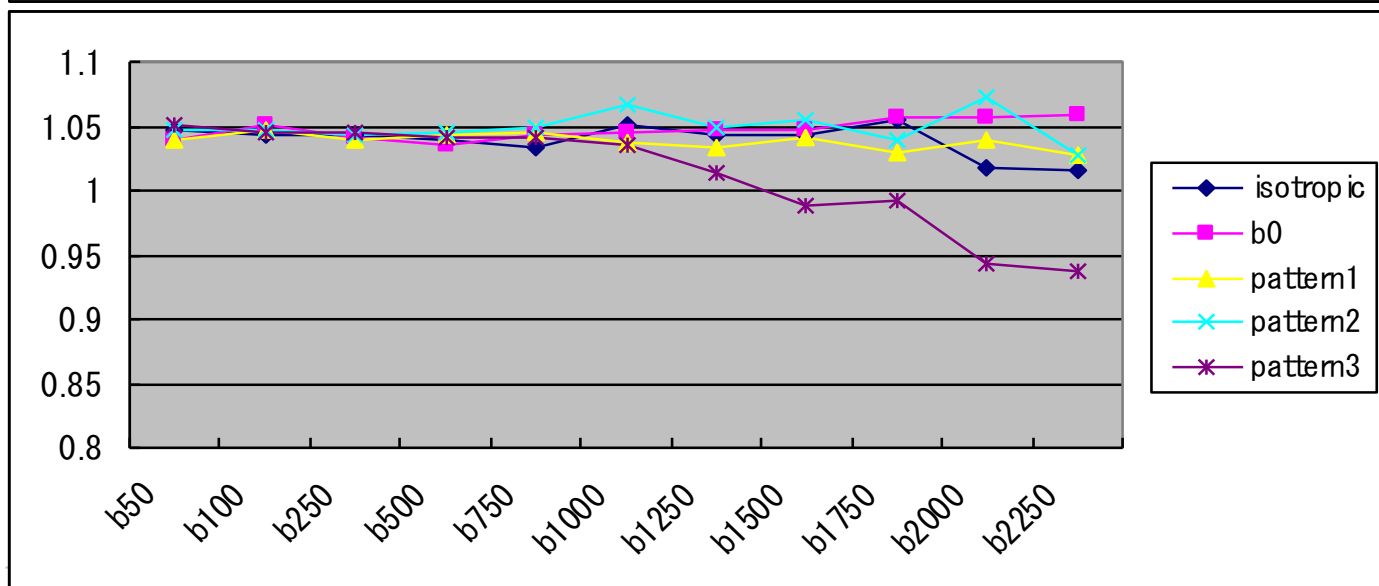


DR3軸合成 vs 3軸加算

3軸合成法



3軸同時 印加法



拡散強調画像のひずみ 結論

ひずみはchemical shiftと同様な原理で
位相方向にmisregistrationとなる

$$\text{Distortion(mm)} = \text{共鳴周波数の変化量} + \{1/(1/\mathbf{BW} \times \text{周波数マトリクス数} \times \text{位相マトリクス数} \times 1/\text{shot} \times \text{phase FOV})\} \times \text{FOV} / \text{位相マトリクス数}$$

MPGモジュール

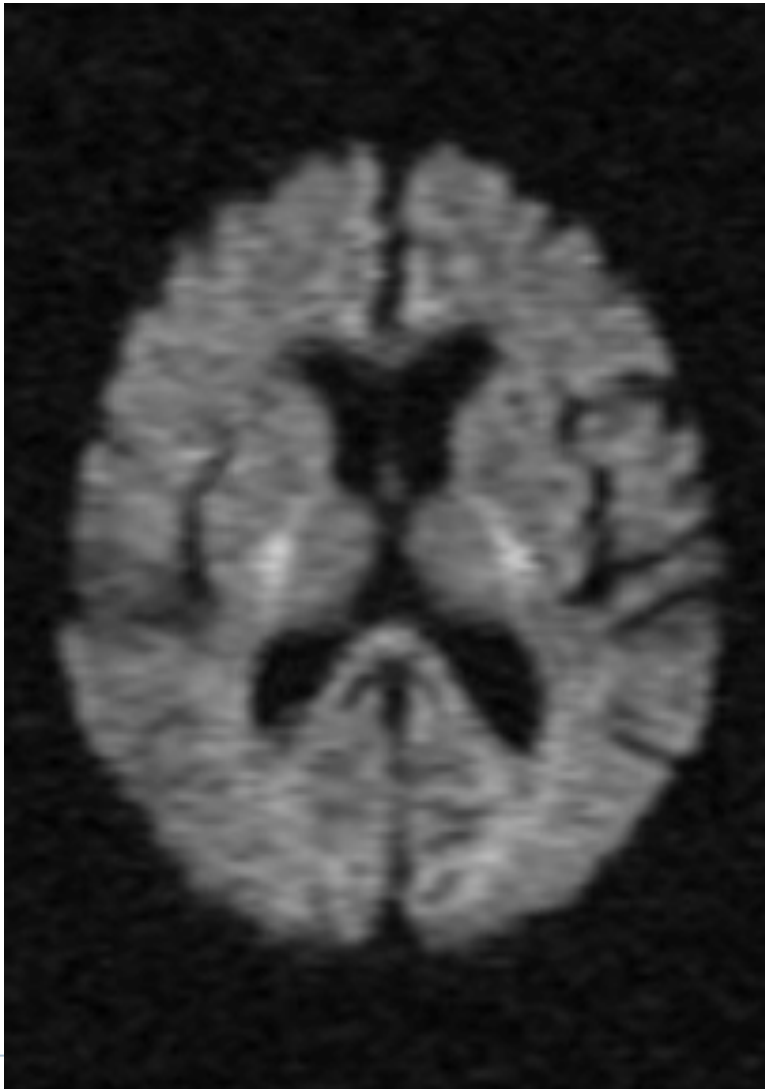
共鳴周波数の変化量

磁場の不均一， eddy current(残留磁場)

+ MPGに印加による eddy current(残留磁場)



PIを使用しないで，ひずみなく撮影可能



128 x 128 (fM) * (pM)

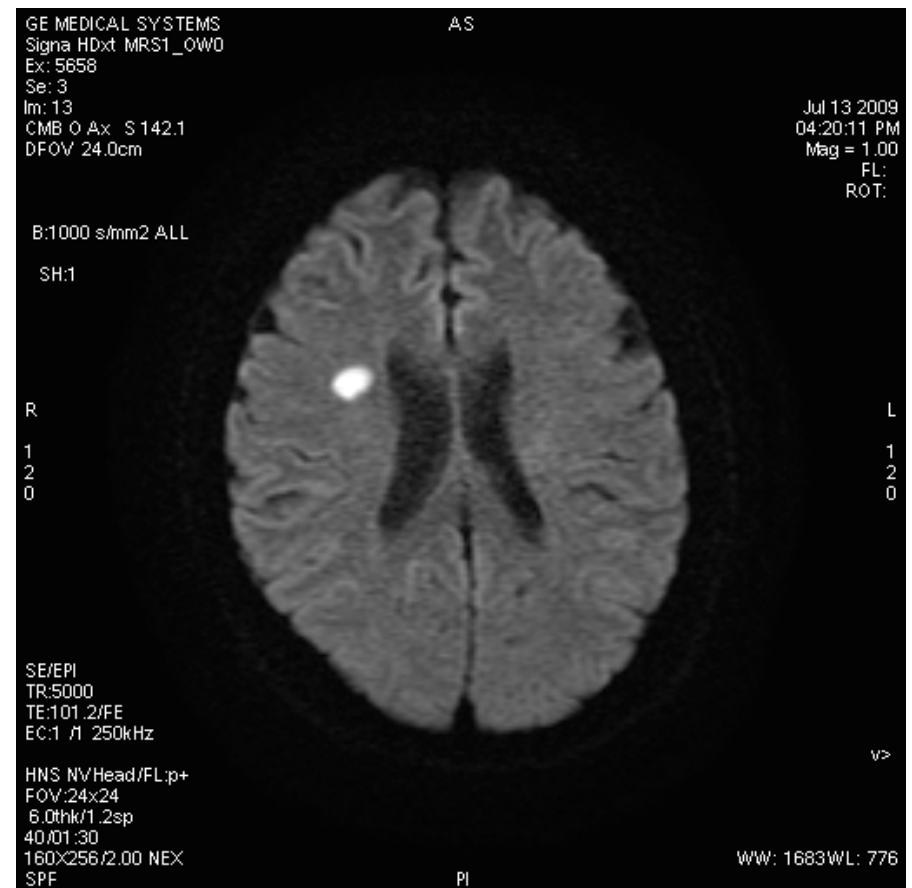


128 x 192 (fM) * (pM)

Phase F0V0.6

位相マトリクスを増やすと
ひずみが大きくなる→間違い。
一ピクセルの大きさが小さくなることに
よってSNが担保されれば，ひずみの小さい
拡散強調画像を得ることが可能である

SNが担保された状態での高分解能撮影



160 x 256

SNが担保された状態での高分解能撮影

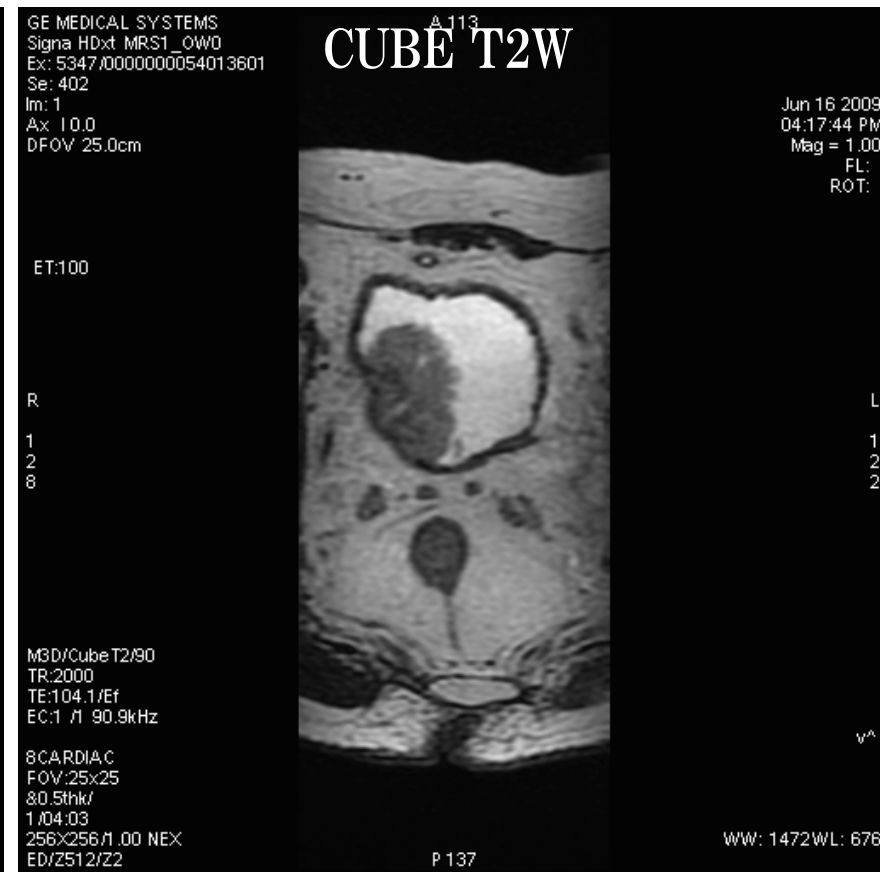
前立腺癌症例



高分解能 160×256 b1500

SNが担保された状態での高分解能撮影

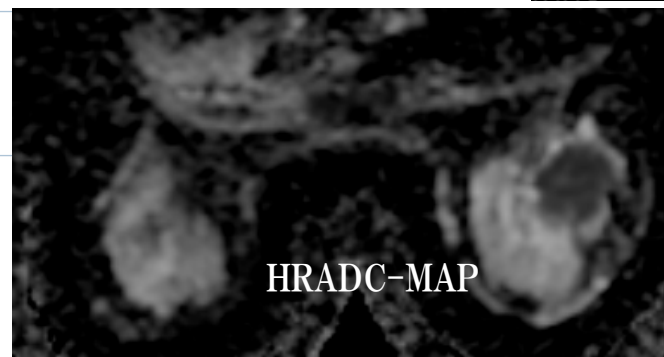
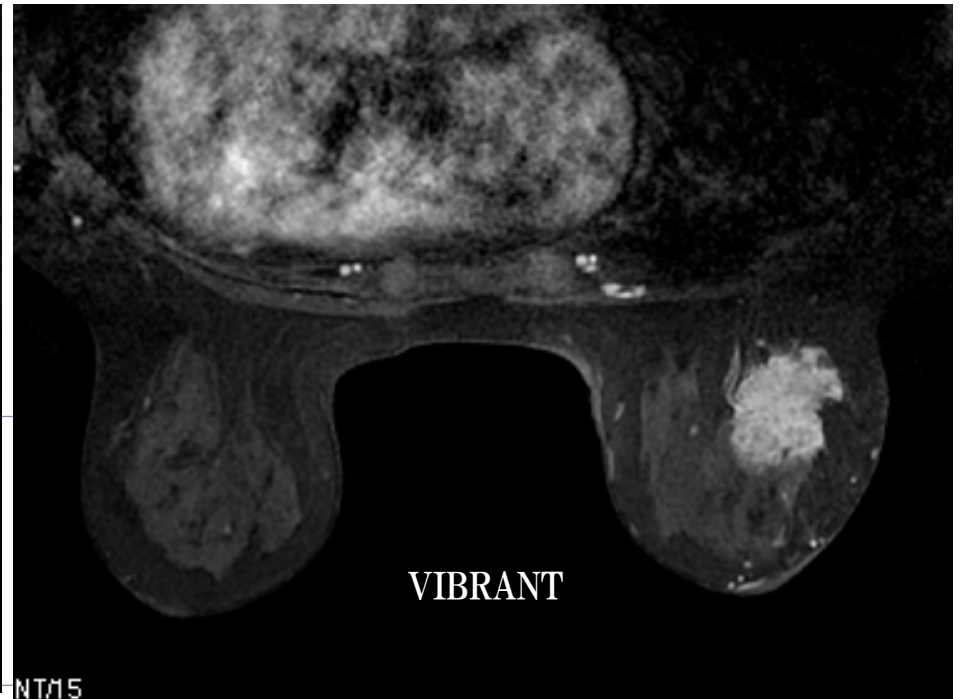
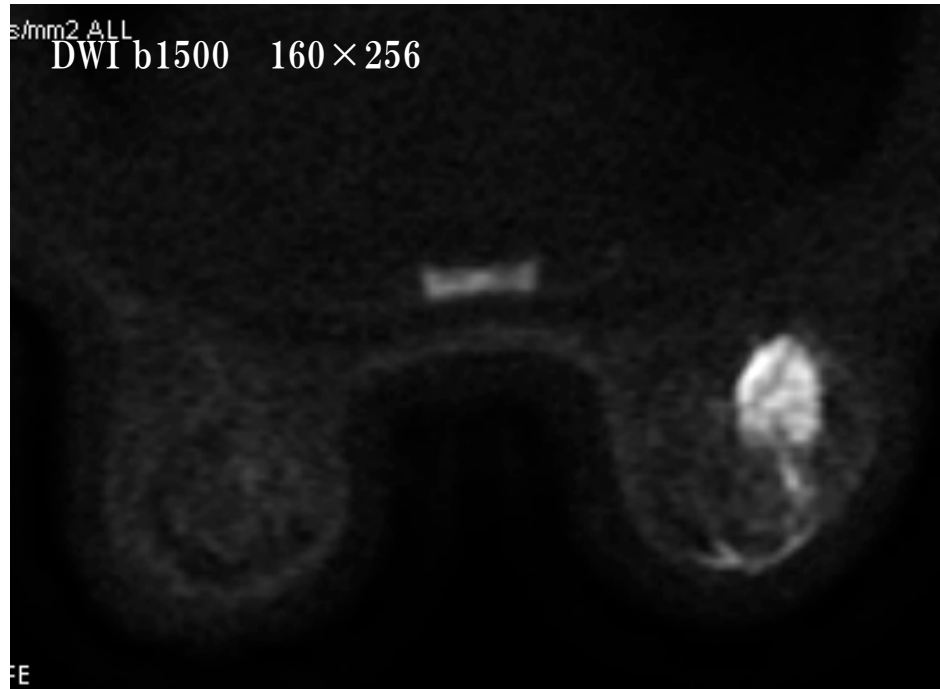
膀胱癌



高分解能 160×256

膀胱に関してはDWIでStaging分類が可能とされている。

SNが担保された状態での高分解能撮影 乳癌



拡散強調画像の実際

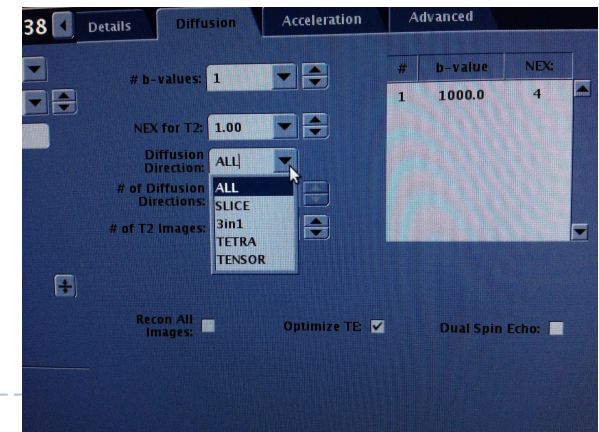
ALL:通常のDWI AP, SI, RL 各軸の画像を加算平均

SLICE:選択した軸のみのDWI画像を作成

3in1:3軸同時にMPGを印加, isotropic DWI画像は生成不能

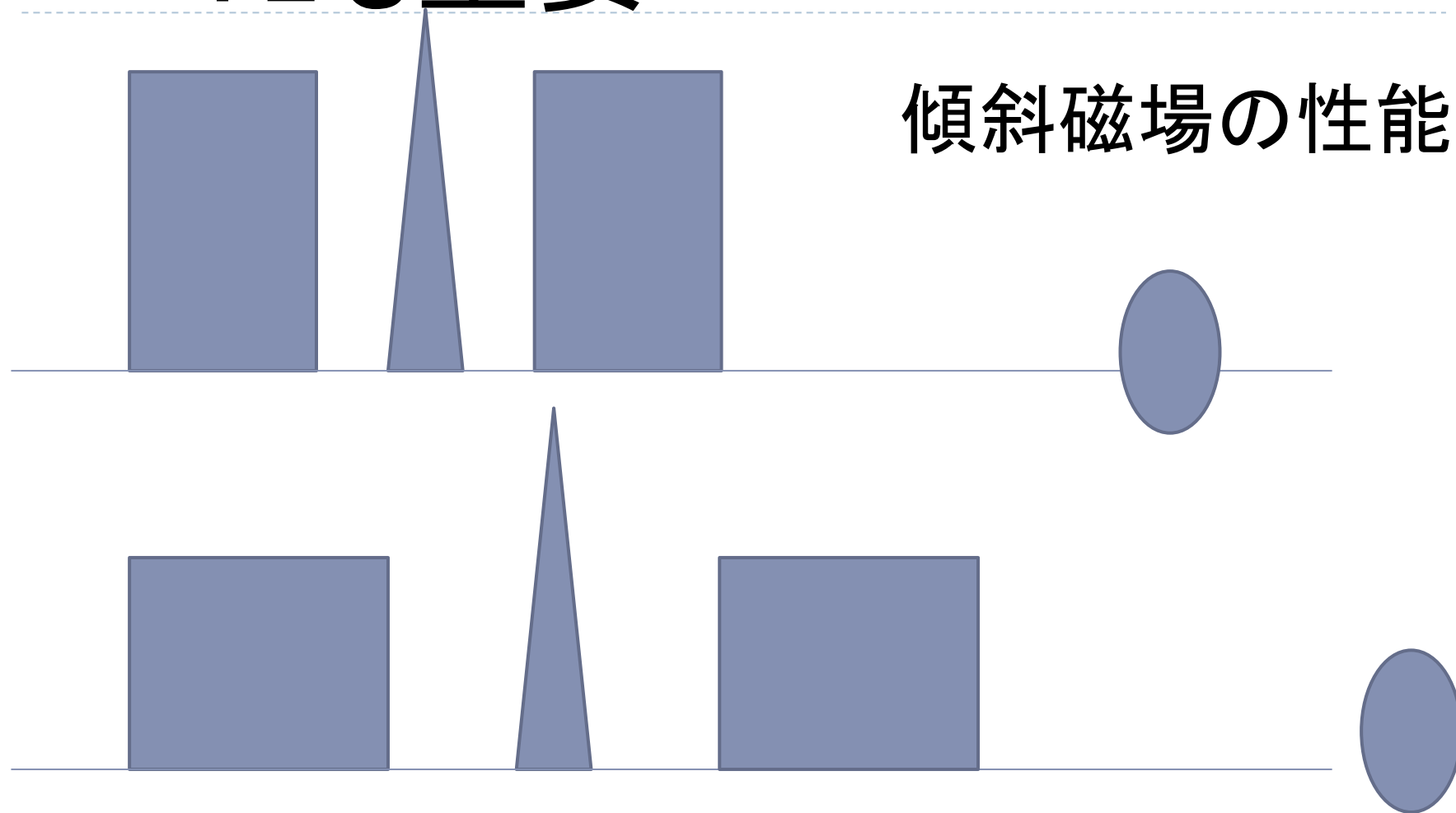
Tetra:3軸同時にMPGを印加, 但しTetraでは異なるMPG印加パターンを4回組み合わせて撮像を行い, isotropic DWI画像を作成する。

TENSOR:TENSORを撮影する際に使う。



TEも重要

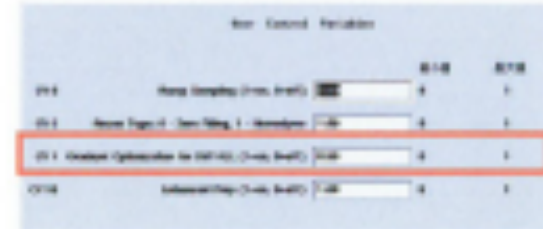
傾斜磁場の性能



ALLを選択. Advanced Option:GOP

2) Gradient Optimization (CV7)

UserCVs スクリーンのCV7をOn(=1)にすると、MPGが2軸に同時印加され、TEが短縮します。通常の撮像同様にIsotropic DWIを生成します。



38 Details

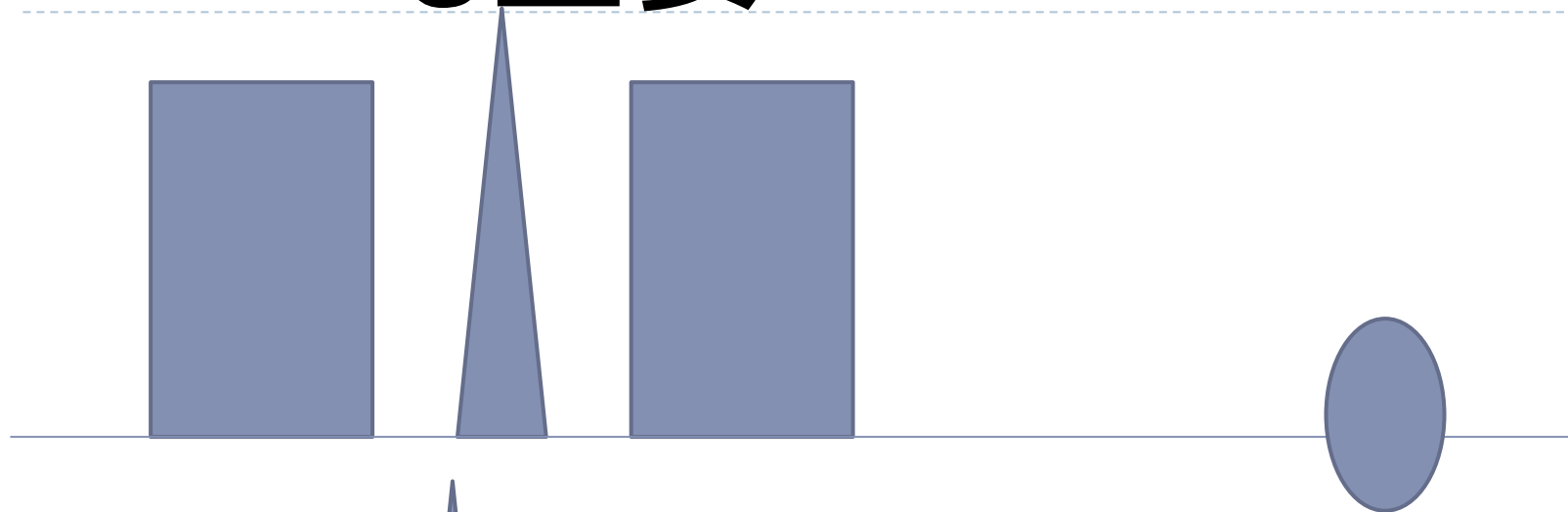
User Control Parameters

		Min	Max
CV0	Ramp Sampling (1=on, 0=off):	1.00	0.0 1.0
CV5	Recon Type (0=Zero Filling, 1=Homodyne):	1.00	0.0 1.0
CV7	Gradient Optimization for Diffusion ALL (1=on, 0=off):	0.00	0.0 1.0
CV9	Shim Volume Mode (0=Default, 1=Breast):	0.00	0.0 1.0
CV17	Integrated Reference Scan (1=on, 0=off):	1.00	0.0 1.0
CV18	Enhanced Fat Suppression (0=Off, 1=On, 2=Breast):	0.00	0.0 2.0

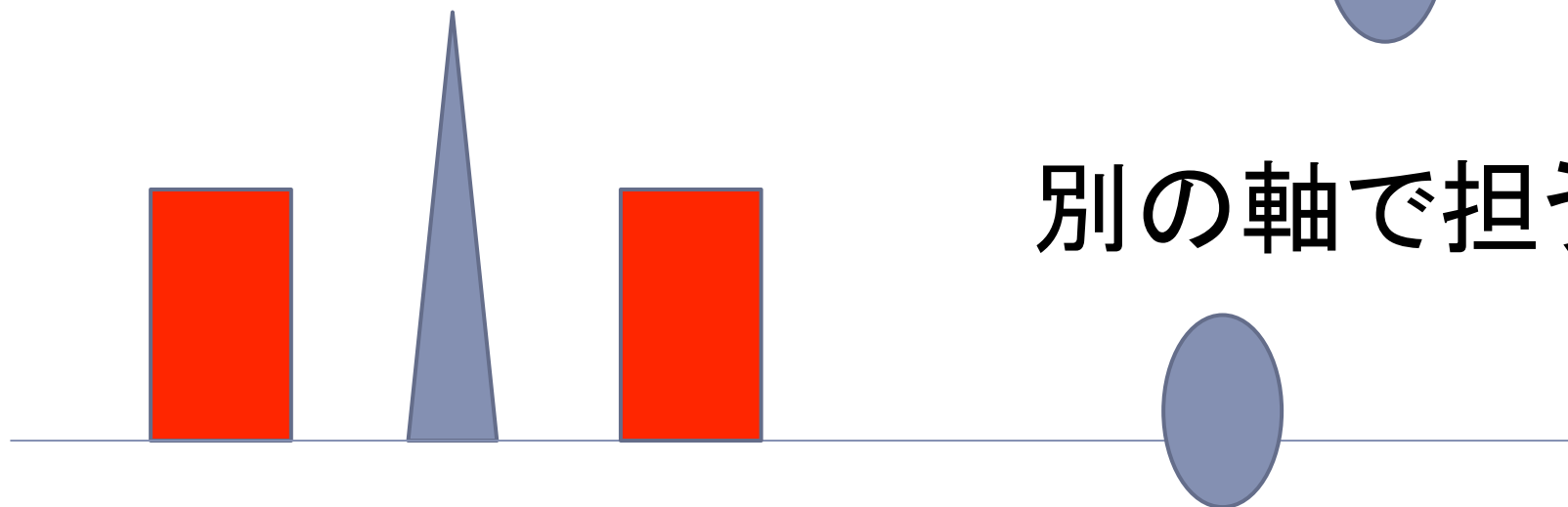
ALLを選択して、CV7を選択すると、2軸に同時印加して3方向加算すると、isotropic DWIができる

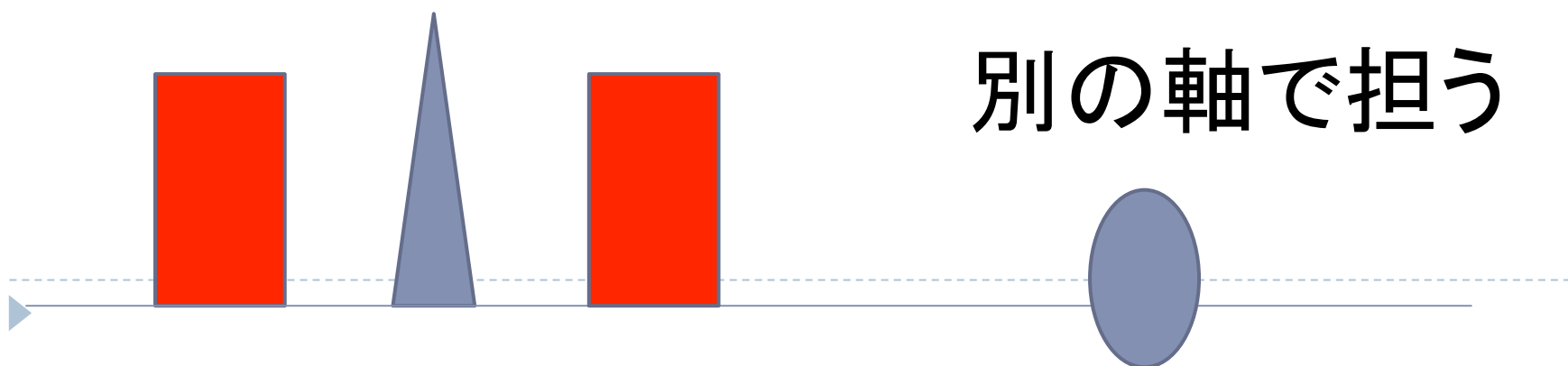
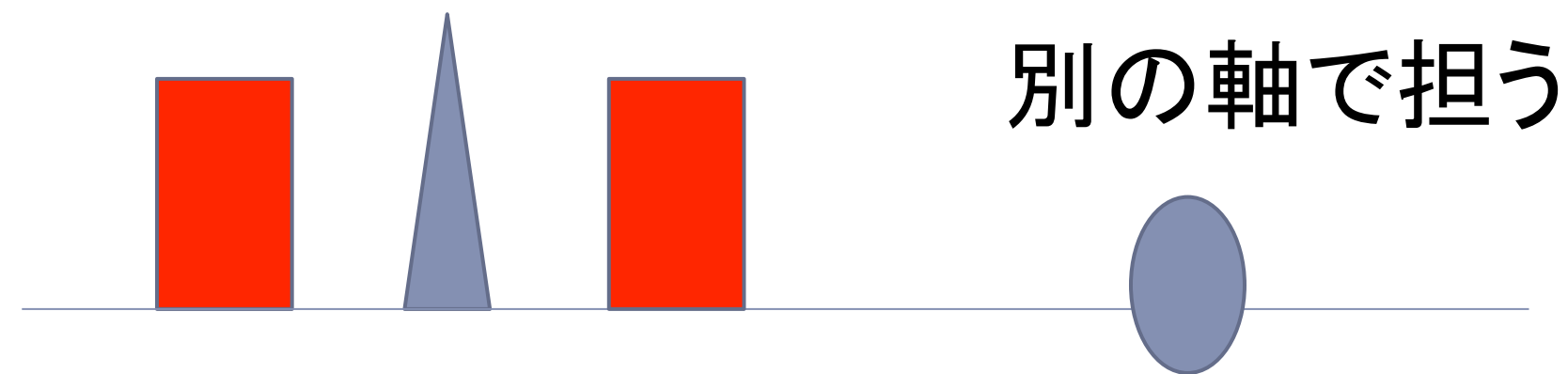
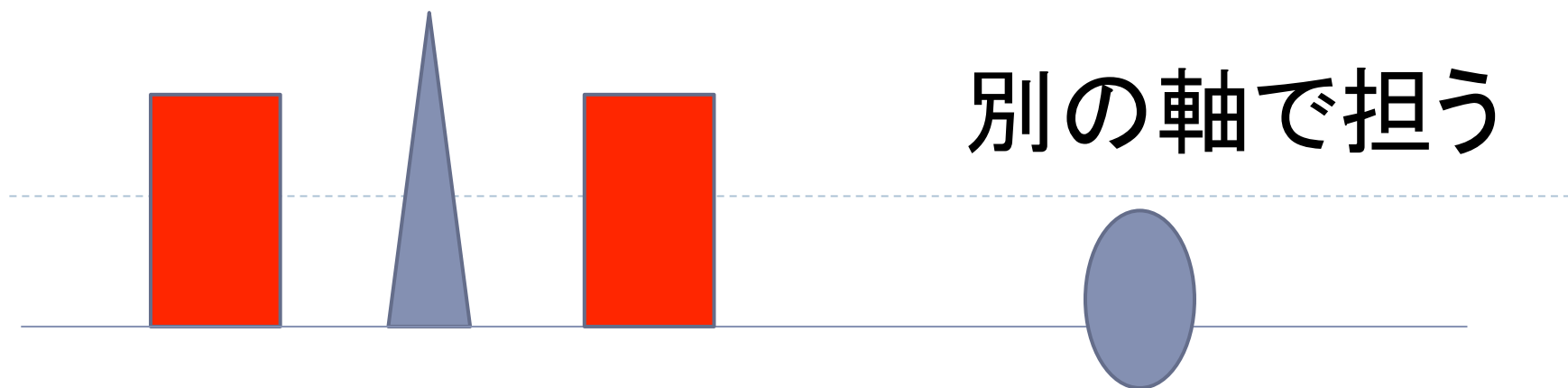
- ▶ TEが短縮されるので、背景信号の描出改善:よりT2の影響が小さくなる

TEも重要



別の軸で担う

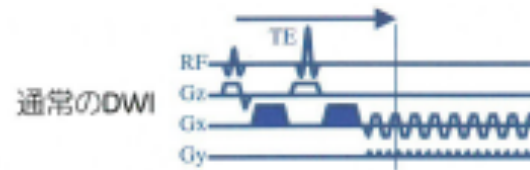




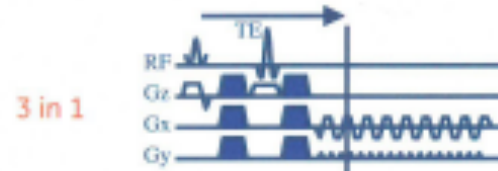
3軸同時印加法 3 in 1, TETRA

enhance DWI(eDWI) 3 in 1

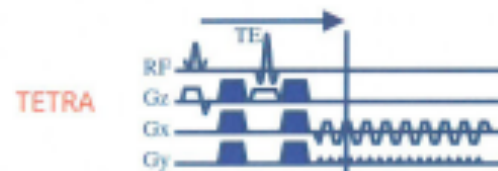
TEが短縮されるので、背景信号の描出改善:よりT2の影響が小さくなる



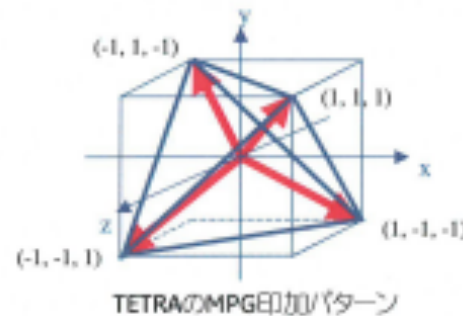
図はX軸の場合ですが、Allを選択するとY軸、Z軸についても同様に撮像し、計3回の撮像でIsotropic DWI画像を生成します。



3 in 1は、3軸に同時にMPGを印加することで、TEを短縮することができます。NEXを増やした場合は、同じパターンを繰り返し撮像しますので、Isotropic DWI画像は生成されませんが、ADC計測には不向きです。



TETRA (Tetrahedral encoding) は、3 in 1と同様に3軸同時にMPGを印加します。但し、TETRAでは、異なるMPGの印加パターンを4回組み合わせて撮像を行いIsotropic DWIを生成します。



実際の使い分け(DWI種類)

1.5T 頭部： ALL

肝臓(EOB)の検査： 3 in 1 3軸同時印加

ALL:GOP 2軸同時印加

MRCP, 腎臓, DWIBS, 骨盤, 胸部
乳房, 前立腺 (金属が入った方)

3.0T 頭部

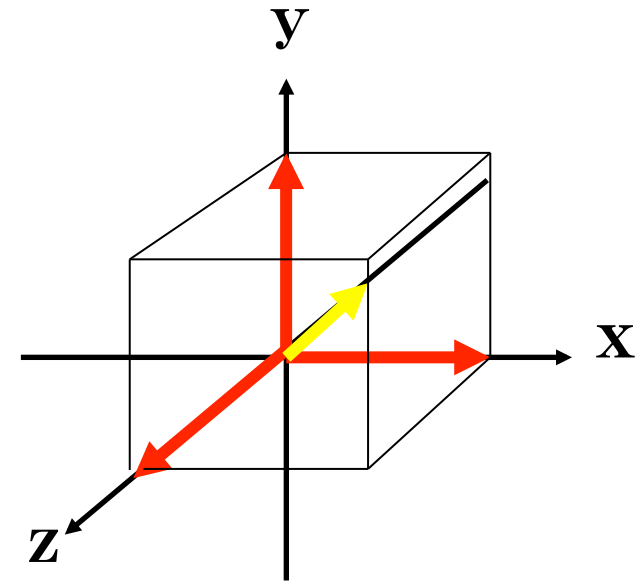
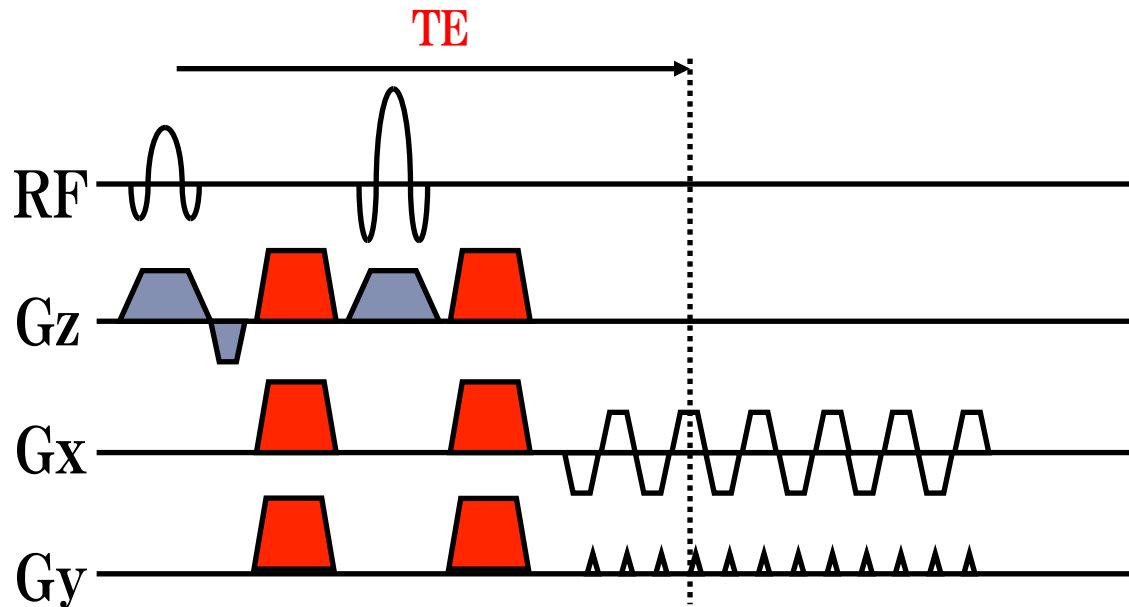
MRCP： 3 in 1

前立腺, 乳房, 骨盤： ALL:GOP



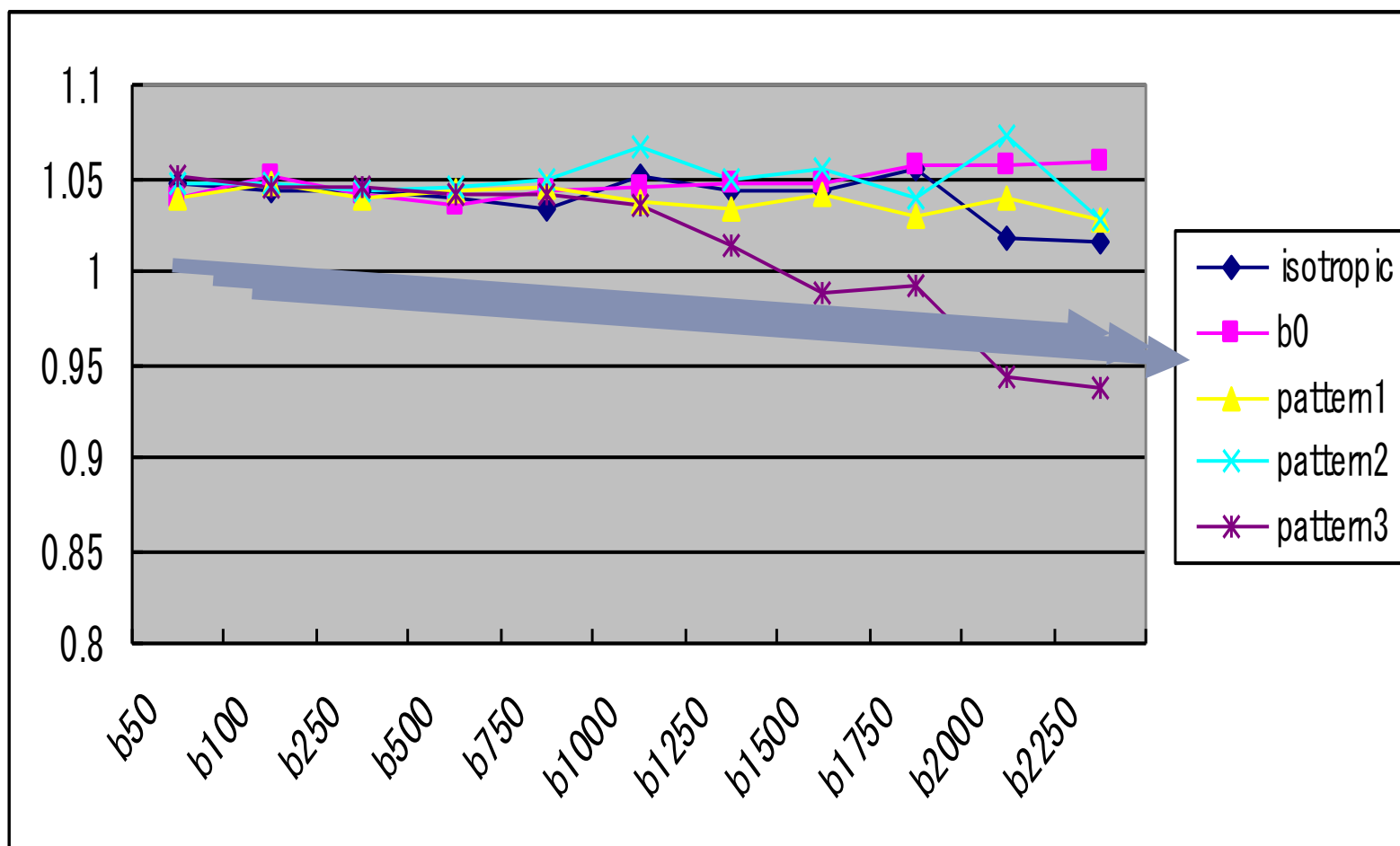
3 in 1

同じ大きさのMPGを+方向に印加する (=斜めのMPGになる)

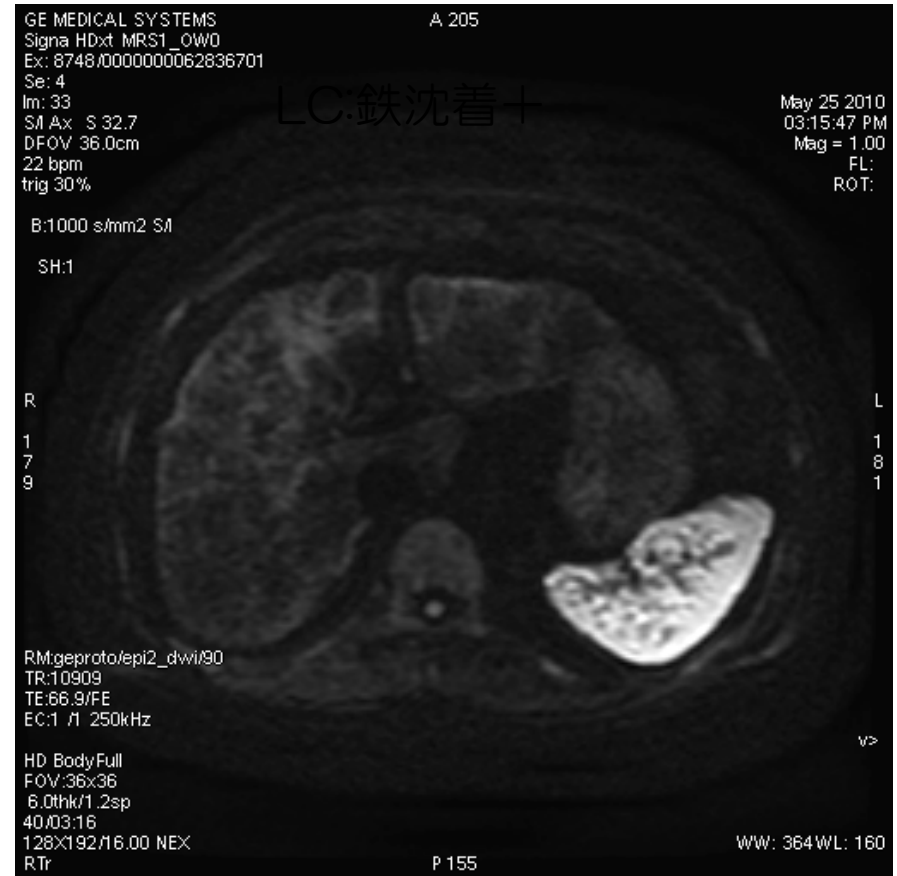


- 1軸あたりの大きなMPGを印加する時間が軽減される
=結果的にTEの短縮が可能
- 加算してもMPGの方向は1方向なので画像は暈けない

DWI DR (ひずみ)



enhance DWI(eDWI) 3 in 1



TEを短くできる=b1000を用いても背景の肝臓の信号が残る
しかもシャープな画像を取得可能

呼吸同期，非呼吸同期

1.5T 頭部

肝臓(EOB)の検査：呼吸同期

MRCP，腎臓，DWIBS，骨盤，前立腺，胸部

乳房，前立腺（金属が入った方）：非呼吸同期

3.0T 頭部

MRCP，前立腺，乳房，骨盤

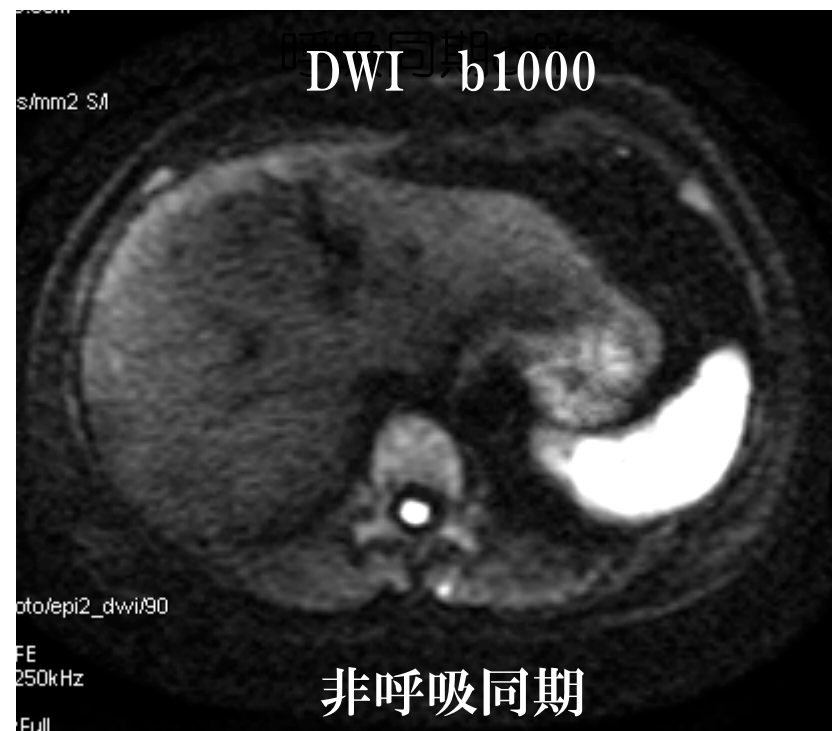
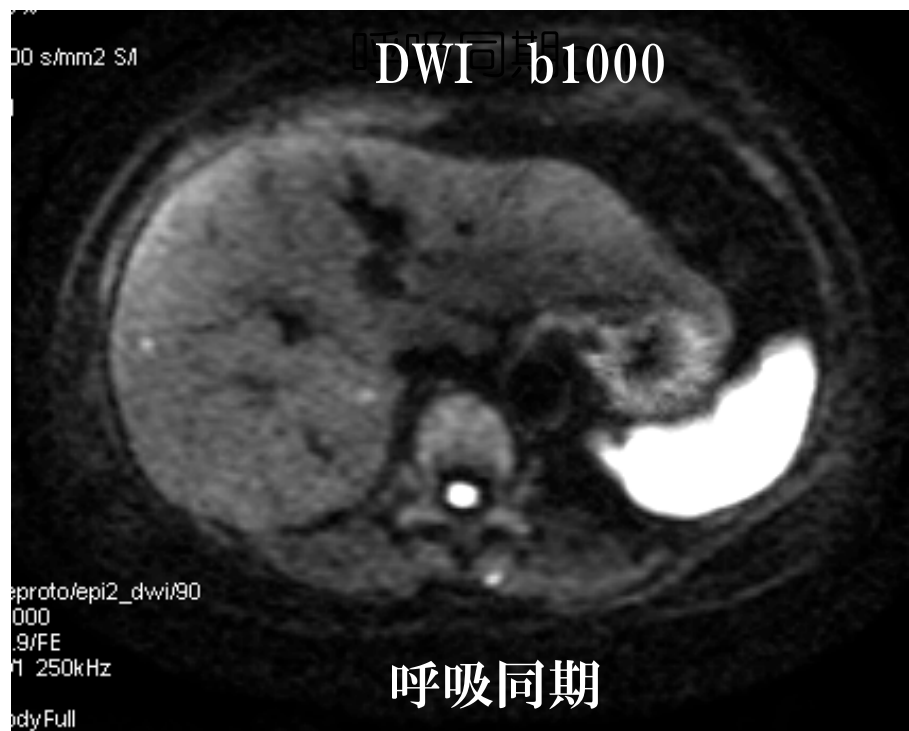
：非呼吸同期

DV24からNaviが使えるので

MRCPに関しては再考



呼吸同期が必要な理由



小さな病変は呼吸同期が有用である場合がある。



肝臓は呼吸同期を利用する

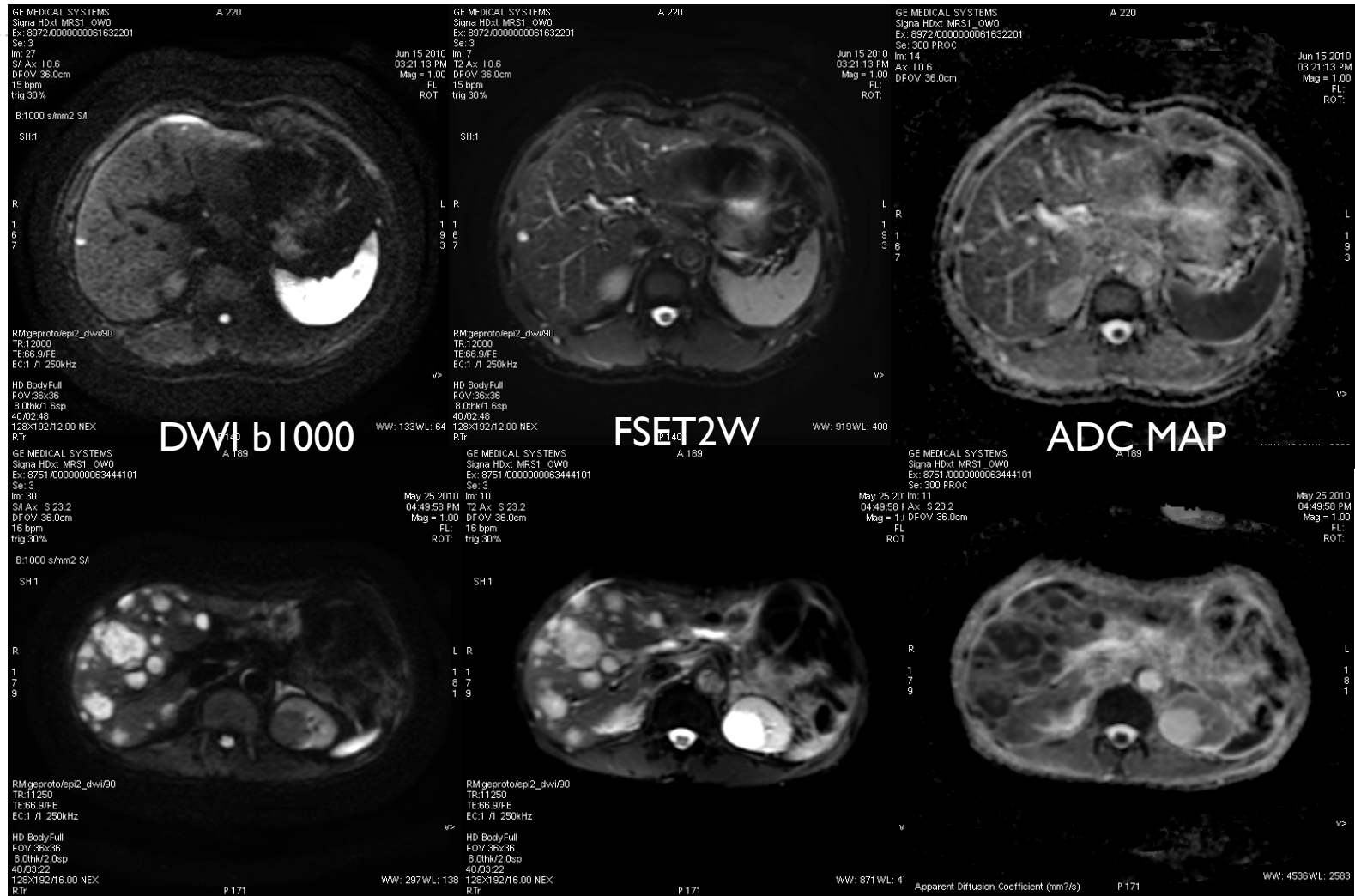


LAVA



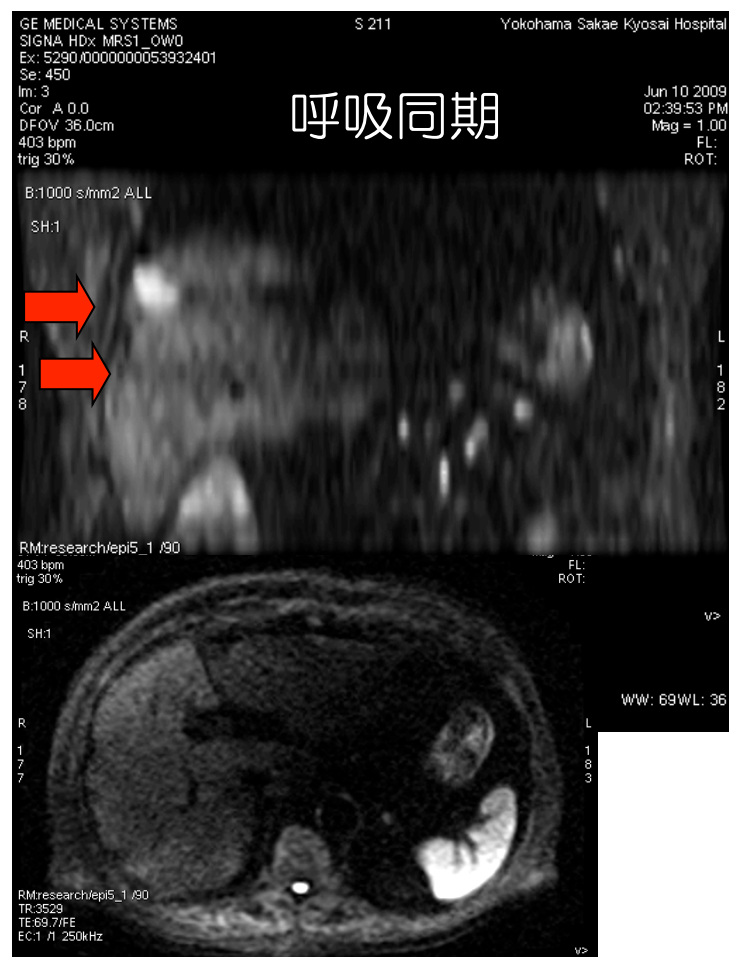
b1000

ADC MAP



ひずみ方向が一定なので、量けない。呼吸同期で良好に撮像できれば量けないので、非常に明瞭なADC MAPを作成可能である

呼吸同期DWI VS 非呼吸同期



呼吸：生体動作の中で、一貫性がなく、不規則
呼吸同期，非呼吸同期共に利点，欠点が存在する。

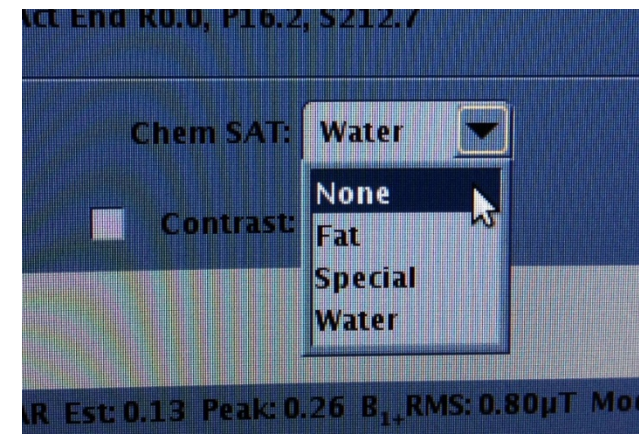
実際の使い分け(脂肪抑制)

1.5T

頭部, 肝臓(EOB), MRCP, 腎臓, 骨盤, 乳房, 前立腺
(SSRF=水励起)

頭部 thin slice 3D DWI (FAT)

頸部, 胸部, DWIBS, 四肢 (STIR)



3.0T

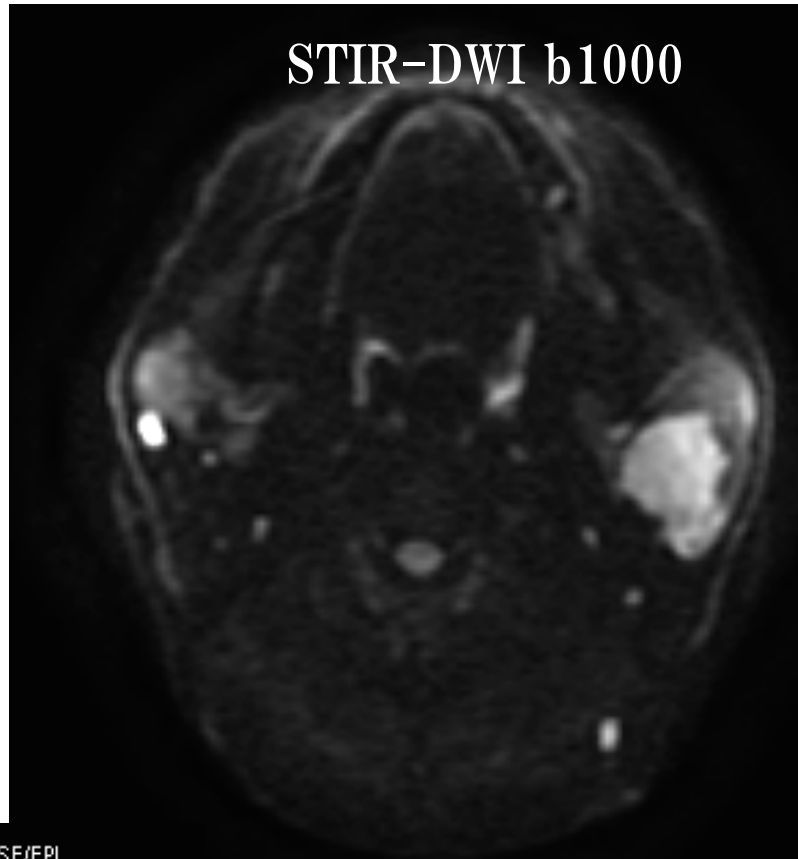
頭部(SSRF+Special)

MRCP, 前立腺, 骨盤 (SRF+Special)

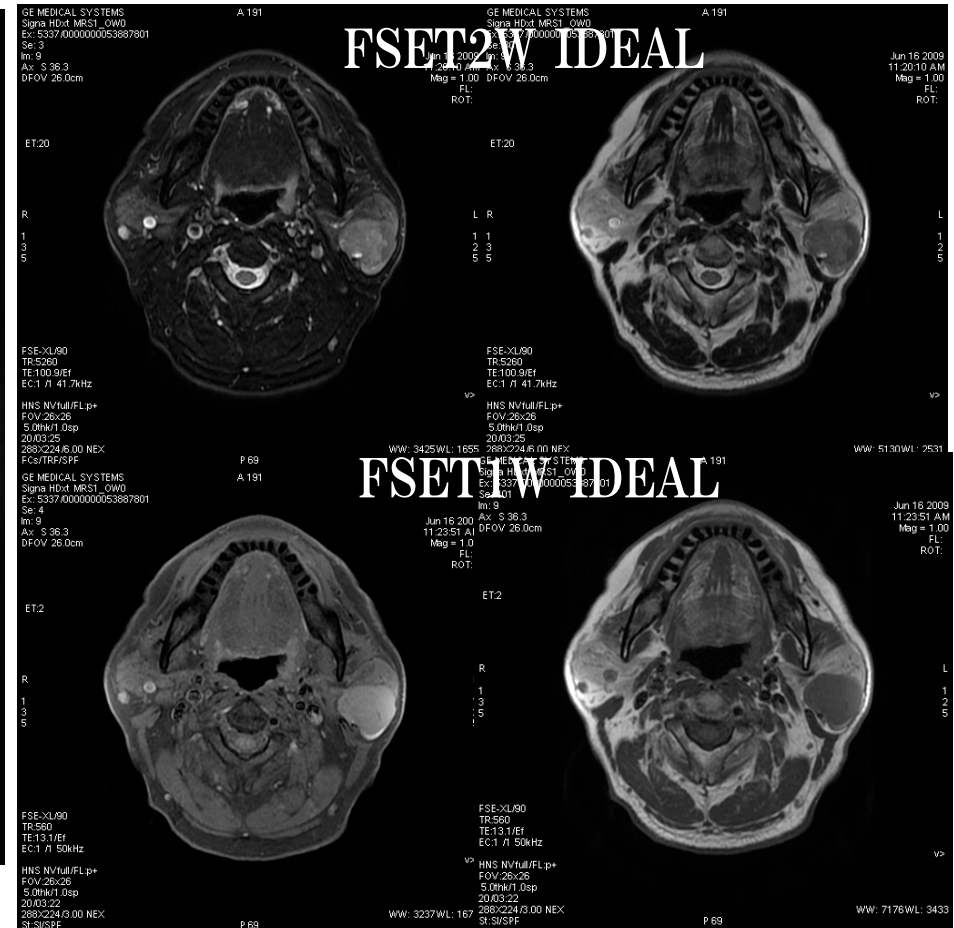
乳腺 (SSRF+Special) or STIR

Specialを使用するとIR preparedは使えない

耳下腺腫瘍(STIR-DWI)

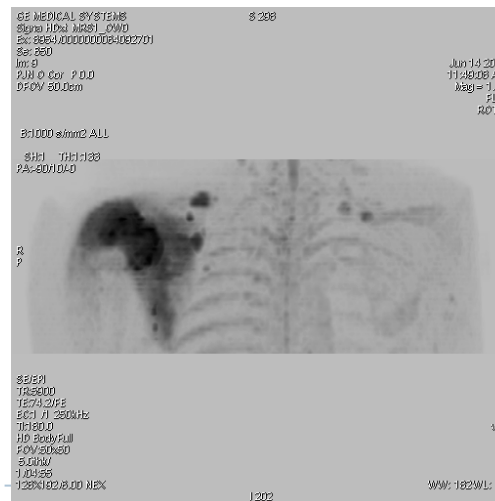
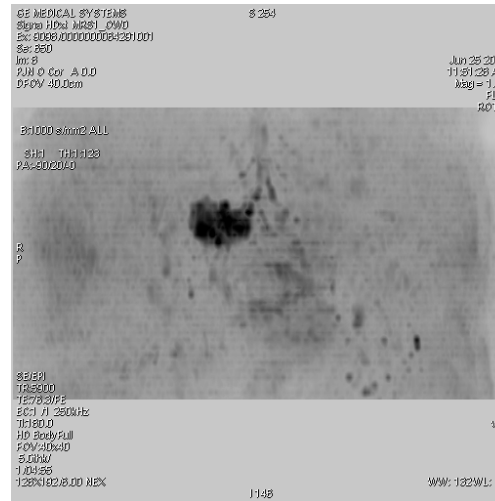
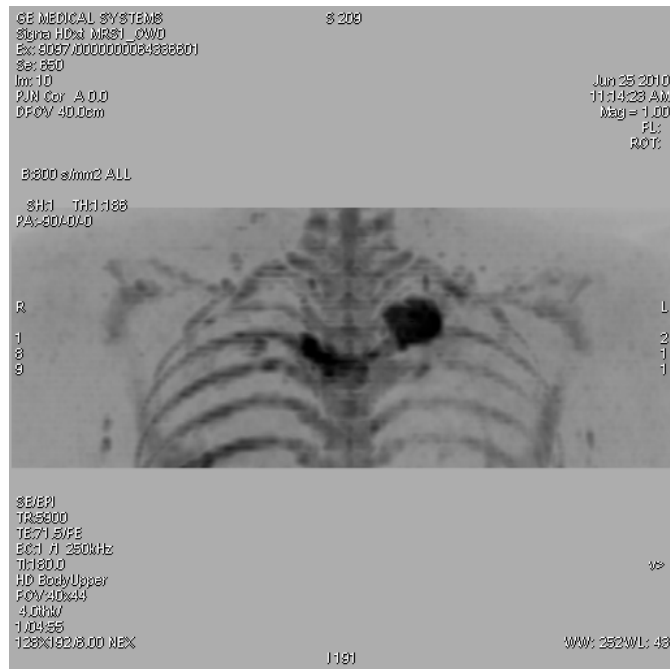


SE/EPI
TR:6050
TE:78.2/FE
EC:1 /1 250kHz
TI:180.0
HNS NV/full
FOV:36x36
5.0thk/1.0sp
40.03:20
140X224/8.00 NEX
SPF



磁化率アーチファクトが考慮される場合はSTIRを併用

DWIBS : STIRで背景信号を 確実に抑えておく

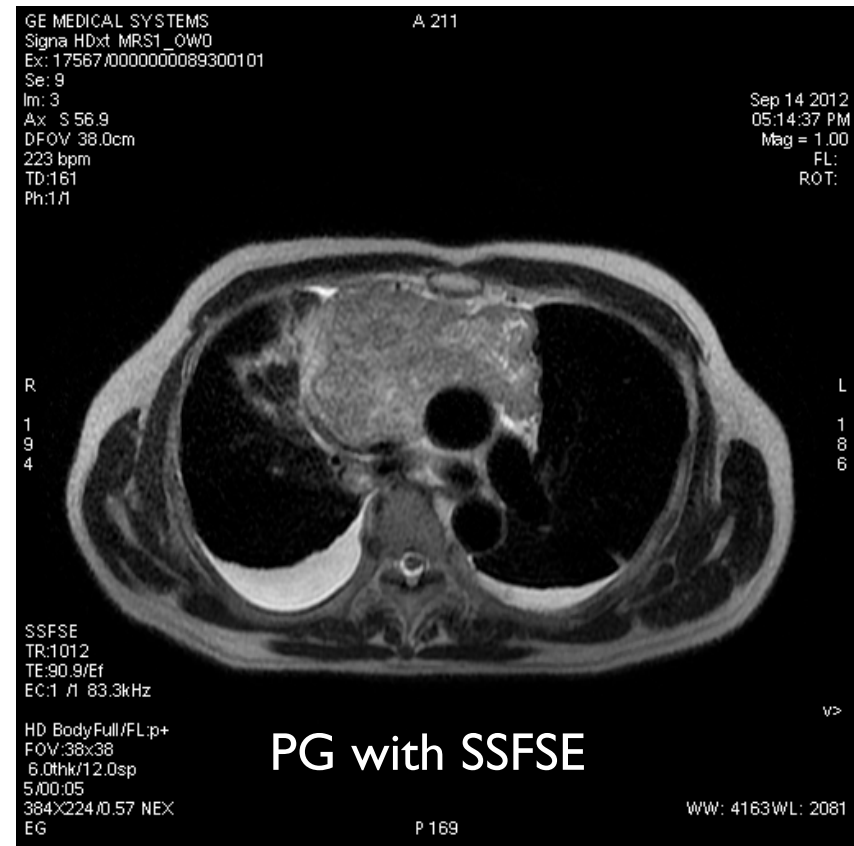


長野市民病院 小林先生

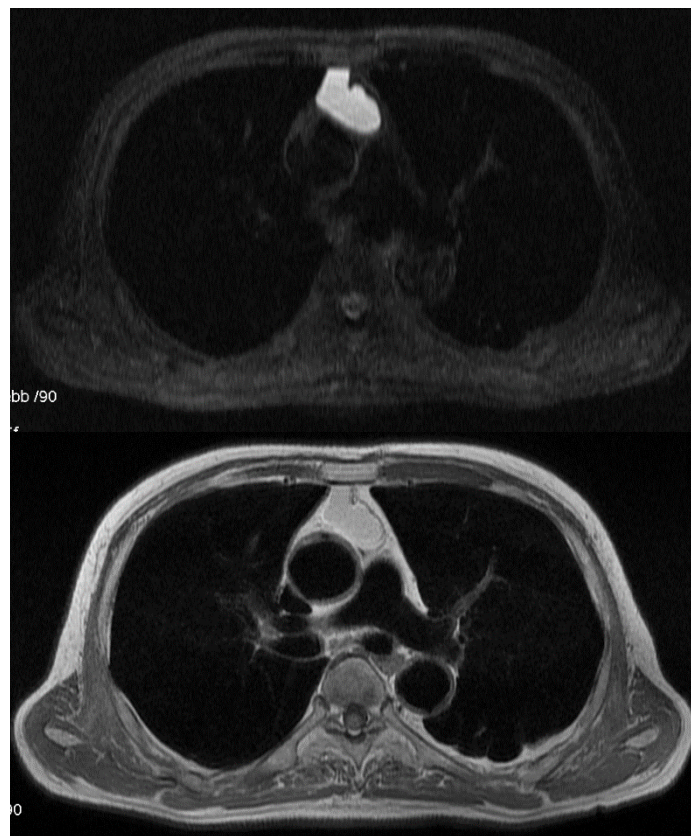


このスライス1枚でチューニング
上下スラブ間で共鳴周波数, Grad Shim
は同一
：リファレンススキンのみおこなう

胸部腫瘍 (STIR-DWI)



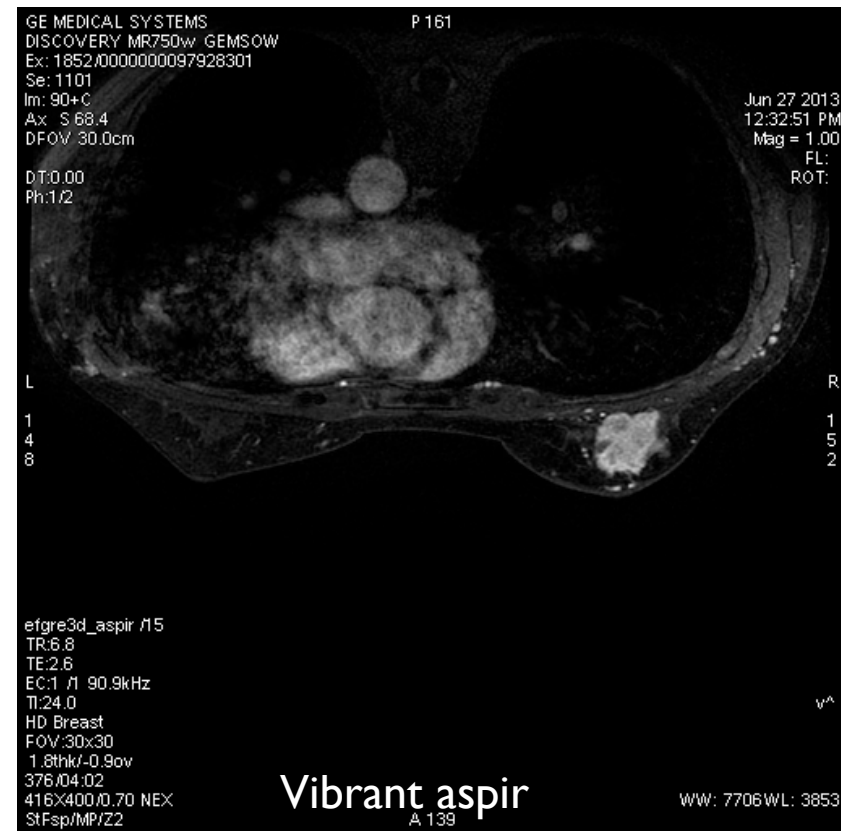
STIRが悪い影響をおよぼす疾患



T1値が短い腫瘍はIRパルスで
マスクしてしまう

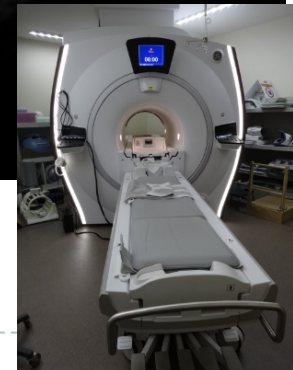
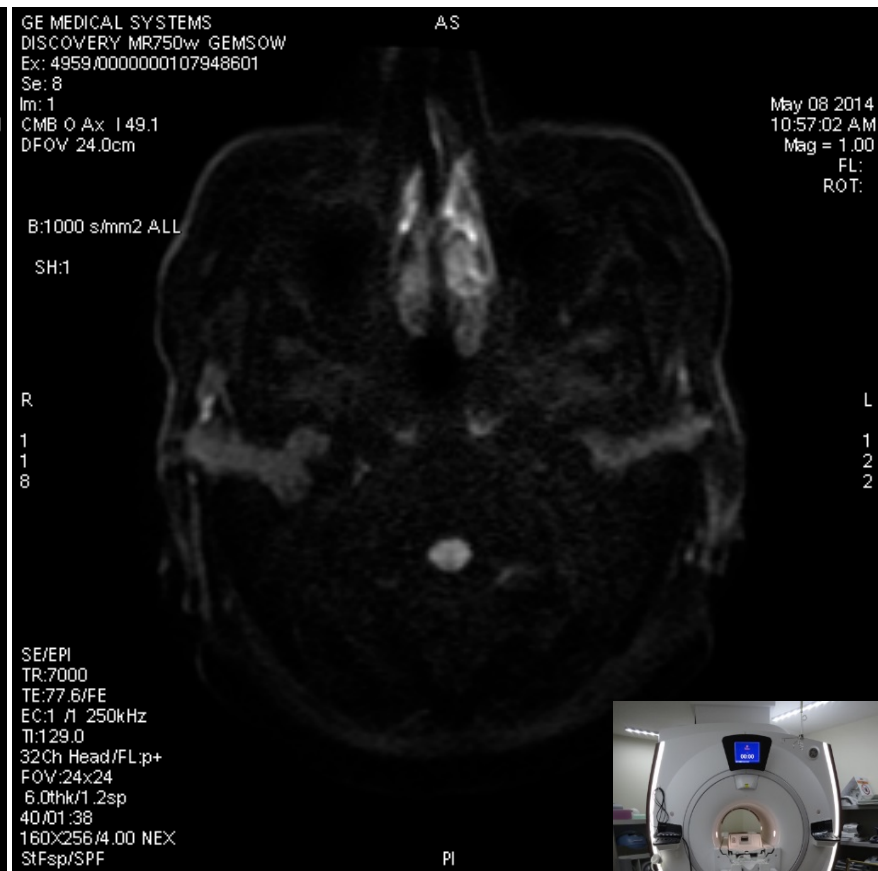


乳癌 STIR法を選択 3.0T



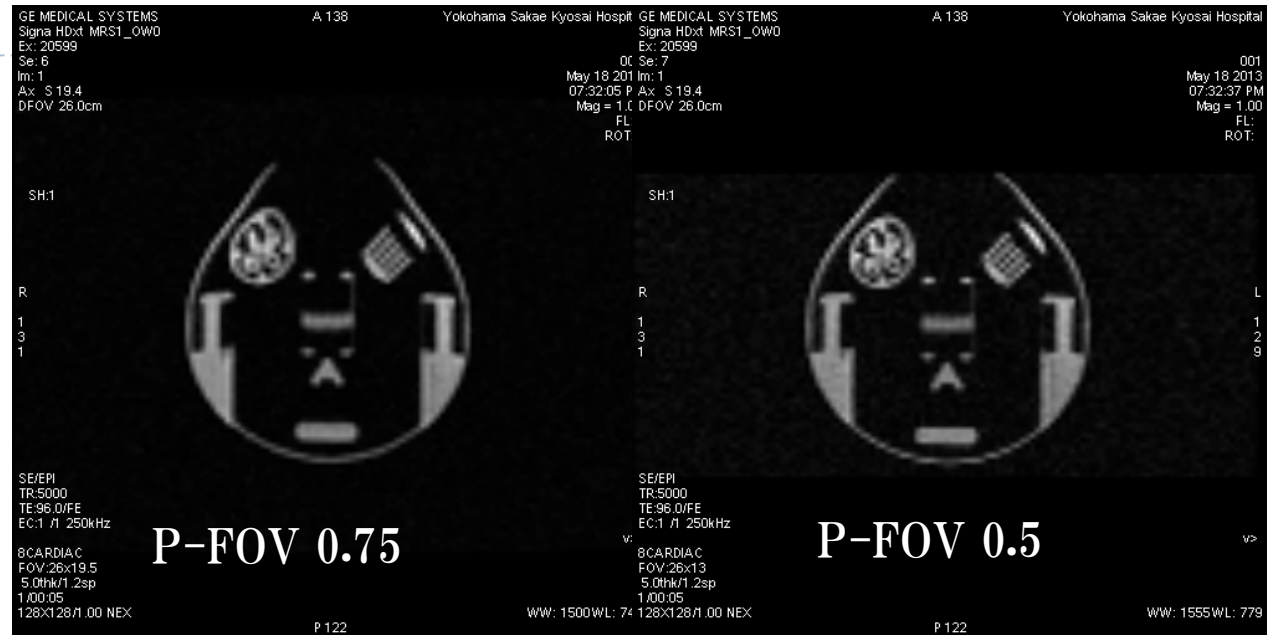
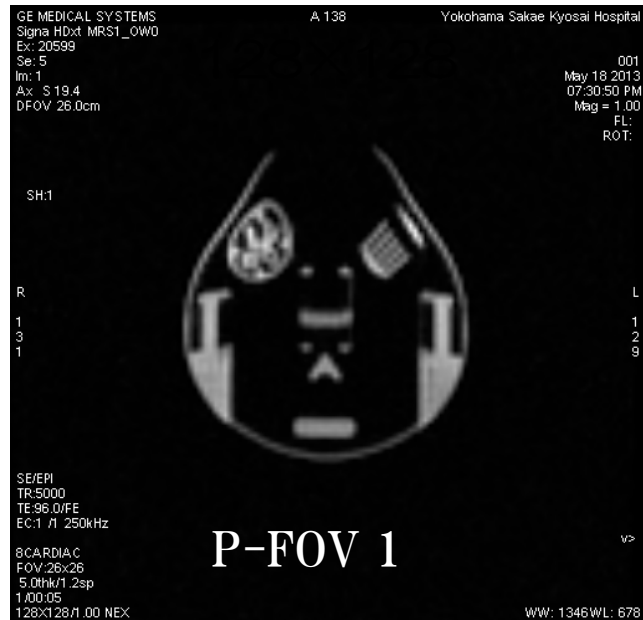
非常に歪の小さな拡散強調画像を得ることができるが、闇夜のカラス状態で背景信号抑制が強すぎる。求めているのはこれではない。

3T SPSP単独よりもSpecial併用が良い

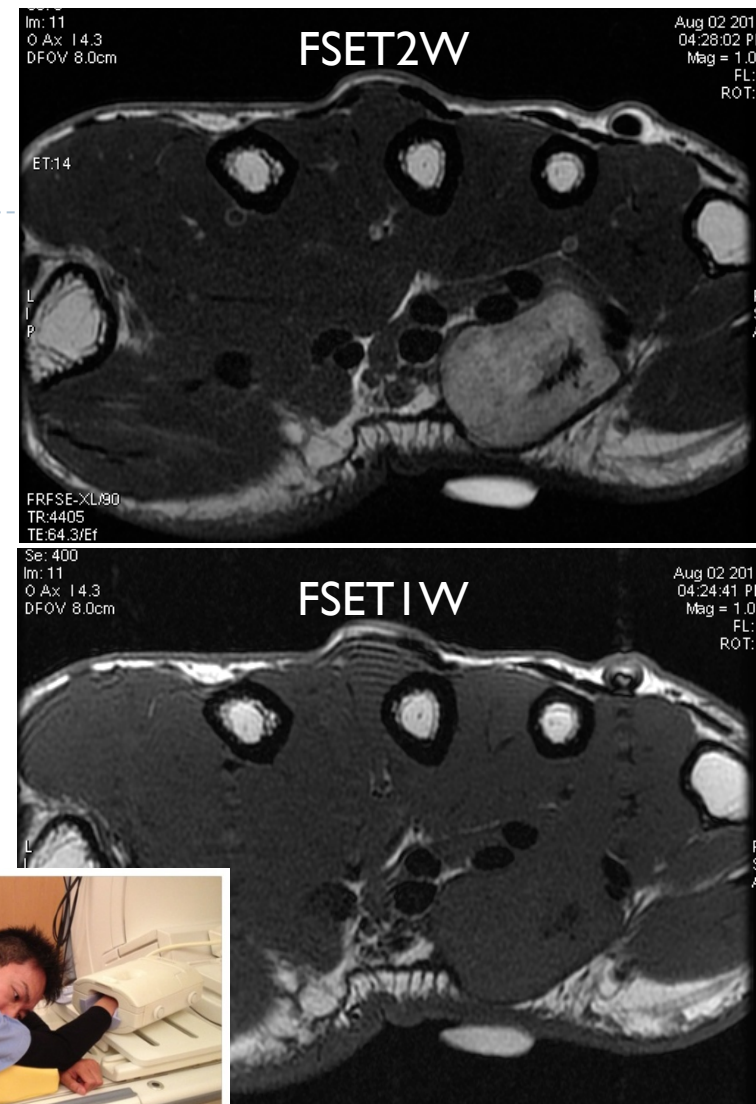
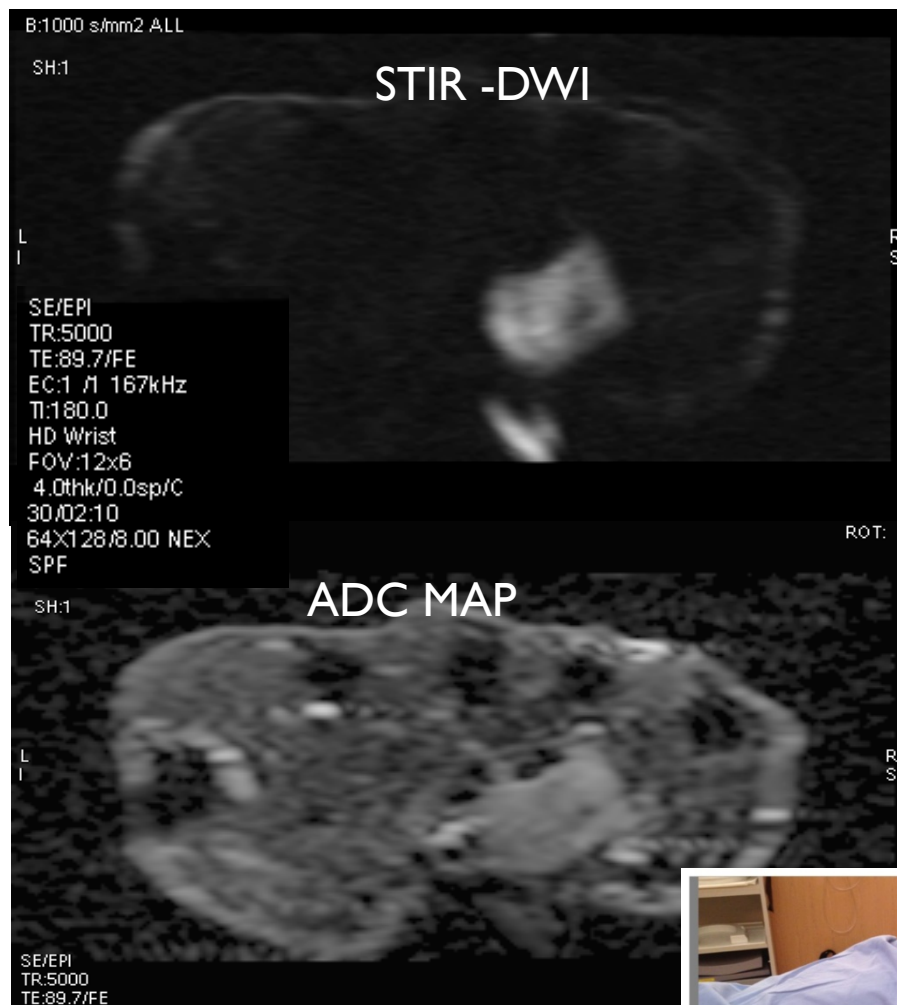


3T=磁場の不均一の影響が大きく出る．従来はSPSPを用いていたが上図のように脂肪抑制不良のアーチファクトが問題となっていた．ChessパルスによるSpecialにするとアーチファクトが回避された

Phase FOVを小さくする



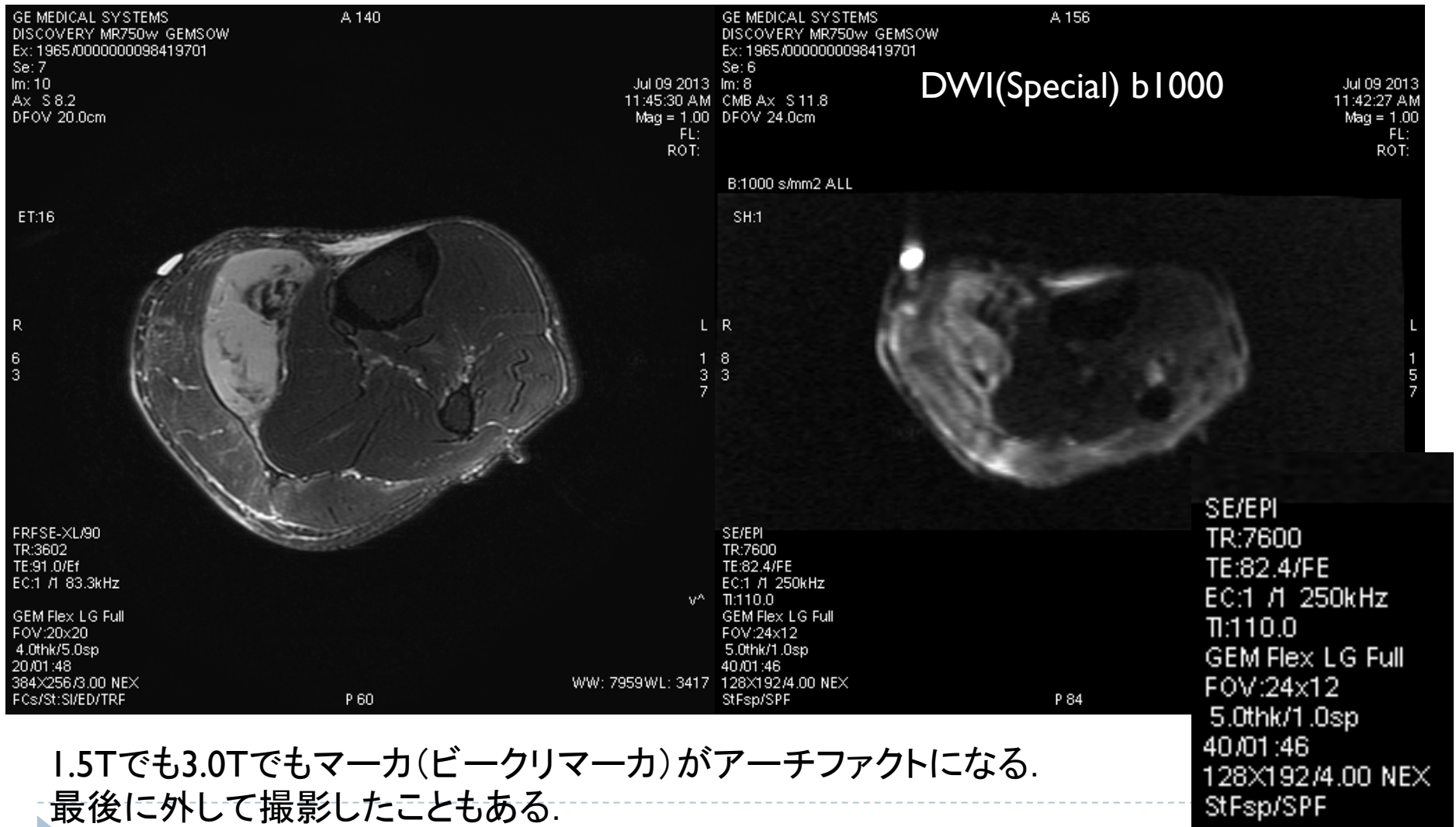
Phase FOVの値を小さくする(長方形FOV)にするとひずみは小さくなる。



四肢の軟部腫瘍のオーダが多い。単純撮影が多いため放射線科医からDWIを撮影するように求められる。

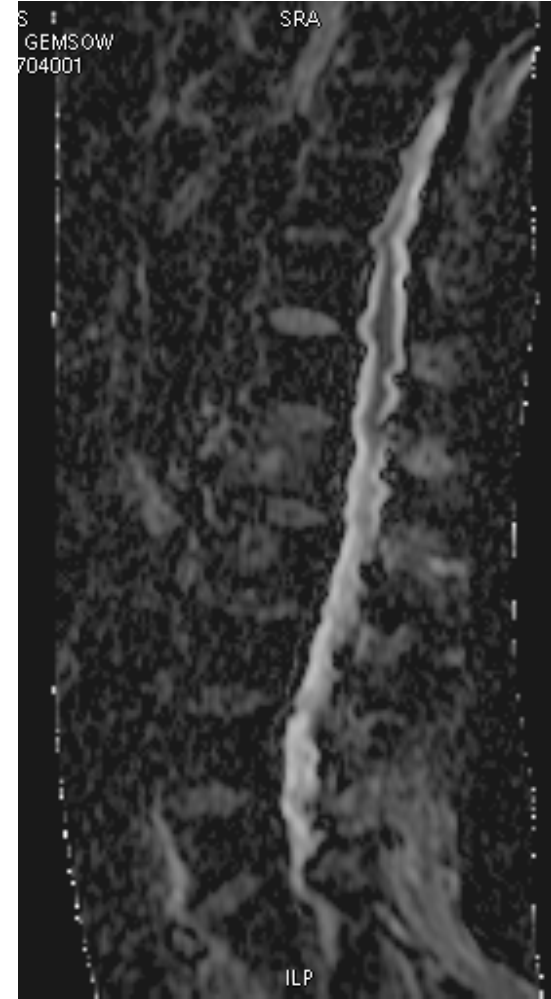


四肢も果敢に挑戦 3.0T



脊椎の矢状断撮影 3.0T

SE/EPI
TR:5000
TE:68.3/FE
EC:1 /1 250kHz
TI:113.0
TL Spine 48 1
FOV:36x18
4.0thk/1.5sp
34/02:10
128X100/8.00 NEX
St:apFsp



同様の原理で脊椎を撮影。3.0Tでは限界か？1.5Tではこの方法で十分いける

b1000 FOV28cm nonPI

SH:1

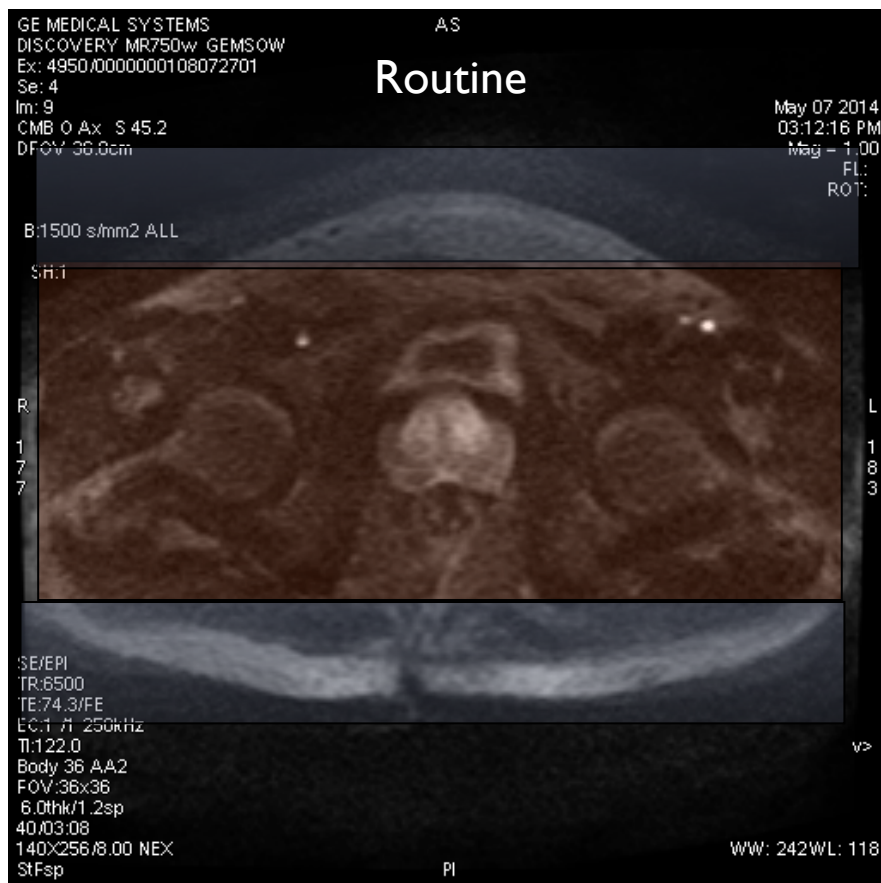
SE/EPI
TR:6500
TE:69.2/FE
EC:1 /1 250k
TI:122.0
Body 36 AA
FOV:28x14
6.0thk/1.2sp
40/02:42
128X80/16.0
St:apFsp

SE/EPI

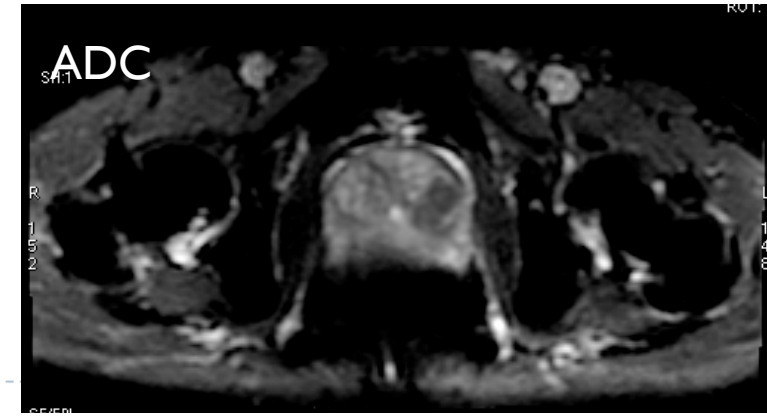
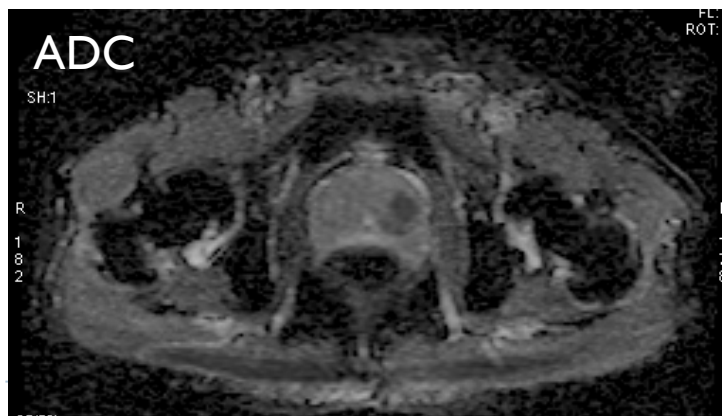
今年の画像コンテストに出します

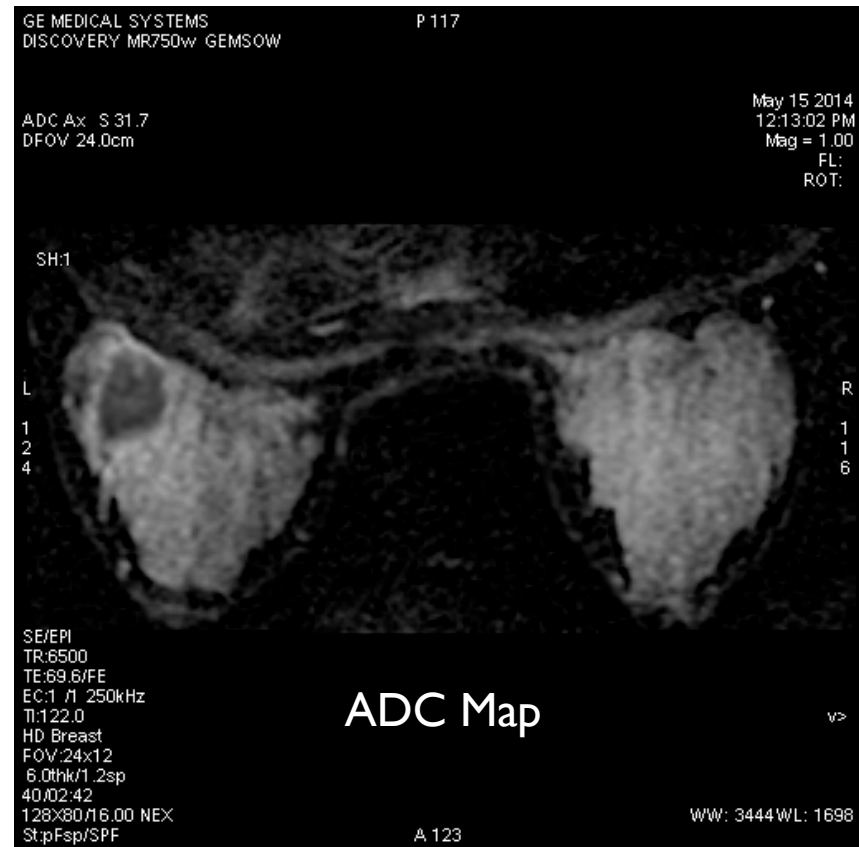
Focus もどき DWI 3.0T

撮影法



前立腺癌：ADC MAP重要





問

EPIの画像特性について，次の記述で正しい文章を選択してください．

1. EPIの画像のひずみは位相方向よりも，周波数方向で顕著である．
2. EPIは磁化率アーチファクトに強いシーケンスである．
3. EPIでは通常脂肪抑制技術を用いて，撮像をおこなう．もし脂肪抑制しないと周波数方向にchemical shiftが現れる．
4. EPIのひずみを改善するのに受信バンド幅を変更した．この時エコー間隔を最大になるように設定した．
5. EPIでは頭部において拡散強調画像によく用いられる．



謝辞

- ▶ 日本医科大学病院 土橋俊男
- ▶ 北里大学病院 秦 博文
- ▶ GEヘルスケアジャパン 尾崎正則



最後にこれだけは言いたい！！

カーマインガロ著

ホームレスから億万長者になった クリス・ガードナー
：映画ウイル・スミス 『幸せのかたち』

大好きなことをしていれば、さまざま
な形で魔法が働くようになると思います
す。大好きな仕事なら、まわりの人よ
りも熱意をもって働けるはずです。

