

2023/2/10
神奈川MRI研究会
Web開催

肝 MR Elastographyの基礎知識

横浜市立大学附属病院
放射線部 平野恭正

利益相反事項

2023/2/10
神奈川MRI研究会
Web開催

- この研究発表の内容に関する利益相反事項は,

☒ ありません

※出典の記載がないものは自験例

当院のMRI装置



GE社製
Discovery MR750w
(3.0T)

エラストグラフィ機能搭載
(MR Touch)



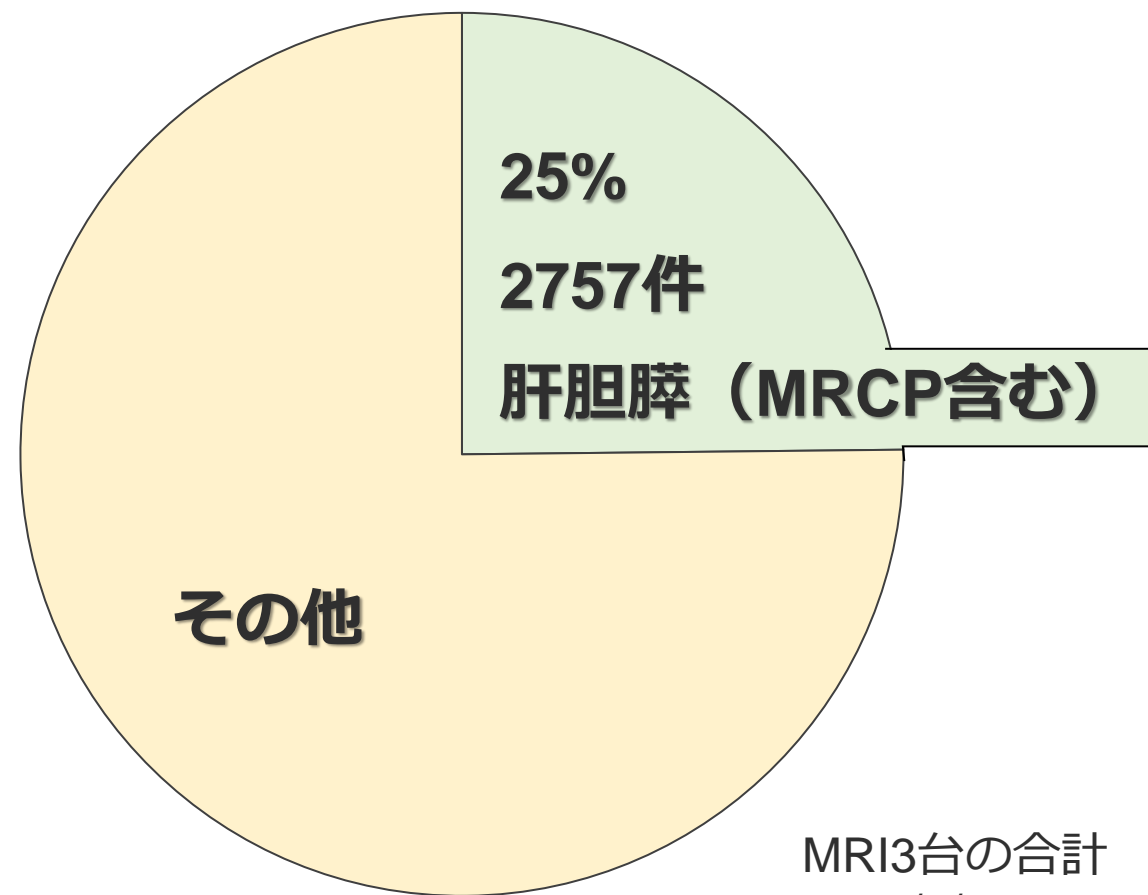
CANON社製
Vantage Orian
(1.5T)



CANON社製
Vantage Elan
(1.5T)

MRI検査の内訳

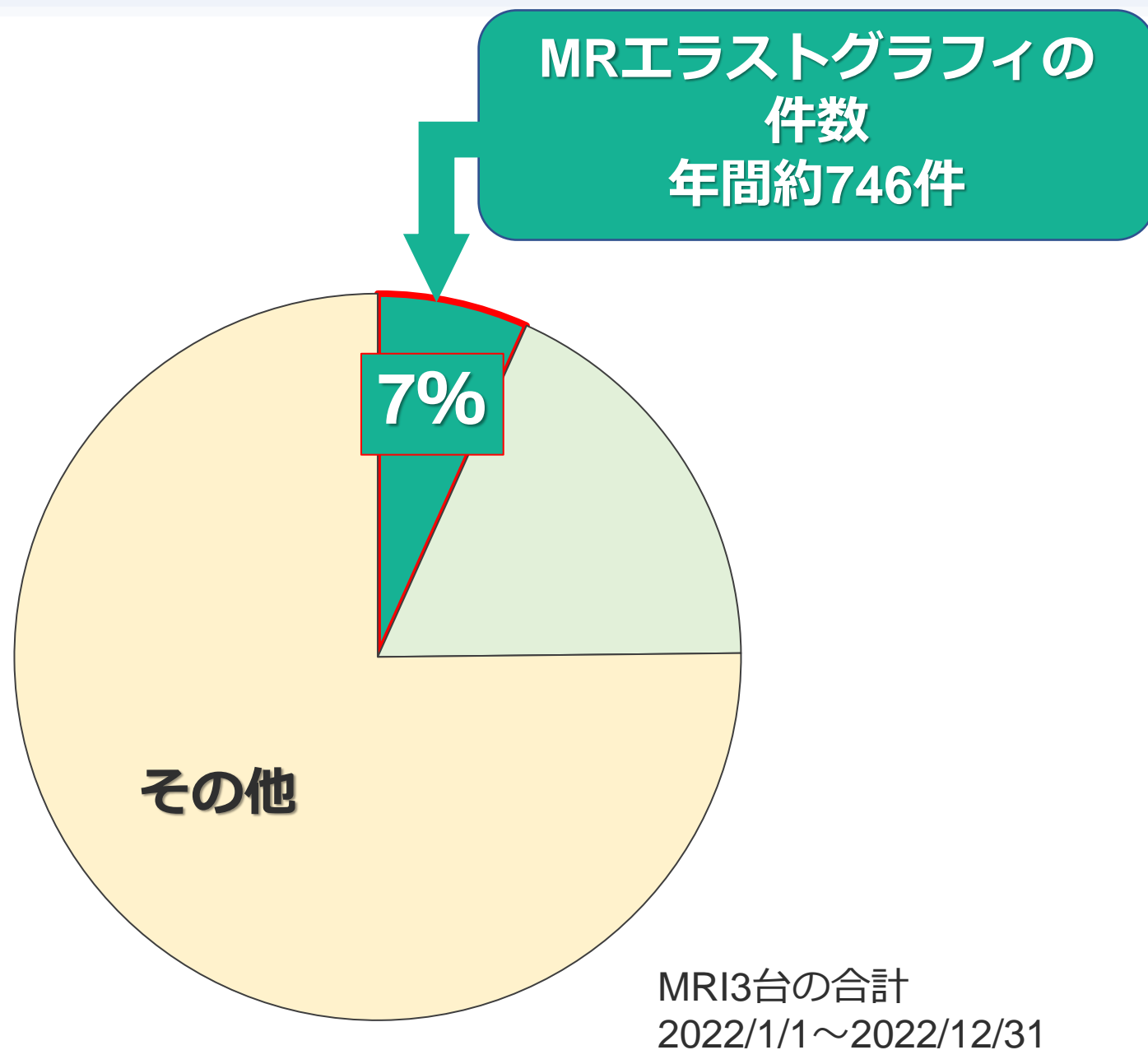
昨年の件数：
11103件



MRI3台の合計
2022/1/1～2022/12/31

MRI検査の内訳

昨年の件数：
11103件



本日の内容

- ①MRエラストグラフィの役割
- ② 原理
- ③ポジショニング
- ④撮像パラメータ

本日の内容

①MRエラストグラフィの役割

② 原理

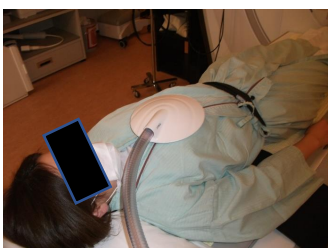
③ポジショニング

④撮像パラメータ

MR Elastographyとは

MRエラストグラフィ（MRE）は、**生体組織の硬さを定量的に**測定する技術です。

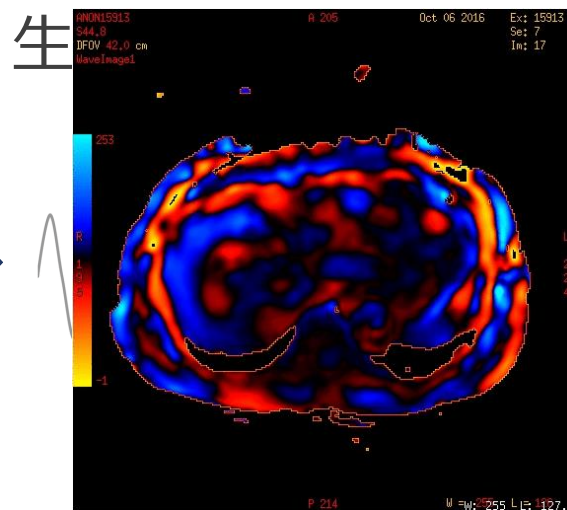
加振装置



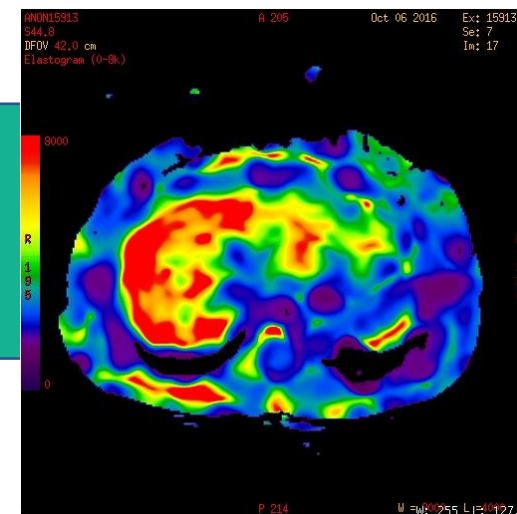
同期



wave imageを可視化



弾性率を再構成



MRエラストグラフィの弾性率
= せん断弾性率が対象

硬さを調べると何がわかるか？

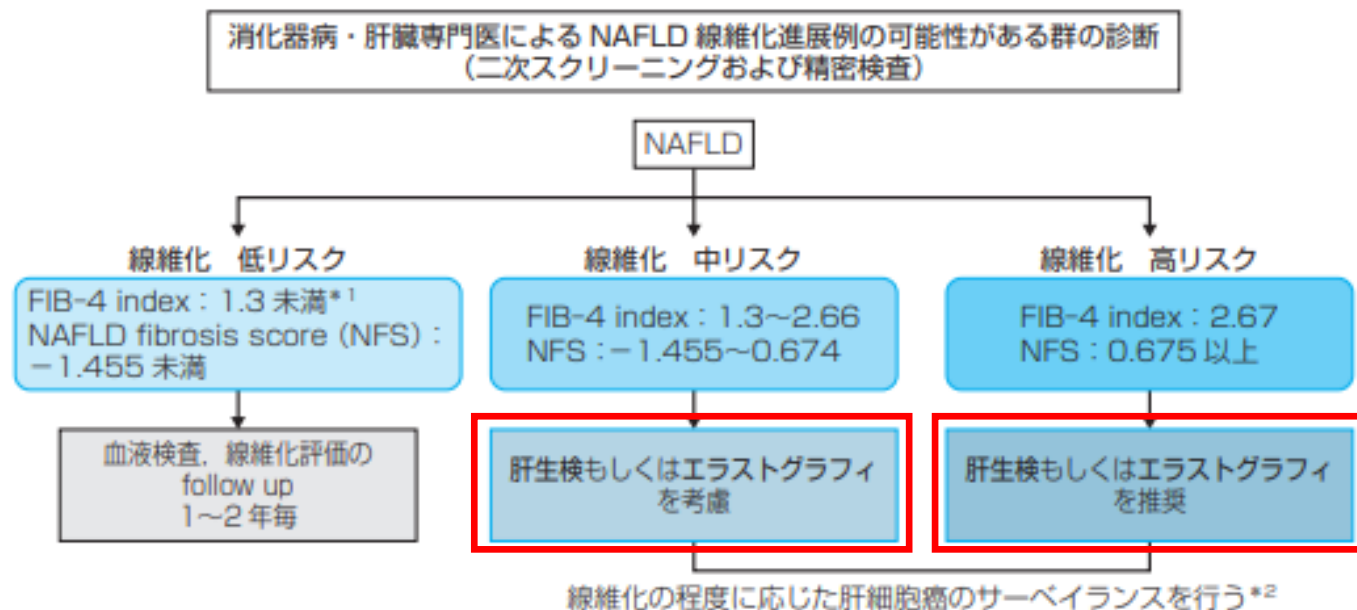
エラストグラフィで肝臓の硬さを調べることにより、非常に高い感度、特異度で肝臓の線維化（肝硬変）を診断することができる。

肝の繊維化を評価する方法

- ・ 肝生検 : ゴールドスタンダード（侵襲的）
- ・ 採血（Fib4 index） : スクリーニング向き
- ・ MRエラスト
- ・ 超音波エラスト

肝MRエラストグラフィの役割

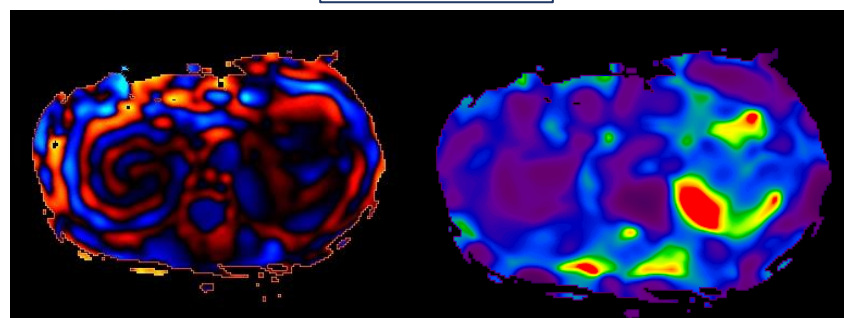
肝線維化進展例の絞り込みフローチャート (2)



※NAFLD :非アルコール性脂肪性肝疾患
NASH :非アルコール性脂肪肝炎

肝生検による線維化評価の予測

正常肝



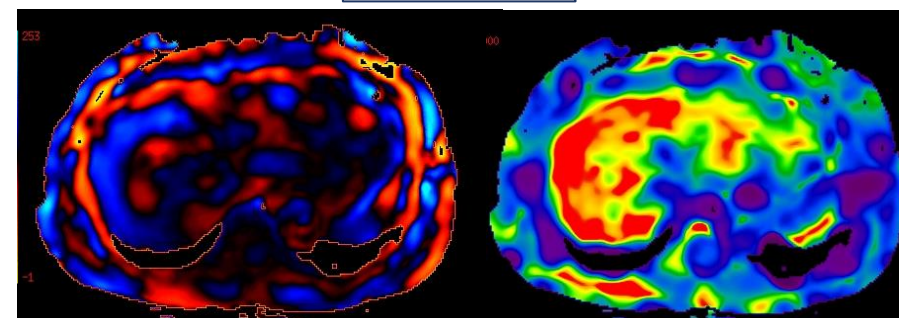
波長が短い

1.7 kPa

赤：硬い

紫：軟らかい

肝硬変



波長が長い

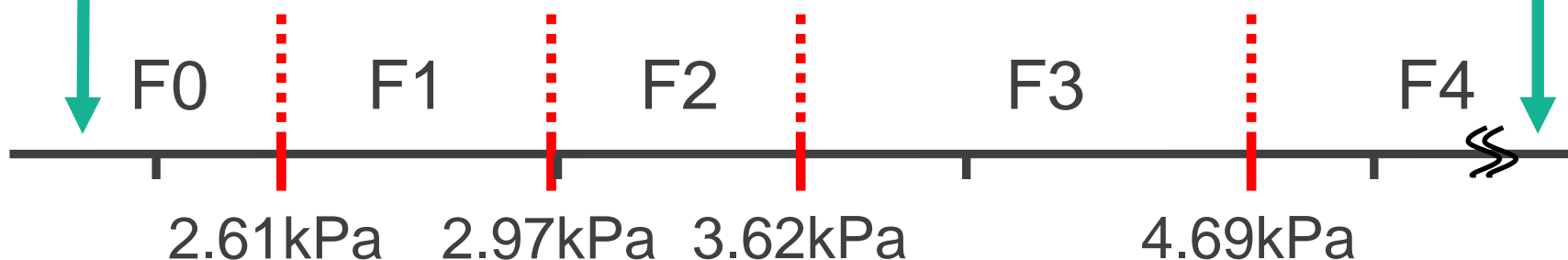
7.1 kPa

赤：硬い

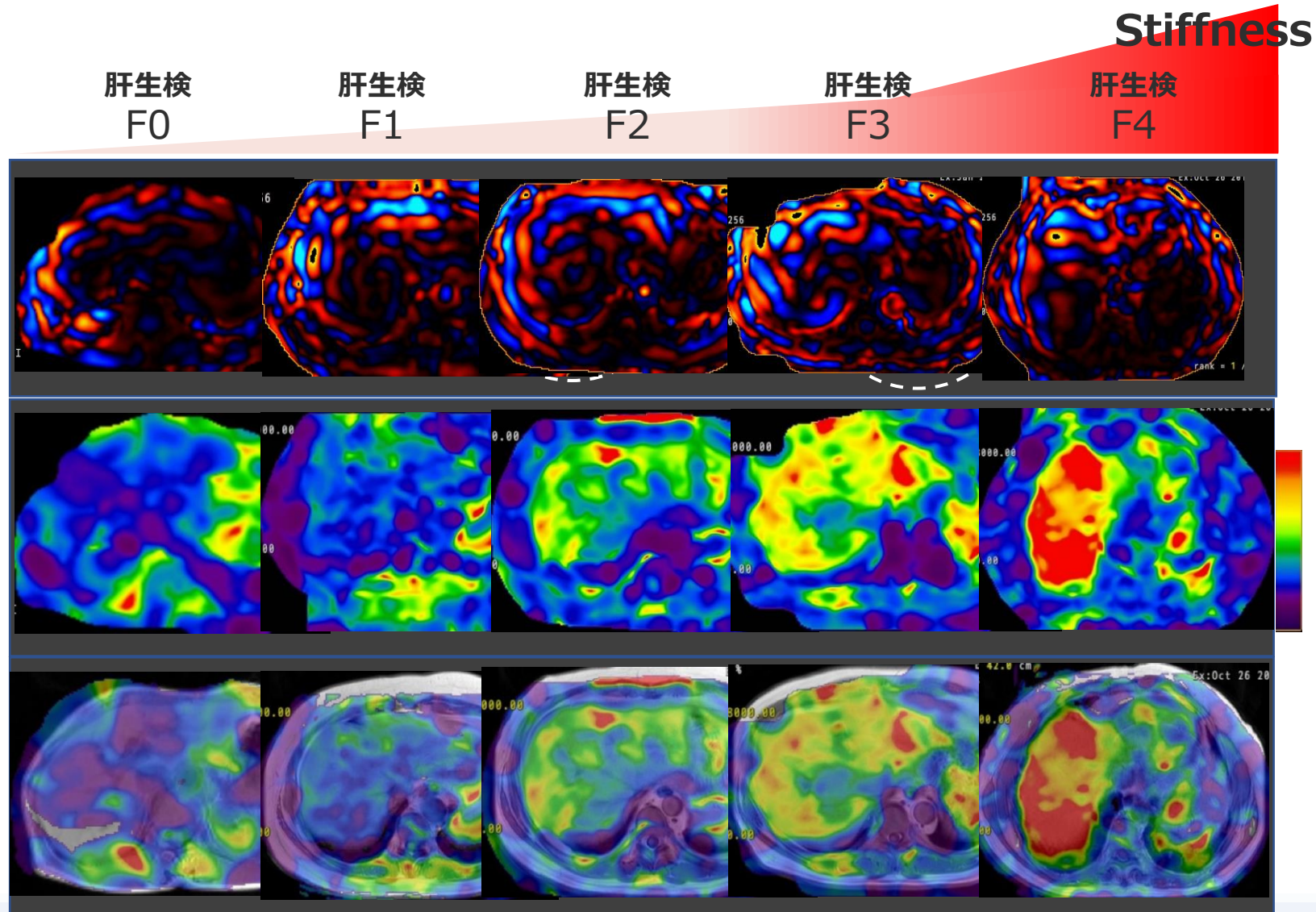
紫：軟らかい

肝生検による
ステージング

MREによる
肝硬度



肝MRエラストグラフィの役割



カラー画像の見方
赤：硬い
青：軟らかい

肝MRエラストグラフィの役割

肝MRI検査

形態診断

- T2WI
- T1WI-in out
- DWI
- EOB-Dynamic
- 肝細胞相

機能診断

- **MRエラストグラフィ**
- Multi-point-Dixon(PDFF/R2*map)
 - ※ IDEAL-IQ、q-Dixon、mDixon、Quant WFSなど

形態画像、機能画像を合わせて診断することで、より精度の良い診断を行うことが可能

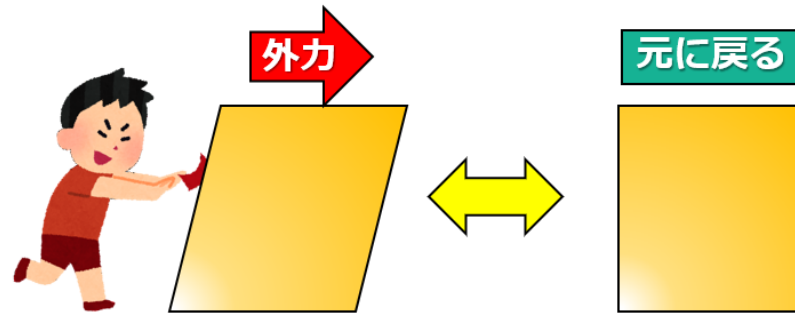
本日の内容

- ①MRエラストグラフィの役割
- ② 原理
- ③ポジショニング
- ④撮像パラメータ

MRエラストグラフィの原理

MRエラストグラフィ：非侵襲的に人体の硬さを画像化する手法

MRエラストグラフィの硬さ：「ずり（ずれ）弾性率」



ずり弾性率：力を加えたときの変形のしにくさの指標

ひずみにくい＝硬い

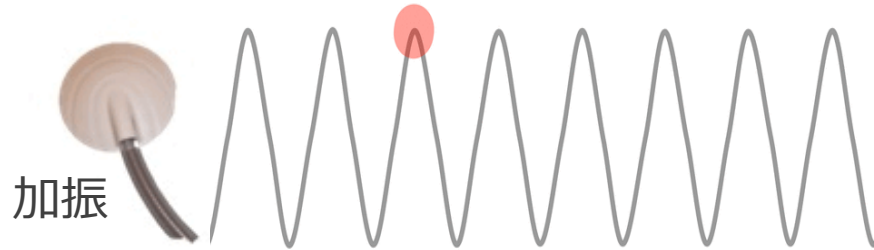
※単位はPa（パスカル）

MRエラストグラフィの原理

物質の硬さと振動の伝わりやすさの関係

軟らかい
(弾性率低い)

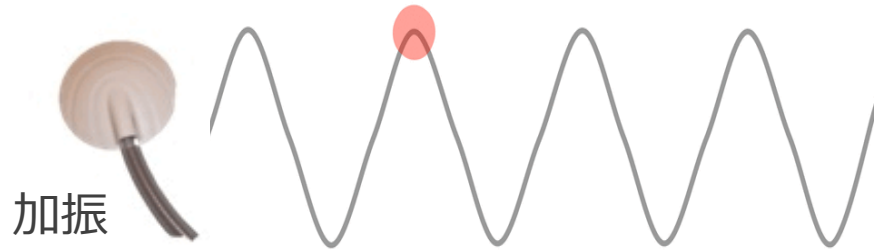
加振



- ・ 波の速さが遅い
- ・ 波長が短い

硬い
(弾性率高い)

加振



- ・ 波の速さが早い
- ・ 波長が長い

波長の変化から弾性率（硬さ）を推定

振動数と波長と波の速さと硬さの関係

$$V = f \lambda$$

$$\mu = \rho \times V^2 = \rho \times (f \lambda)^2$$

V : 波の速さ

f : 周波数

λ : 波長

ρ : 密度 (人体ではほぼ 1)

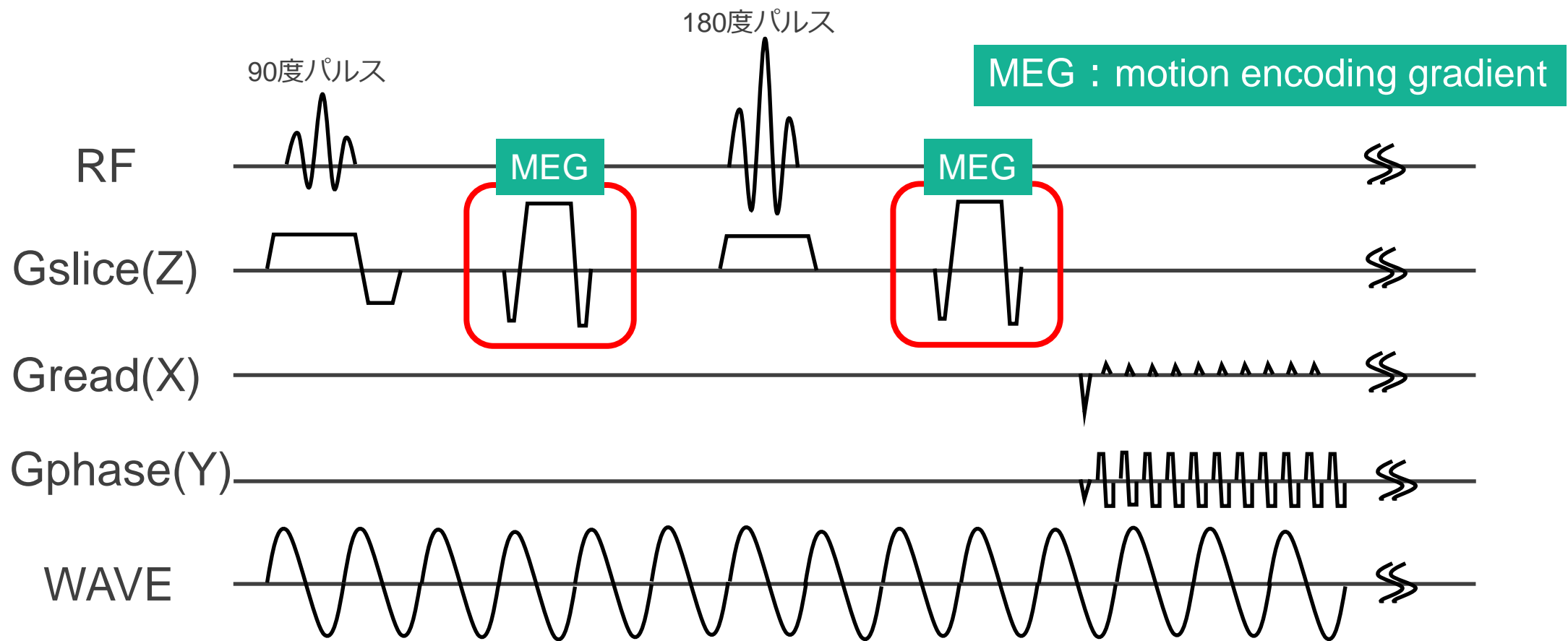
μ : ずり弾性率

- ・ 波長が長いと波の伝わりが早い (振動数が一定の場合)
- ・ 波の伝わりが早いと硬い (弾性率が高い)

波長から弾性率 (硬さ) を測定

※人体の弾性率 \doteq 粘弾性率

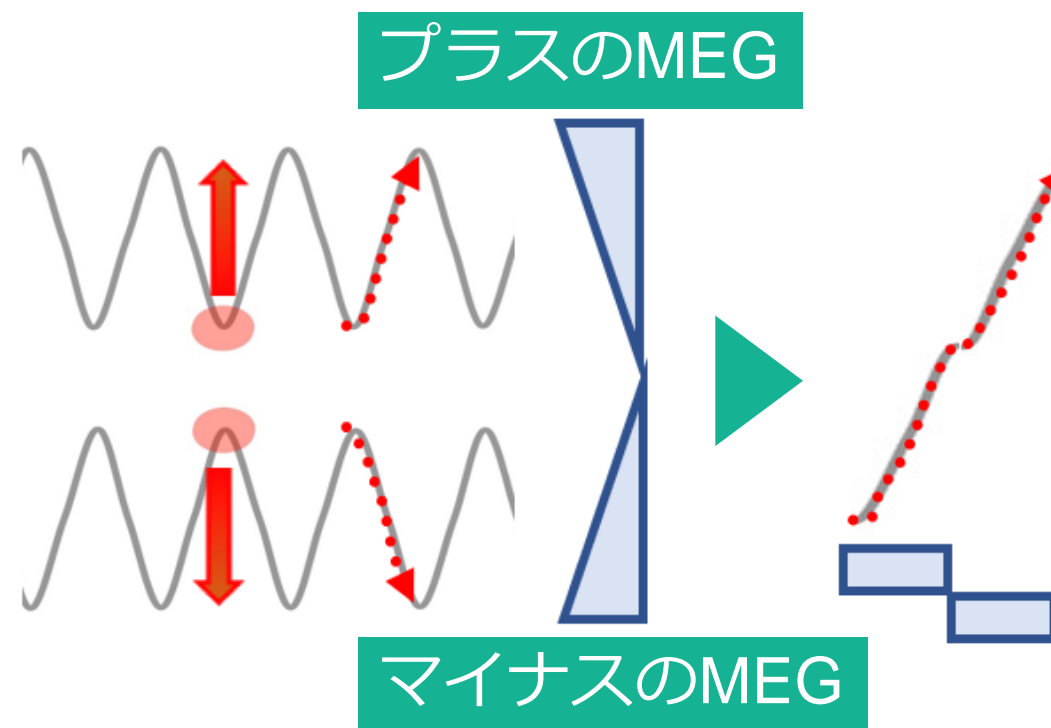
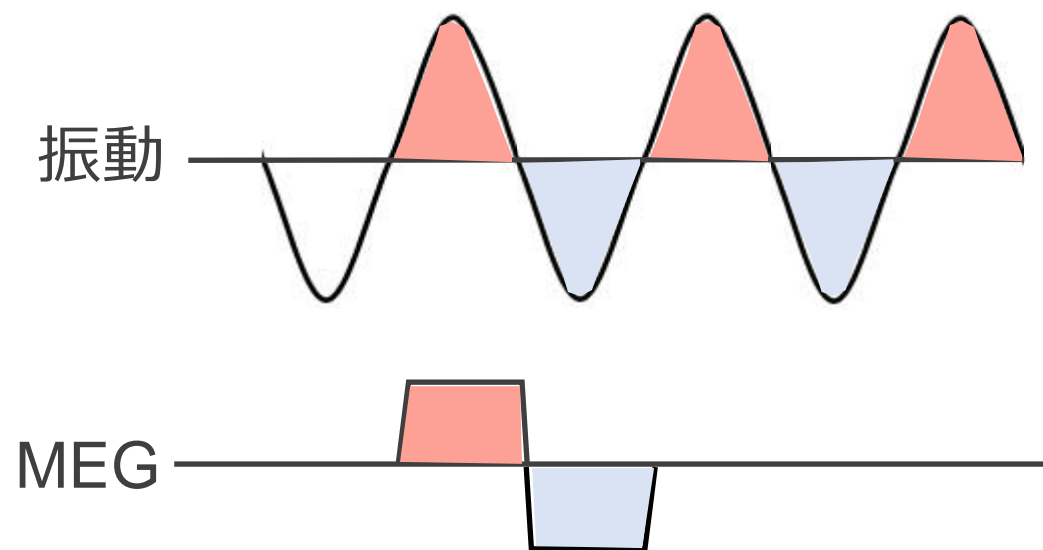
MRIで波長を捉える方法



SE-EPI MRIパルスシーケンスチャート (GE社3T EPI MRE)

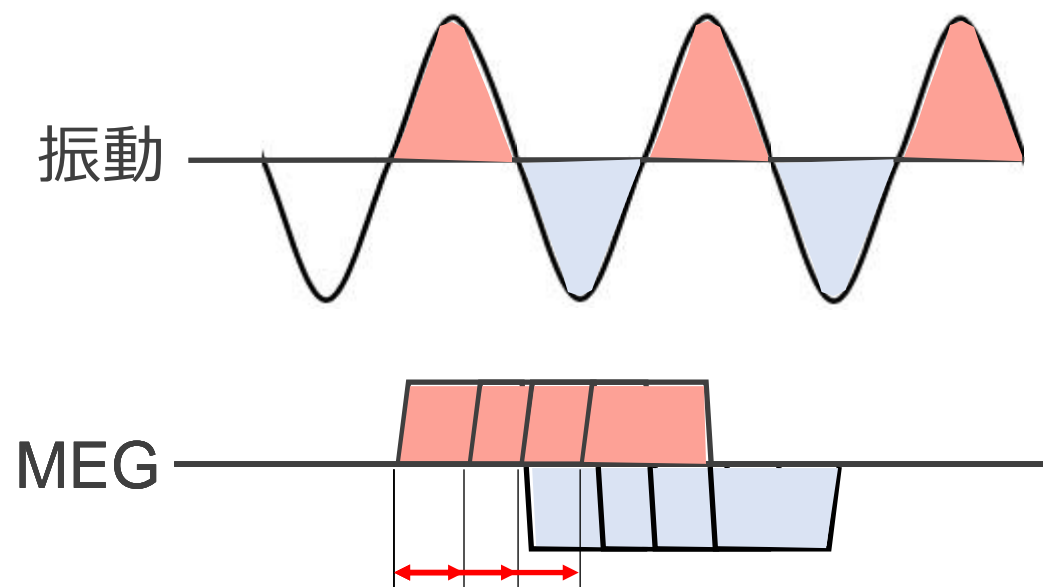
MEGで振動を捉える原理

振動とMEGの関係



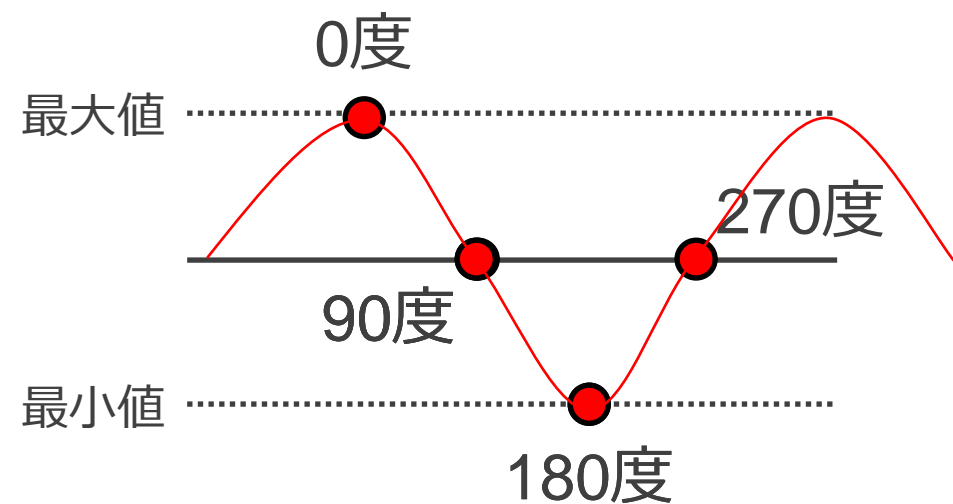
MEGで振動を捉える原理

振動とMEGの関係

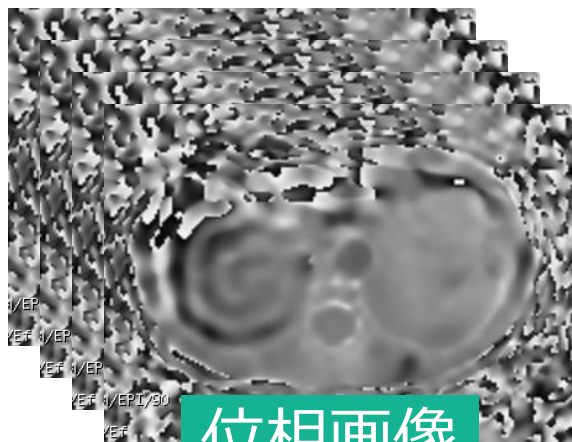


MEGを270度シフト

MEGのシフトと位相シフトの関係



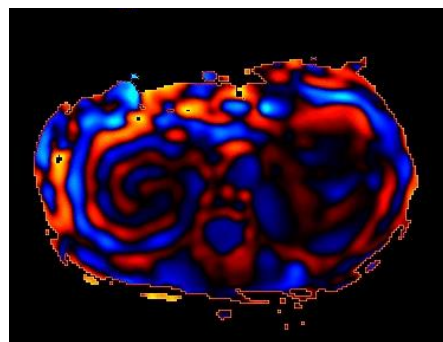
位相画像から硬度画像を求める



位相画像

ブラックボックス

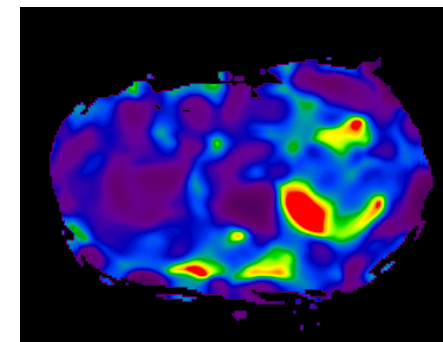
計算



Wave image

ブラックボックス

計算



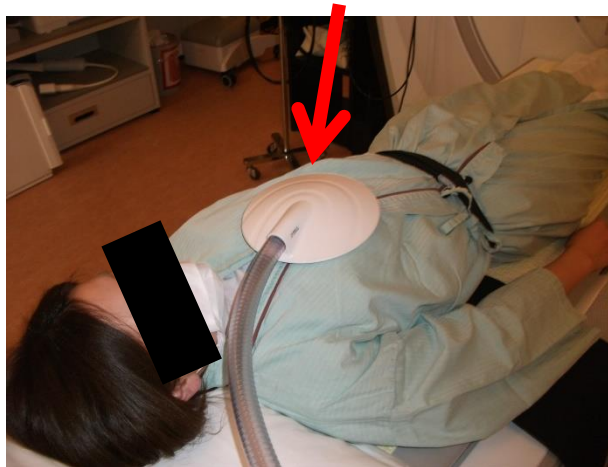
硬度画像

本日の内容

- ①MRエラストグラフィの役割
- ② 原理
- ③ポジショニング
- ④撮像パラメータ

ポジショニング

パッシブドライバーの**位置**
剣状突起より3横指右側（肝臓中央）



胸壁に密着させるため
伸縮ベルトでしっかり**固定**



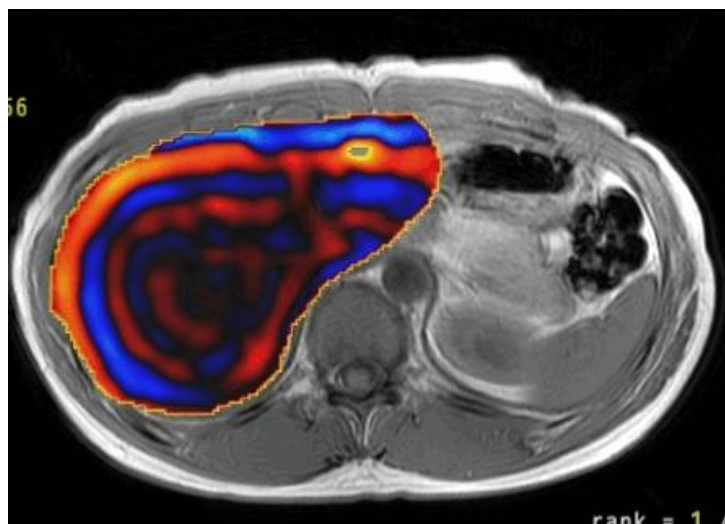
通常の腹部検査と
同じように
コイルセット



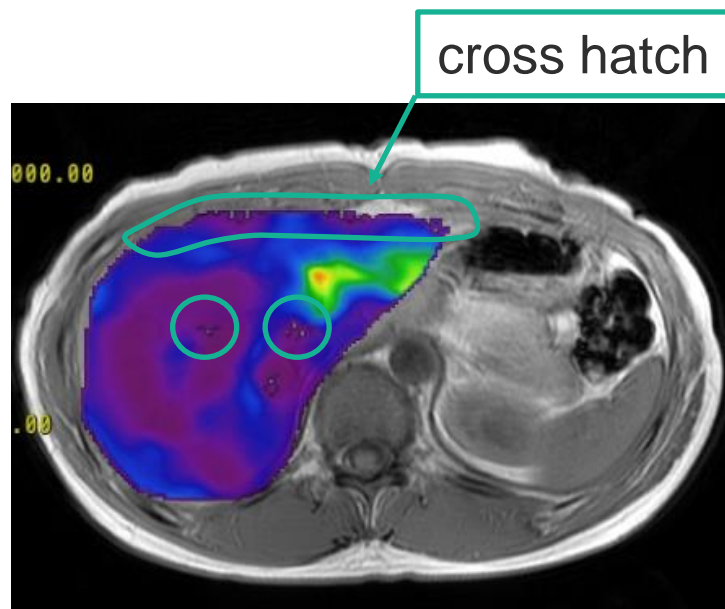
ガントリ内へ

画像確認ポイント

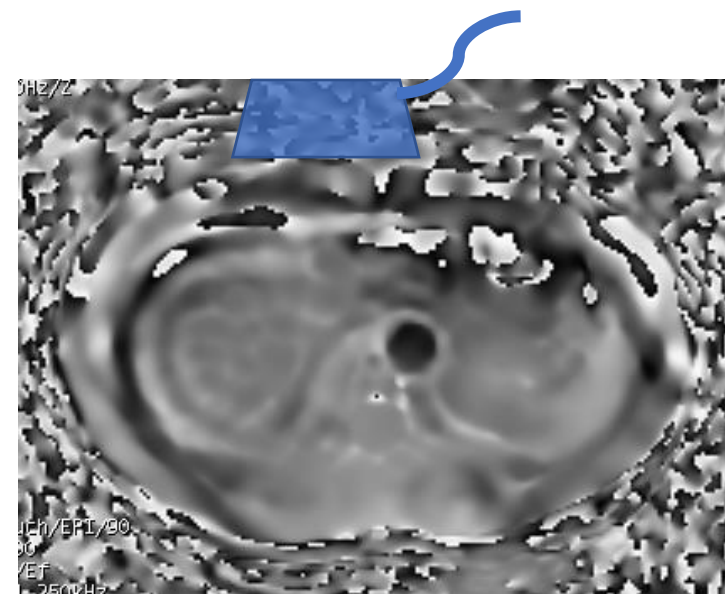
- wave imageで波が平行に伝わっていること
- 硬度画像で×印（クロスハッチ）が多すぎない
- 位相画像でドライバーの位置に位相の折り返しがあること



Wave image



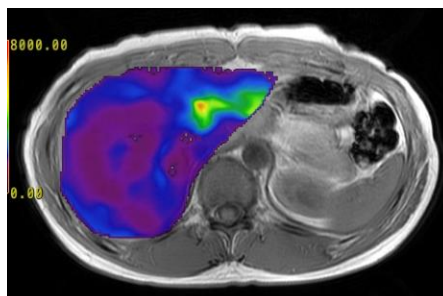
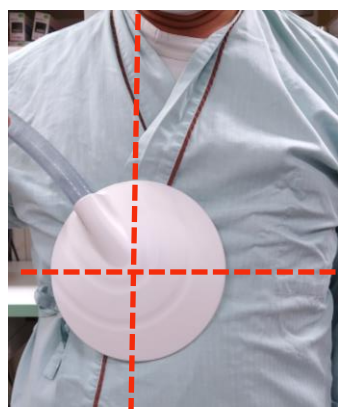
硬度画像（cross hatch付）



位相画像

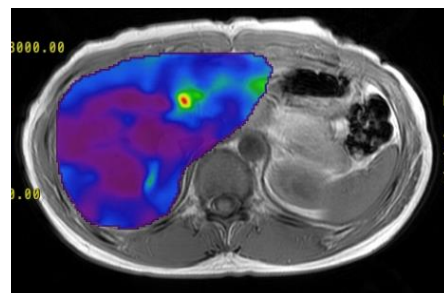
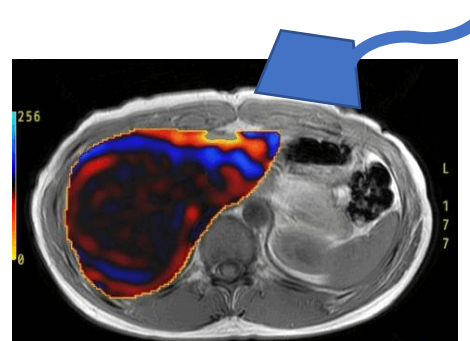
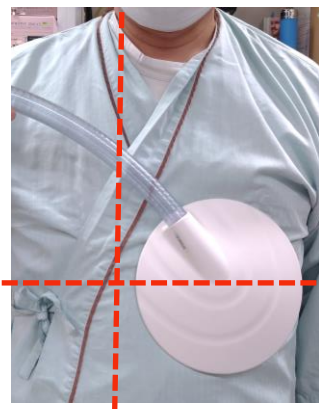
パッシブドライバーの位置

通常の位置



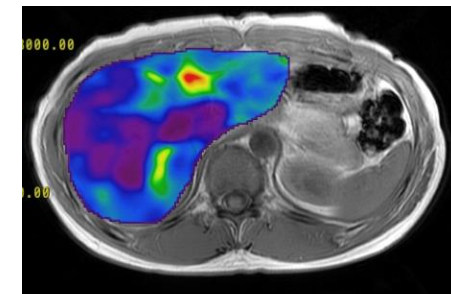
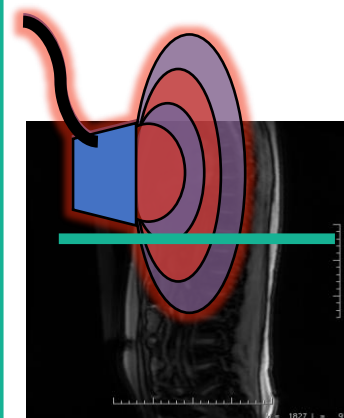
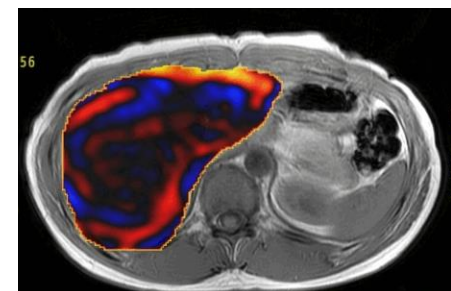
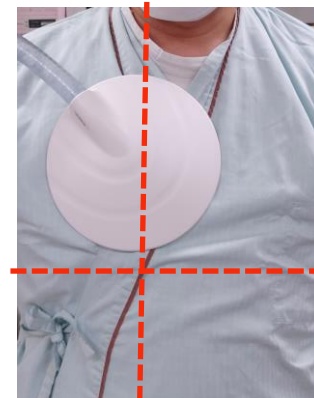
弾性率 : 1.5 k Pa

左側にずらした時



弾性率 : 1.5 k Pa

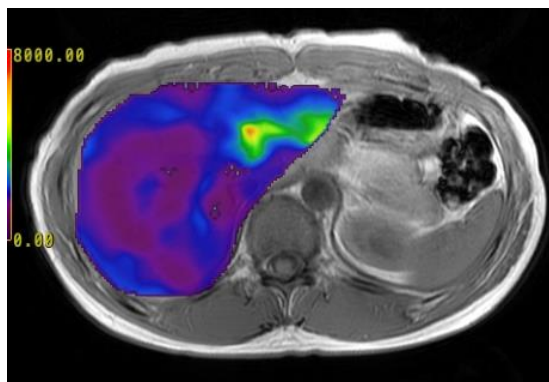
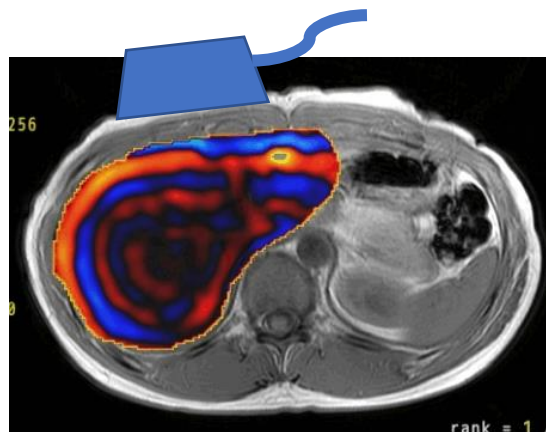
頭側にずらした時



弾性率 : 1.7 k Pa

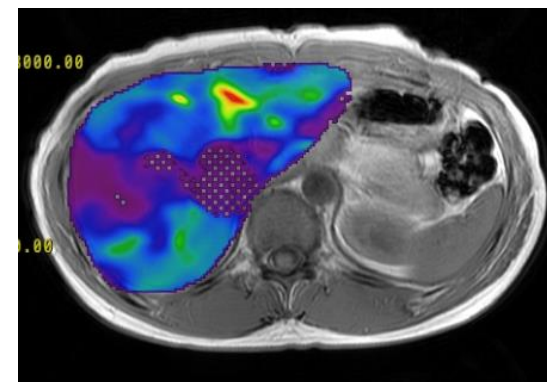
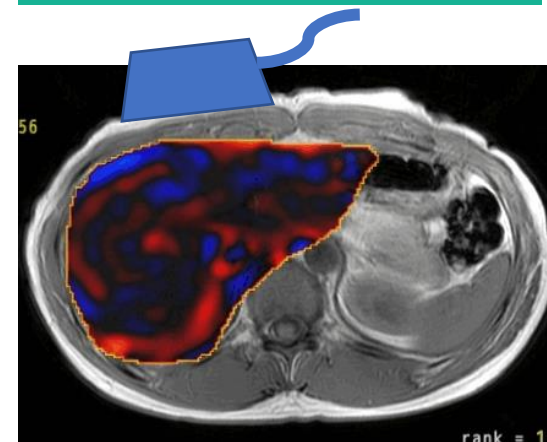
パッシブドライバの固定

通常の固定（しっかり固定）



弾性率 : 1.5 k Pa

バンド固定が緩い時

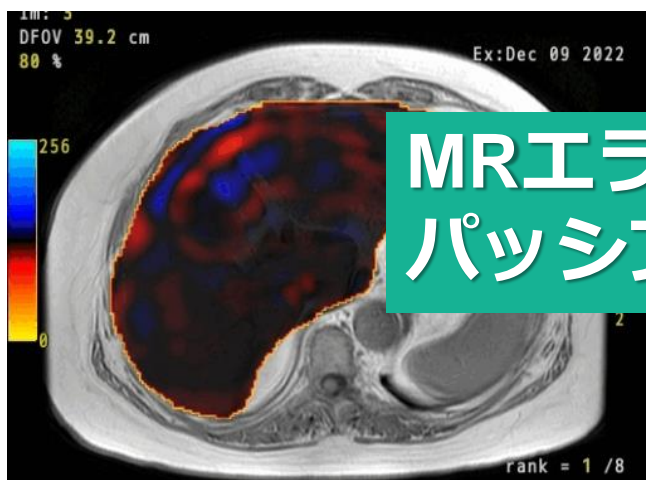


弾性率 : 1.9 k Pa

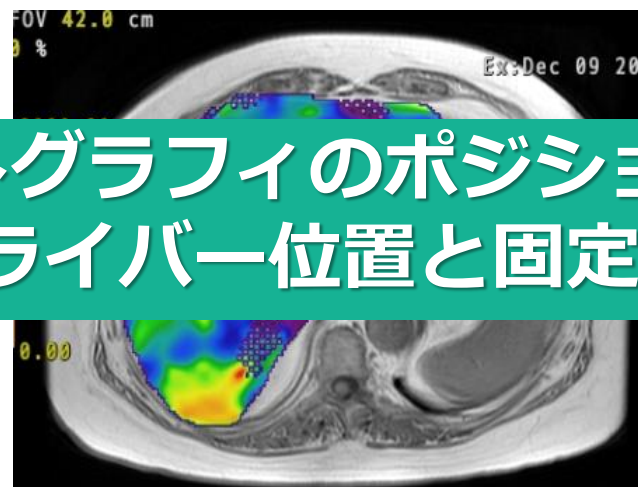
弾性率
腹部側 : 2.4 k Pa
背中側 : 2.3 k Pa

パッシブドライバーの位置と固定

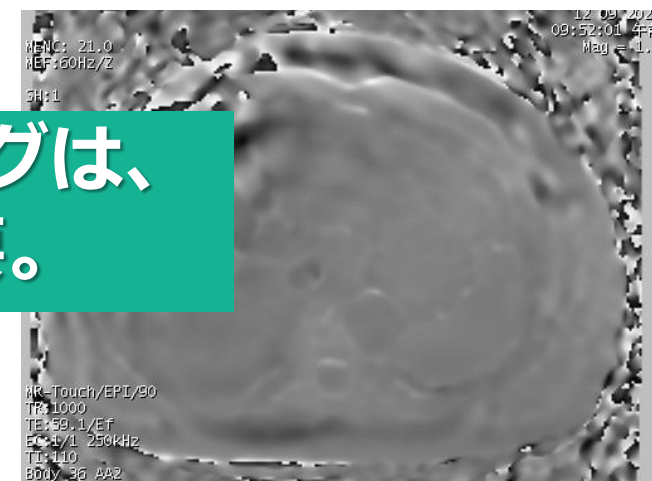
パッシブドライバーが固定バンドから外れてしまった画像



Wave image



硬度画像 (cross hatch付)



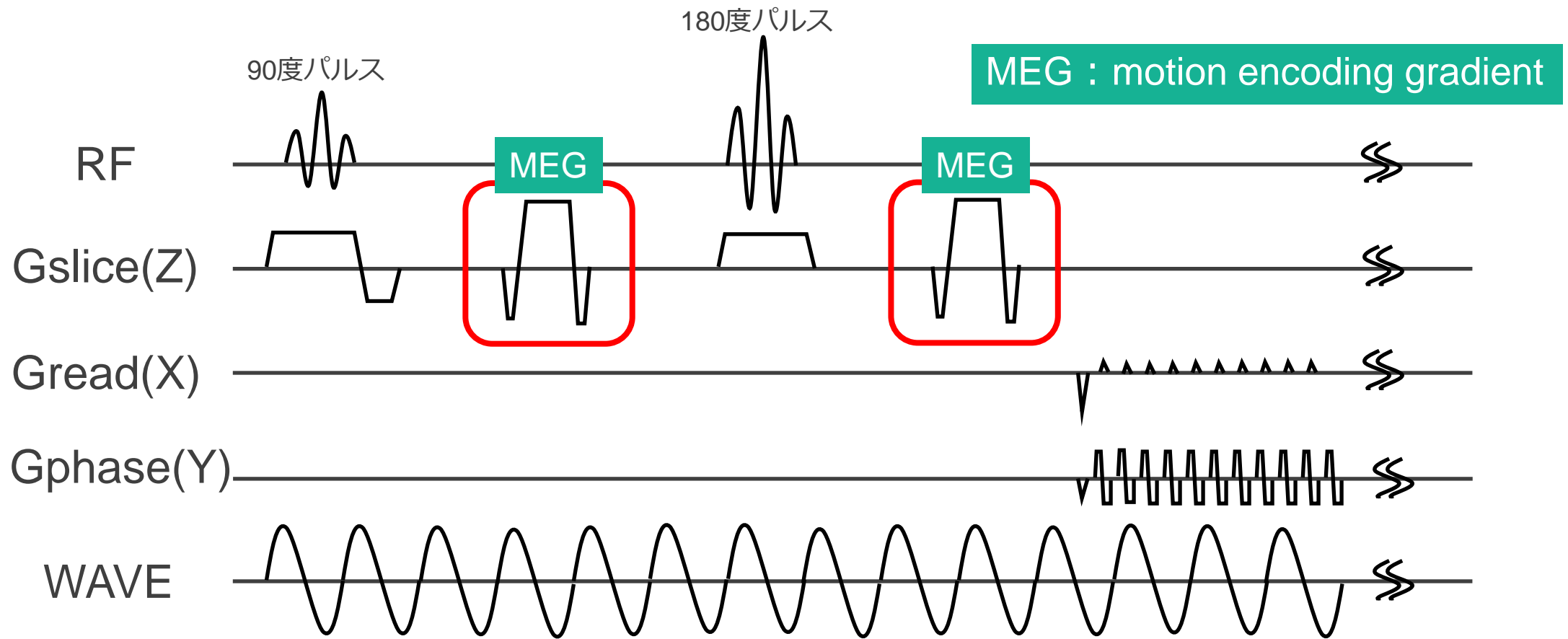
phase image

MRエラストグラフィのポジショニングは、パッシブドライバー位置と固定が重要。

本日の内容

- ①MRエラストグラフィの役割
- ② 原理
- ③ポジショニング
- ④撮像パラメータ

SE-EPI MREパルスシーケンスチャート



SE-EPI MRIパルスシーケンスチャート (GE社3T EPI MRE)

MREのパラメータ

通常MRIのパラメータ

2D EPI 撮像時間 : 16s

スキャン面 : Axial

FOV : 42cm

位相FOV : 1.00

スライス厚 : 10mm

周波数エンコード : R/L

TR : 1000ms

スライス数 : 4

TE : Min Full (55.1ms)

周波数 : 64

位相 : 64

NEX:1.00

バンド幅 : 250kHz

Asset:2.0

ケミカルsat : special

MRE特有のパラメータ

Temporal Phase : 4

MEG Frequency : 80

Driver Frequency : 60

Driver Amplitude : 50

MEG Direction : Z軸方向

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phase : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

MEGの設定



加振装置の設定

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phase : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

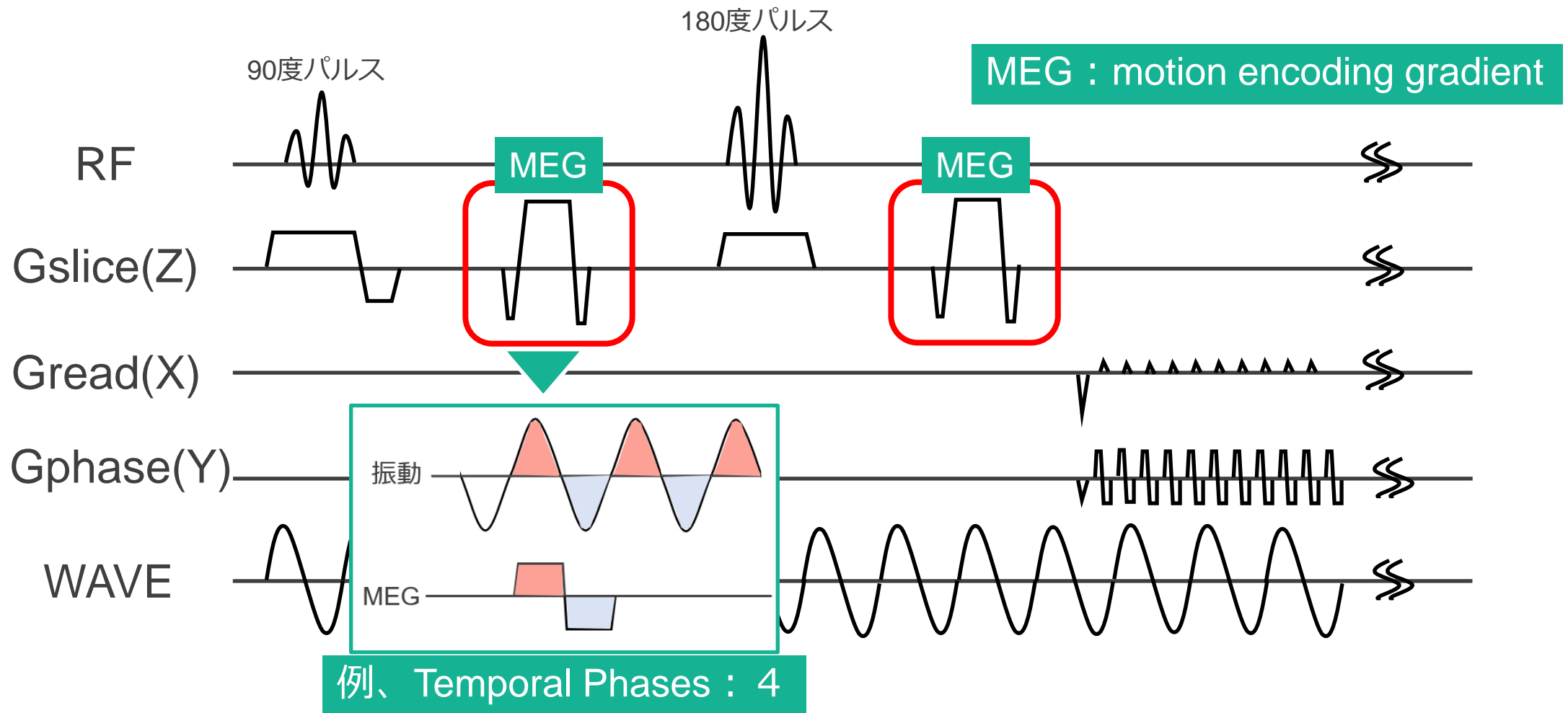
MEGの設定



加振装置の設定



Temporal Phase



SE-EPI MRIパルスシーケンスチャート (GE社3T EPI MRE)

Temporal Phaseを変更したときの画像

Temporal Phase : 4



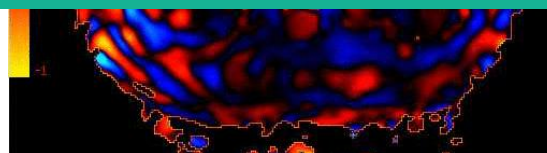
Temporal Phase : 16



Temporal Phaseの設定：
息止めで撮像することを考えると最低の4に設定



撮像時間：16秒



撮像時間：64秒

硬度画像の空間分解能向上
撮像時間の延長

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phase : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

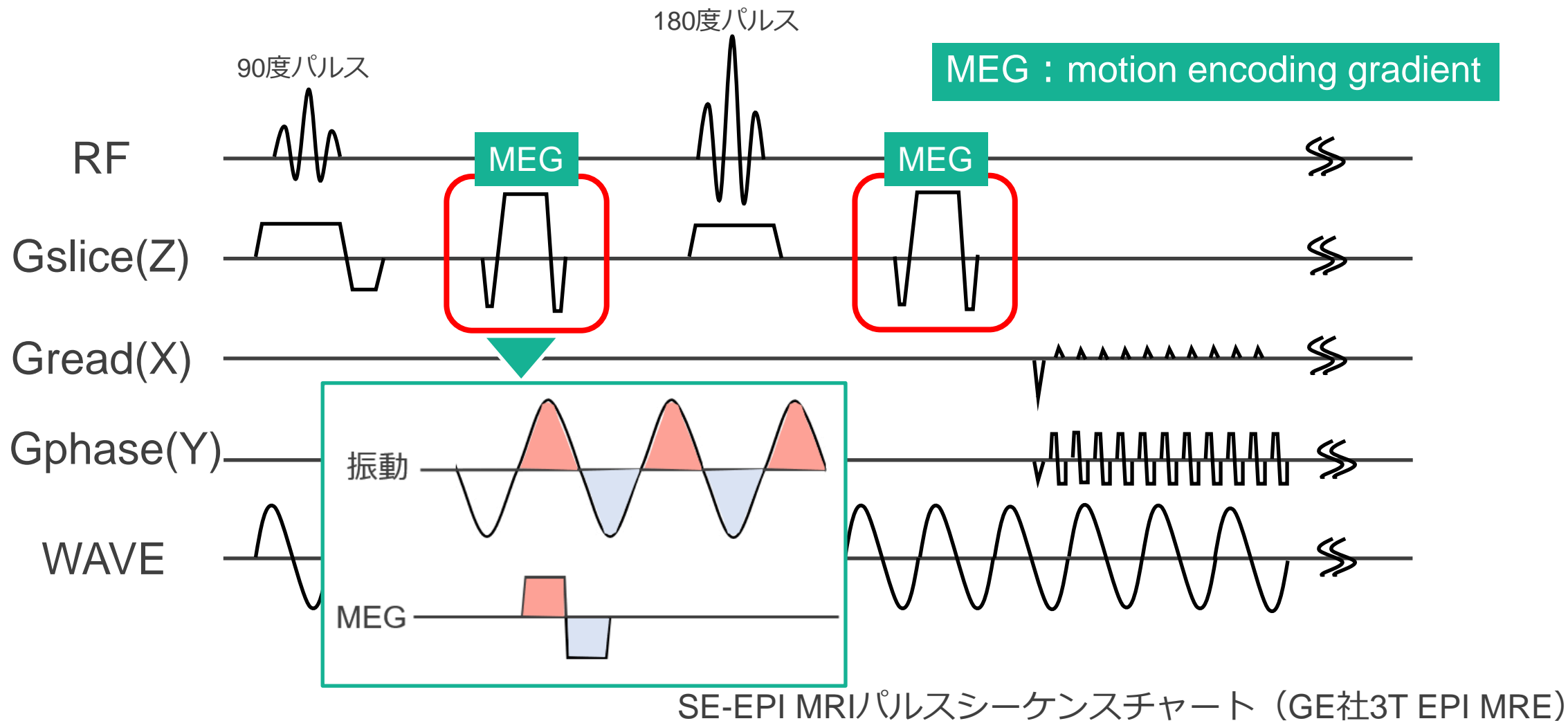
⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

MEGの設定

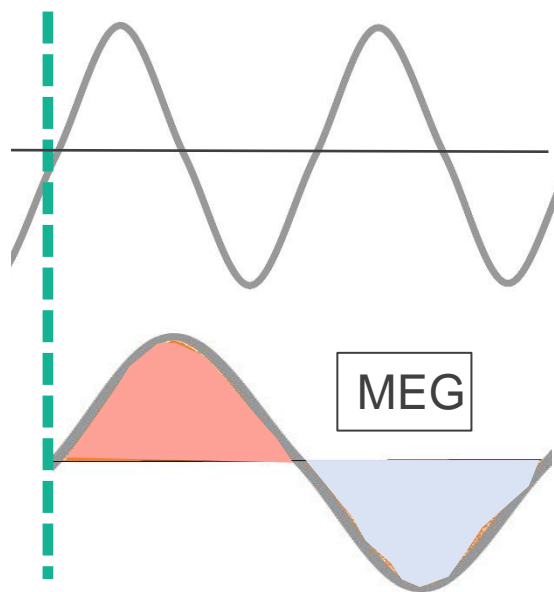


加振装置の設定

MEG Frequency

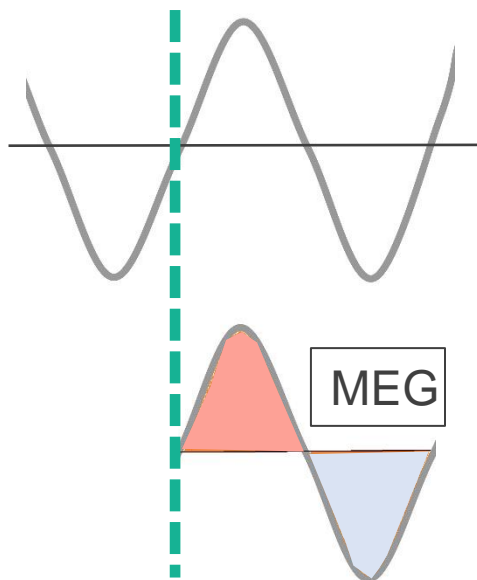


MEG Frequency



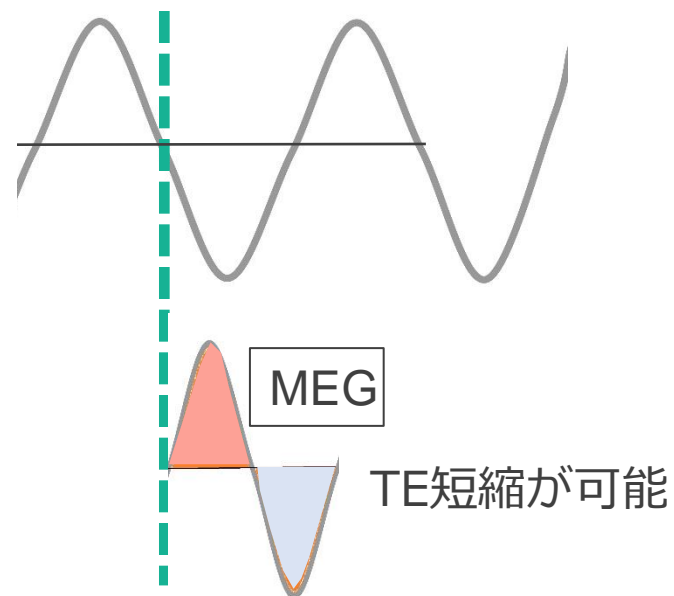
MEGの印加時間
長い

位相シフトが低下



MEGの周波数と
加振器の周波数が一致

位相シフトが最大



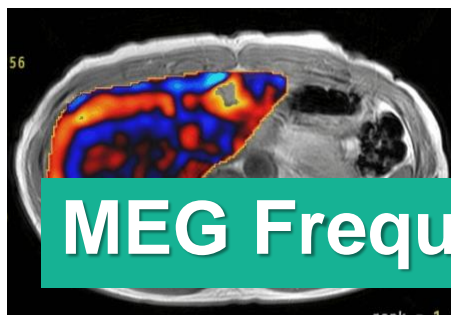
MEGの印加時間
短い

- ・ TE短縮によるSNR向上
- ・ 位相シフトが低下

MEG Frequencyを変更したときの画像

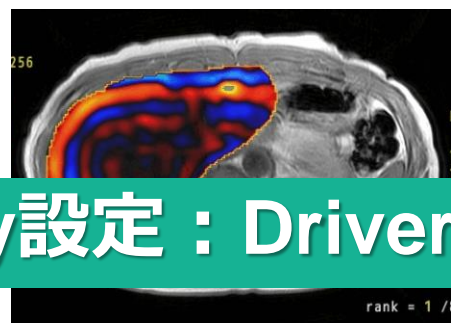
MEG Frequency : 30Hz

MEGの印加時間
長い



MEG Frequency : 60

MEG Frequencyと
Driver Frequencyが一致

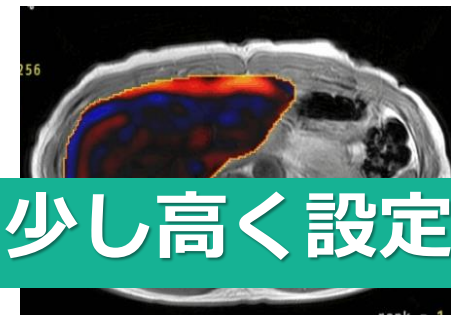


MEG Frequency : 90

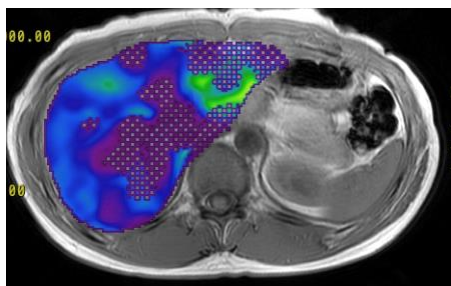
MEGの印加時間
短い



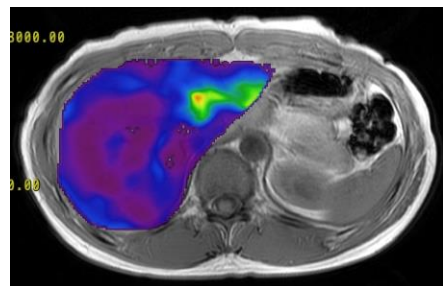
MEG Frequency : 120



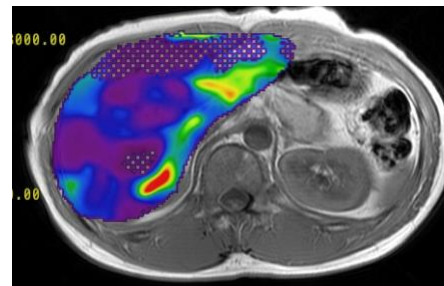
MEG Frequency設定 : Driver Frequencyと同じか、少し高く設定



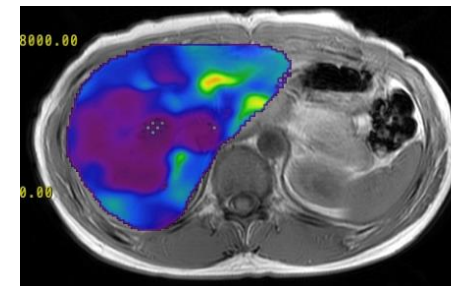
TE : 96.5ms



TE : 63.2ms



TE : 57.6ms



TE : 54.8ms

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phases : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

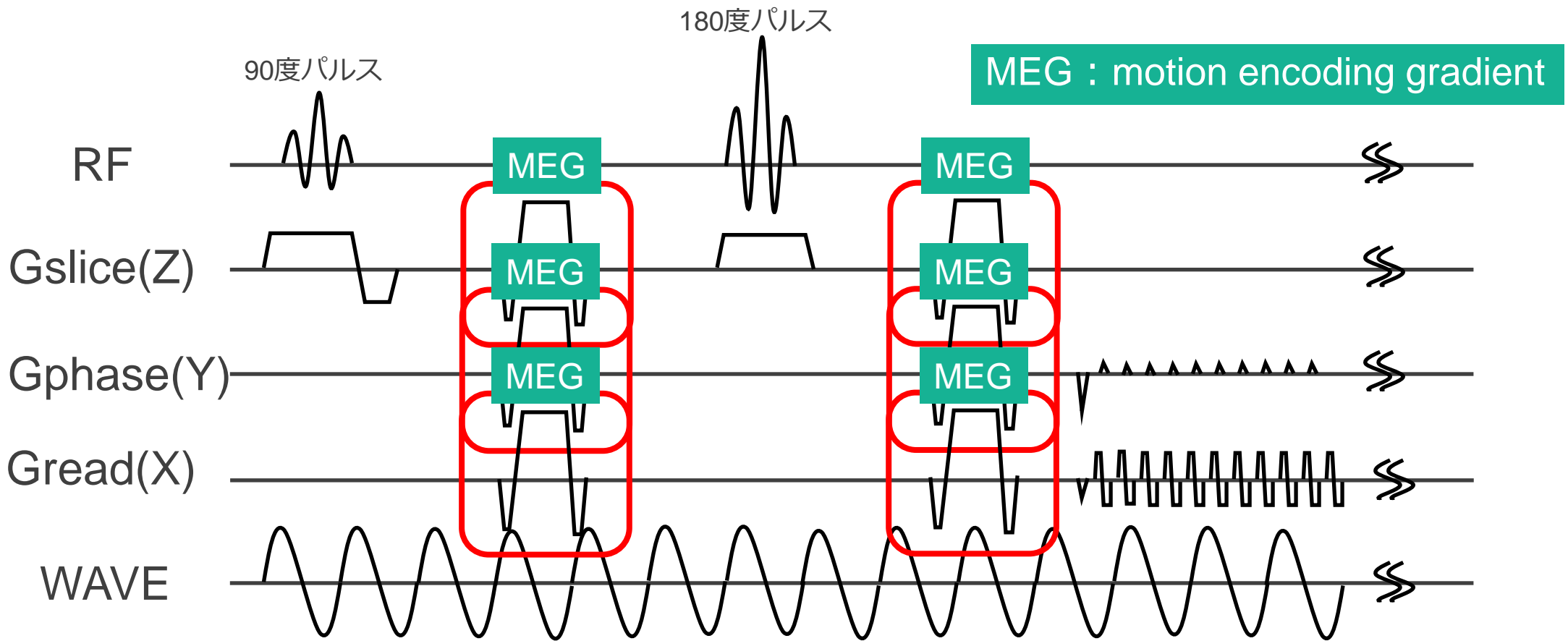
⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

MEGの設定



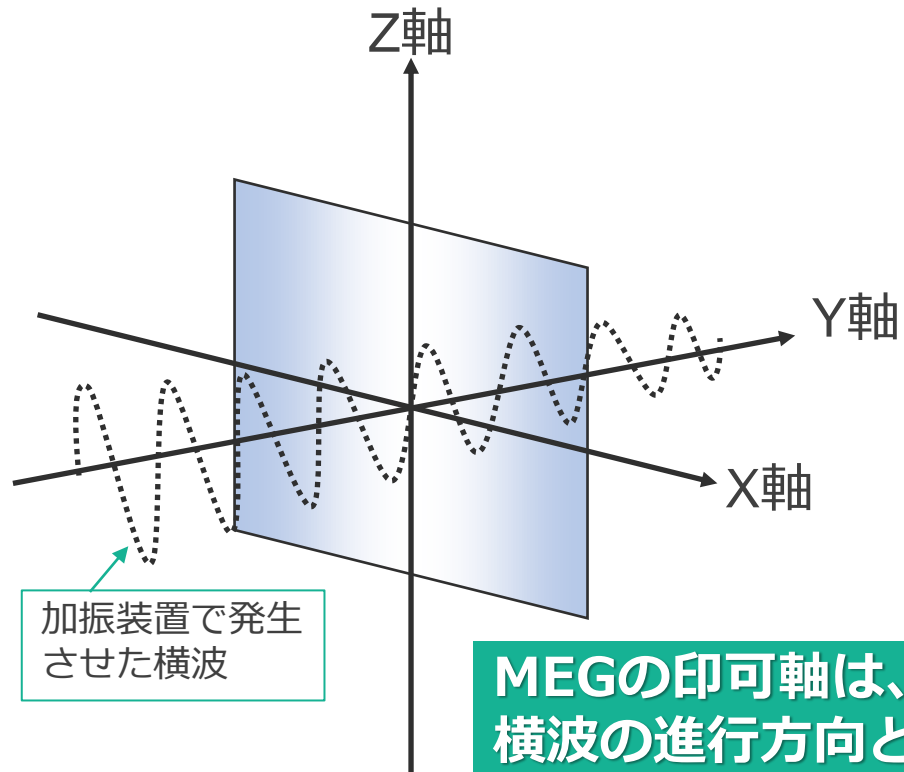
加振装置の設定

MEG Direction

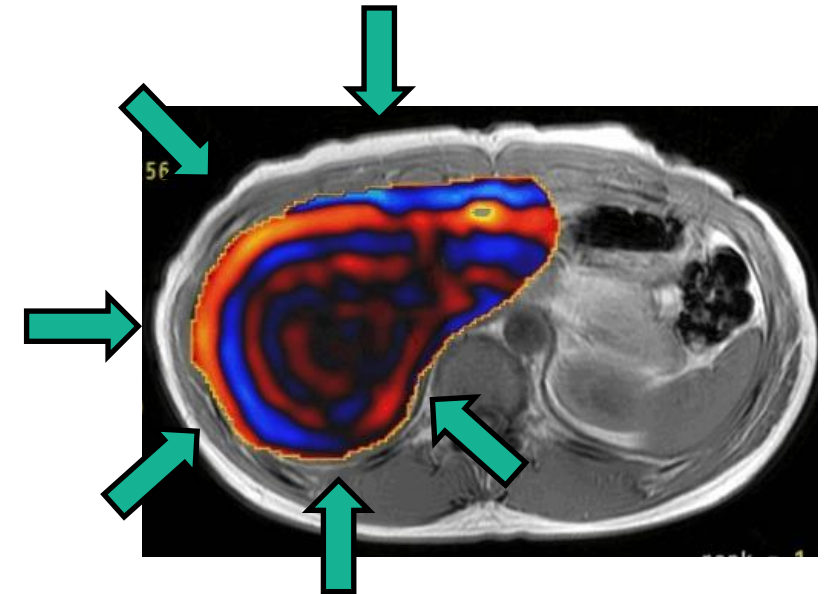


SE-EPI MRIパルスシーケンスチャート (GE社3T EPI MRE)

MEG Direction



横波の進行方向がY軸の時
MEGの印可方向はZまたはX軸



波は中央に向かって進行

MEGの印可方向はZ軸に設定

MEG Directionを変更したときの画像

適切な設定

MEG Direction : X

MEG Direction : Y

MEG Direction : Z

MEG Directionの設定 : Z軸が適切

MEGの方向

MEGの方向

波がX軸方向に進む場所でエラー

波がY軸方向に進む場所でエラー

全体的に計測可能

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phases : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

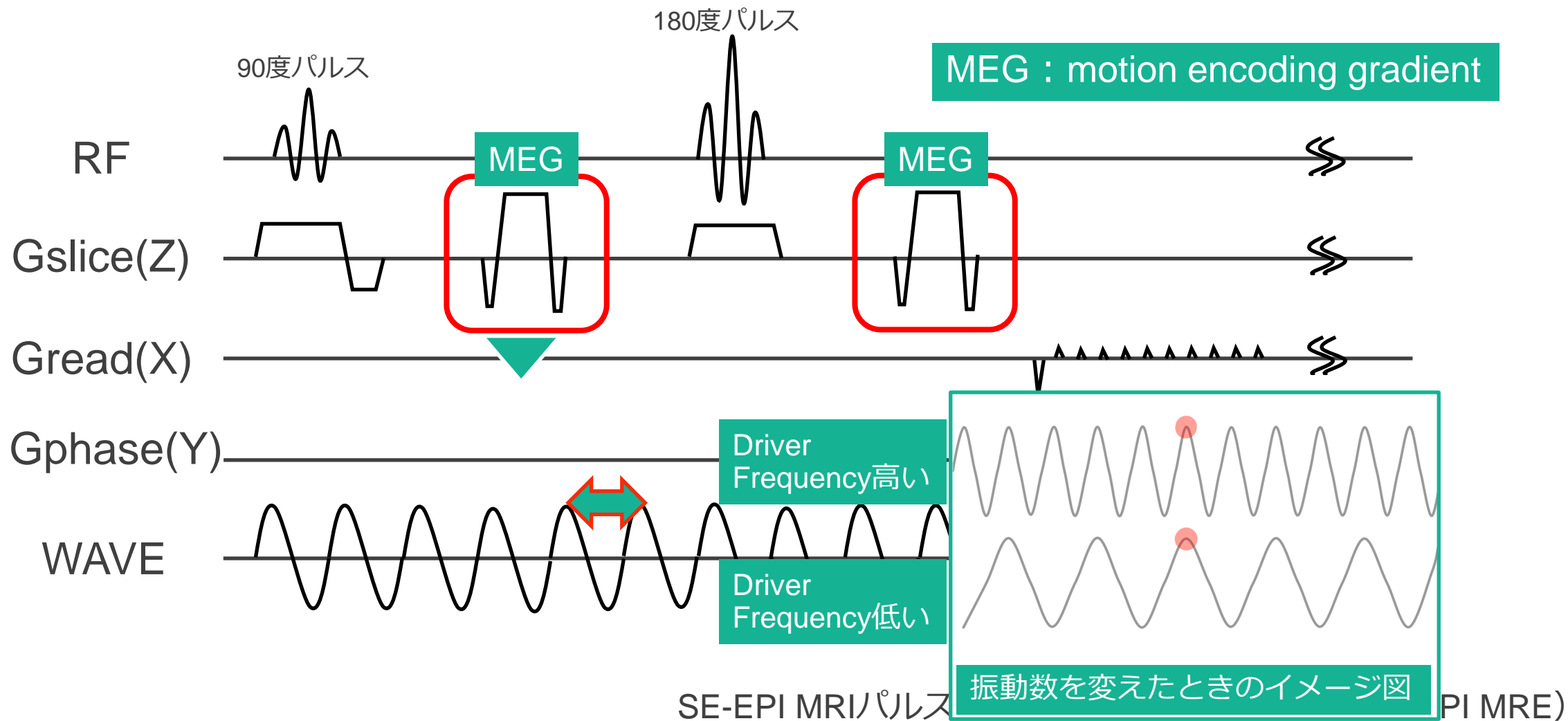
MEGの設定



加振装置の設定

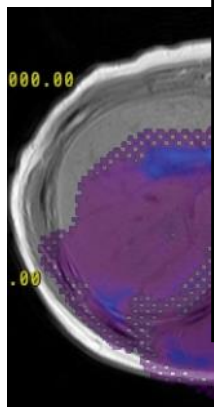
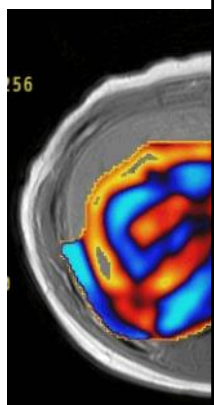


Driver Frequency



Driver Frequencyを変更したときの画像

Driver Frequency



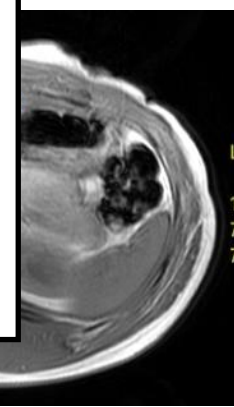
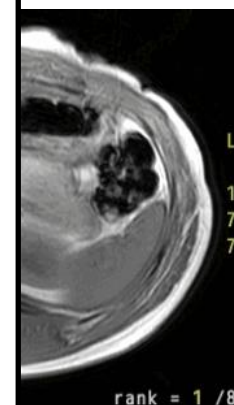
周波数の高さ：貫通力 \leftrightarrow 空間分解（トレードオフの関係）



MREでも、体格により周波数を変更したほうが良いのではないかな？

しかし、周波数を変えると粘性の影響をうけるため、
Driver Frequencyの設定：60Hz固定

Frequency : 80Hz



MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phases : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

④Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

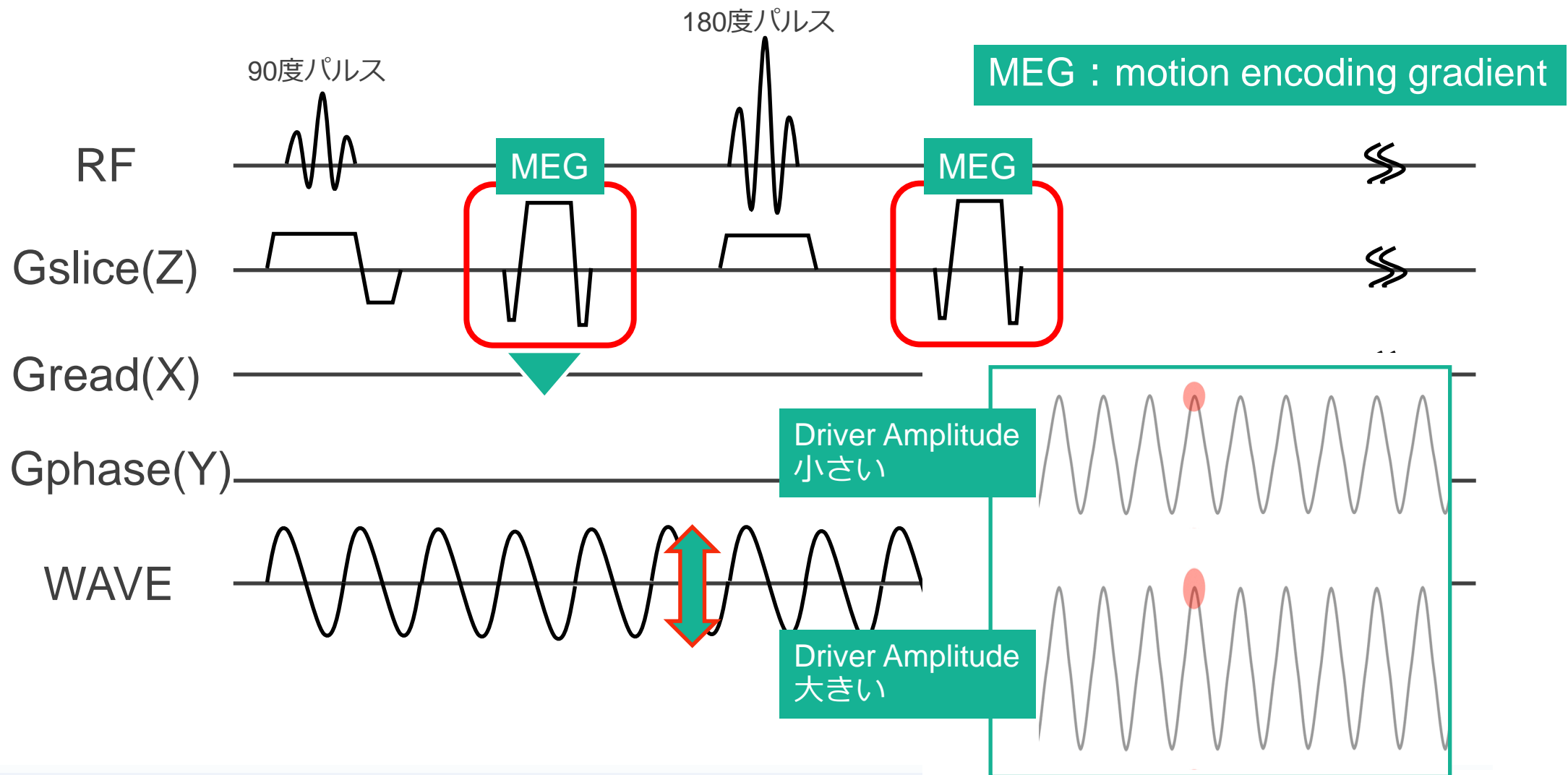
⑤Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

MEGの設定



加振装置の設定

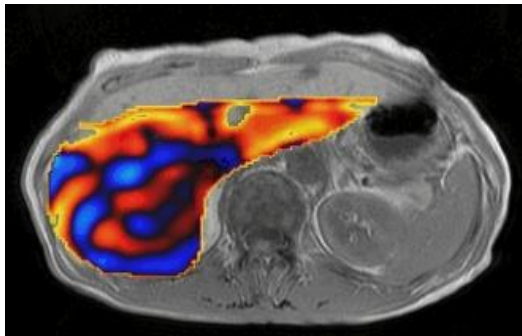
Driver Amplitude



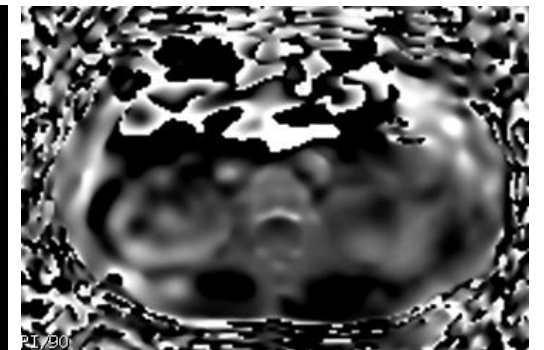
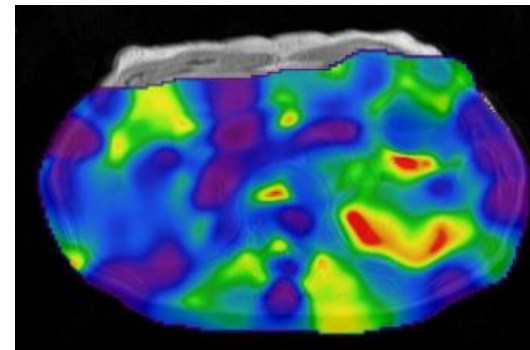
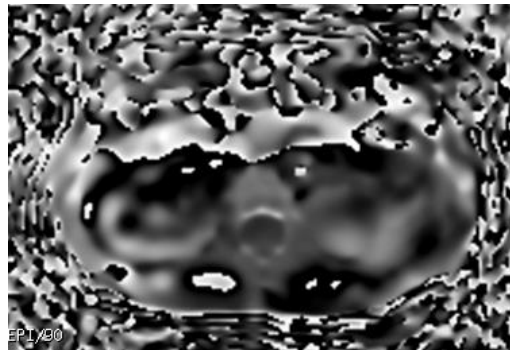
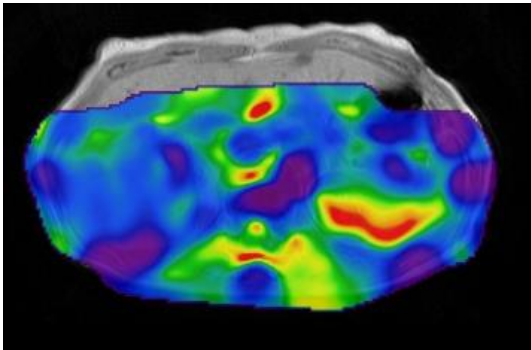
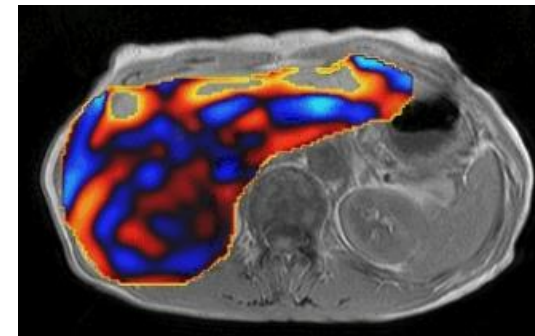
Driver Amplitude

体格が小さい患者の場合（女性/38kg）

Driver Amplitude : 50%



Driver Amplitude : 30%



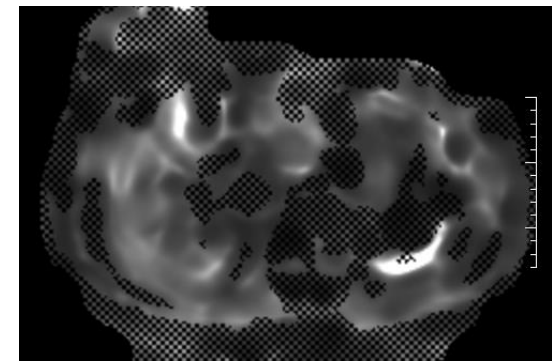
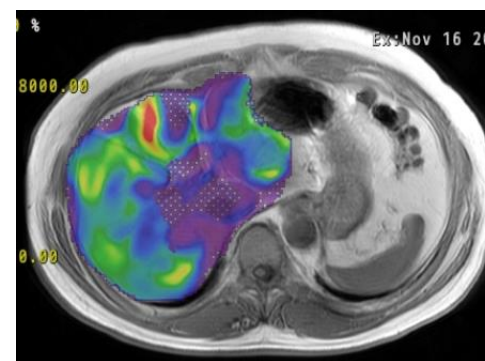
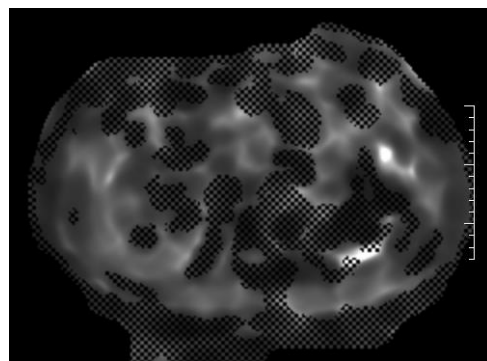
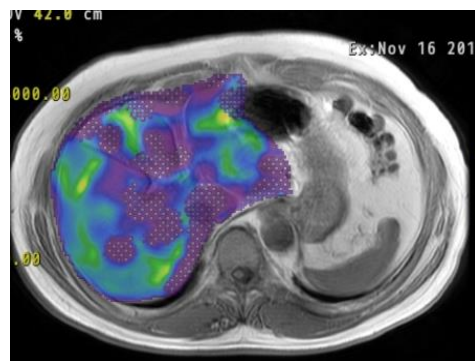
Driver Amplitude

体格が大きい患者の場合（男性/92kg）

Driver Amplitude : 50%

Driver Amplitude : 100%

Driver Amplitudeの設定：体格により調整が必要
体格が小さい：低めに設定
体格が大きい：高めに設定



MRエラストグラフィ特有なパラメータ

①Temporal Phases : MEGの位相について360度を何分割するか？

②MEG Frequency : MEGの周波数の設定

③MEG Direction : MEGの印可方向

③Driver Frequency : 外部振動の周波数の設定

④Driver Amplitude : 外部振動の振動強度の設定

⑥撮像断面・・・おまけ

MEGの設定



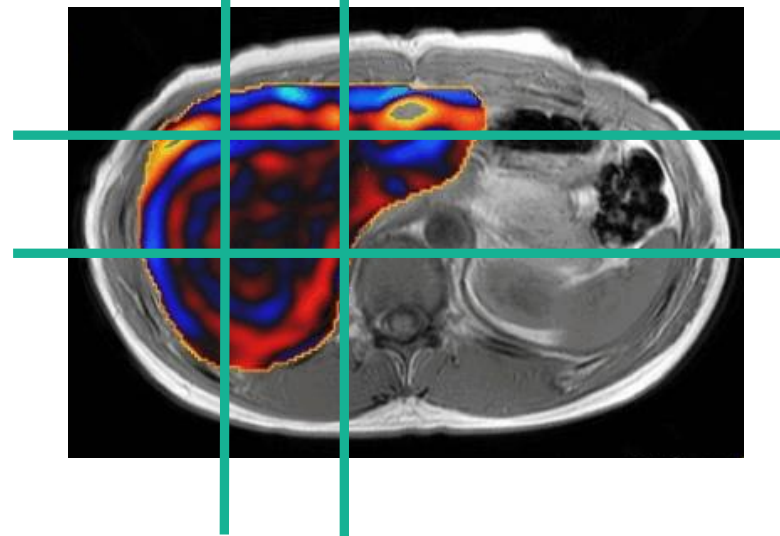
加振装置の設定



撮像断面

矢状断面

- ・ 右より
- ・ 左より

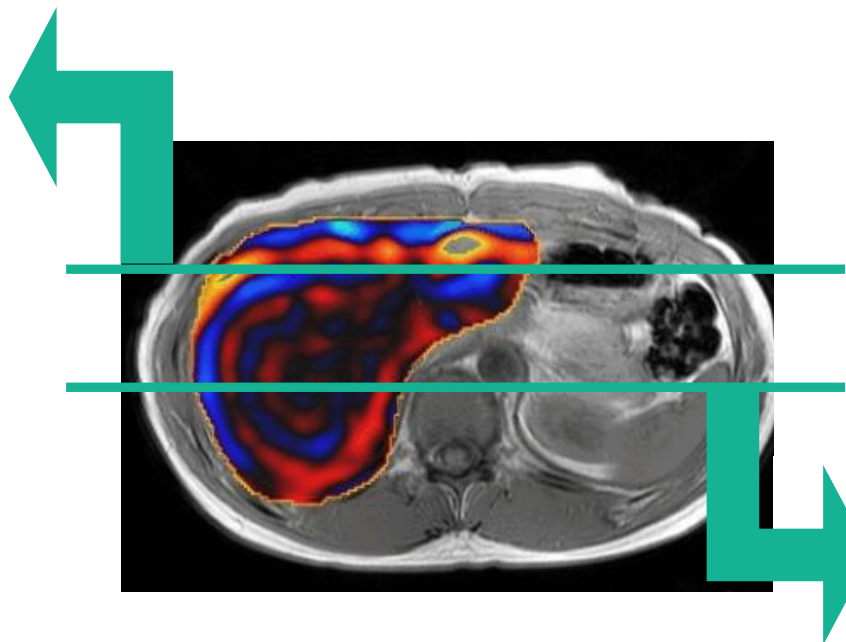
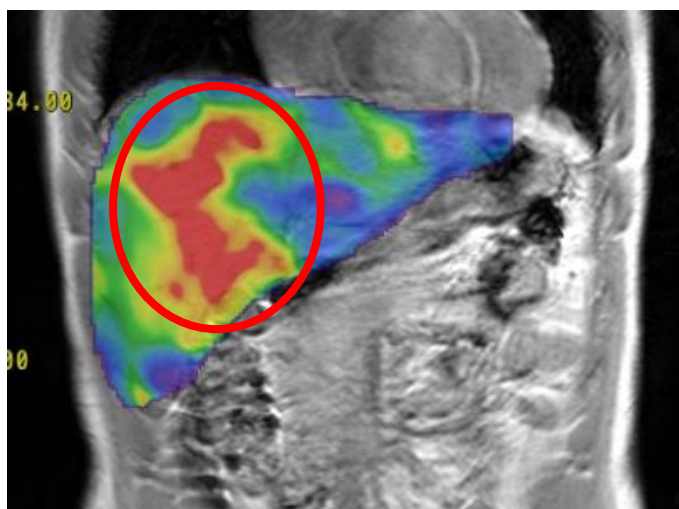
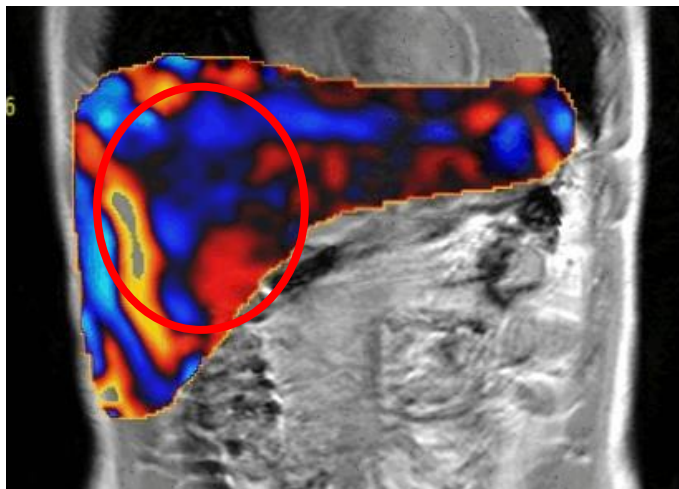


冠状断面

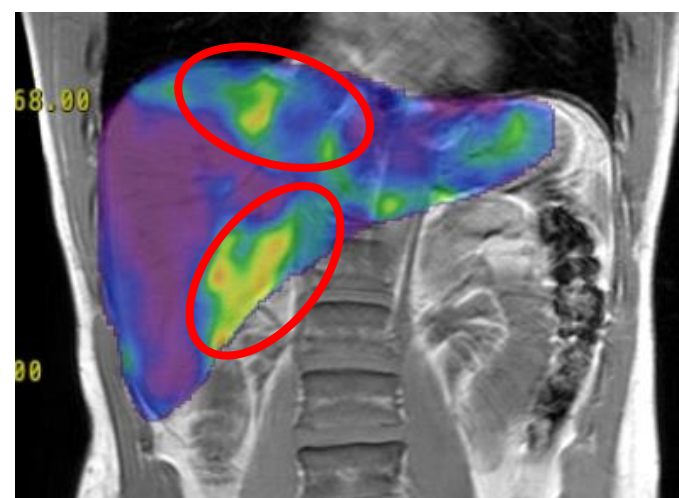
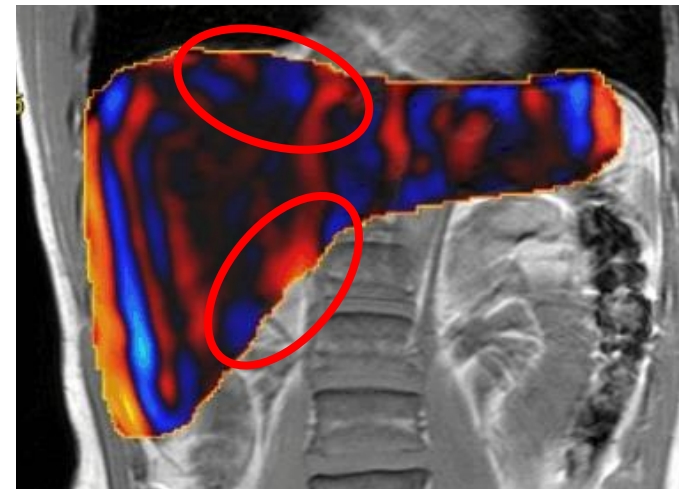
- ・ 前より
- ・ 中央より

撮像断面（冠状断）

腹側の断面

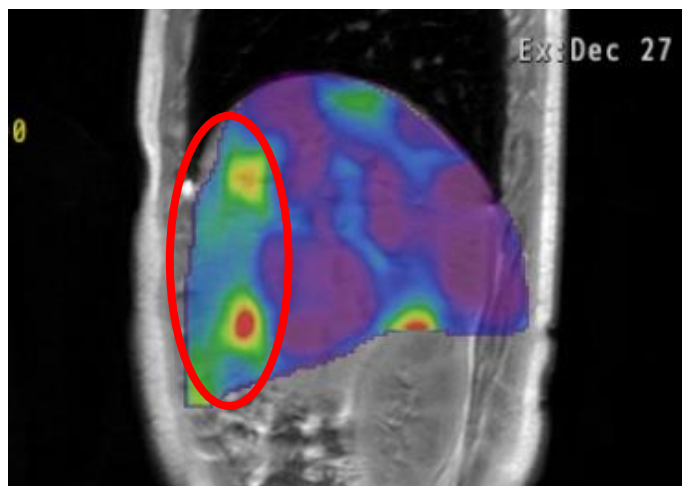
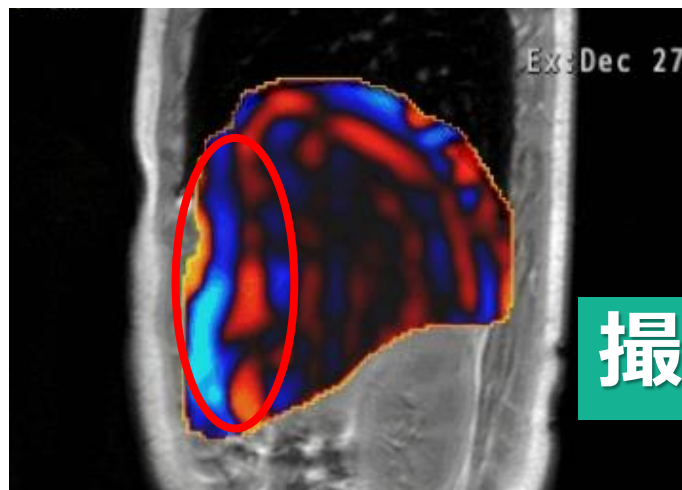


中央のの断面

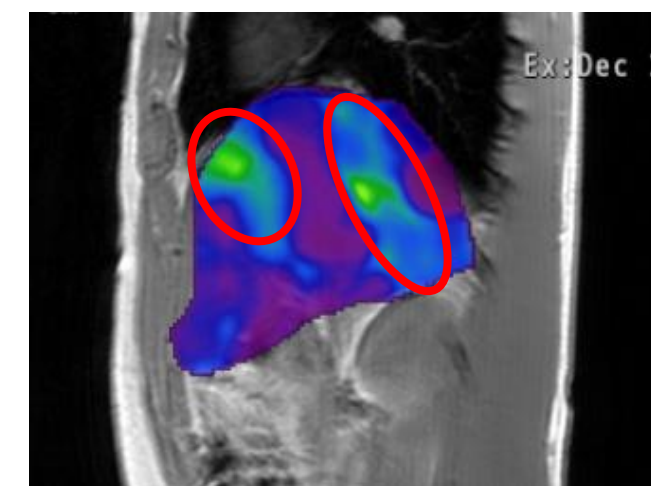


撮像断面（矢状断）

右側の断面



左側の断面



撮像断面の設定：横断像が適切



まとめ

- 肝MRエラストグラフィは、非侵襲的に繰り返し、肝線維化の評価が行える有用な検査。
- ポジショニングは、パッシブドライバーの位置と固定が重要。
- 撮像パラメータは、変更できることが少なく、基本的にDriver Amplitudeのみ調整。
- MRエラストグラフィを含む肝臓の検査は、従来の形態評価に加えて、機能評価である線維化評価、脂肪化評価、鉄沈着が同時に行える重要なツール。

参考文献

- 肝臓疾患診断におけるMREハンドブック 著者：吉満研吾、中島淳、本杉宇太郎(編)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/kanzo/59/8/59_407/_pdf/-char/ja
- エラストグラフィ徹底解説: 生体の硬さを画像化する 著者：荒木 力
- 『肝線維化・脂肪化診断の進歩と将来展望』 MRI
https://www.jstage.jst.go.jp/article/mit/35/3/35_146/_pdf/-char/ja
- 上腹部臓器の CT/MRI —コンピューター支援診断への期待
https://www.jstage.jst.go.jp/article/mit/35/3/35_146/_pdf/-char/ja
- MRI－腹部領域におけるMRI最新技術－非侵襲的アプローチを中心に
<https://www.innervision.co.jp/suite/ge/technote/120418/index.html>

