

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)



CANON社製
Vantage Orian
(1.5T)

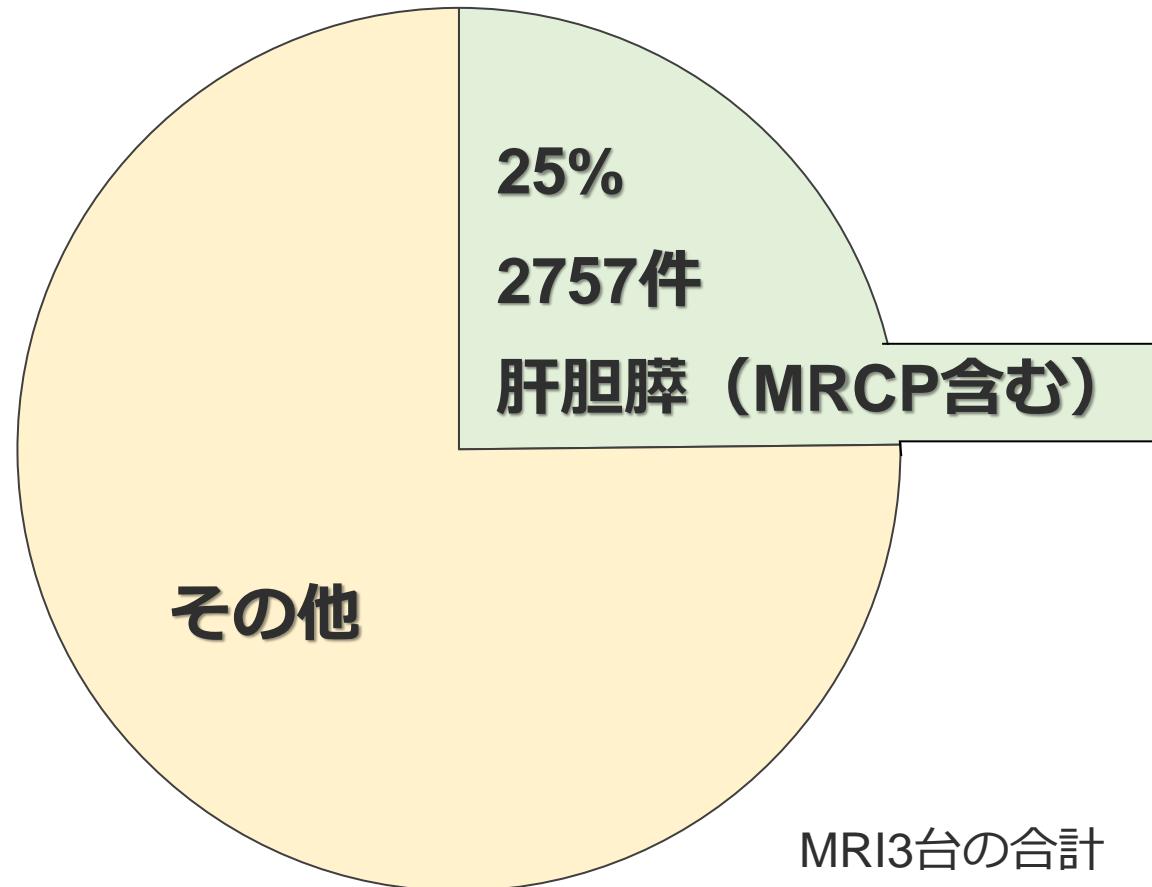


CANON社製
Vantage Elan
(1.5T)

エラストグラフィ機能搭載
(MR Touch)

MRI検査の内訳

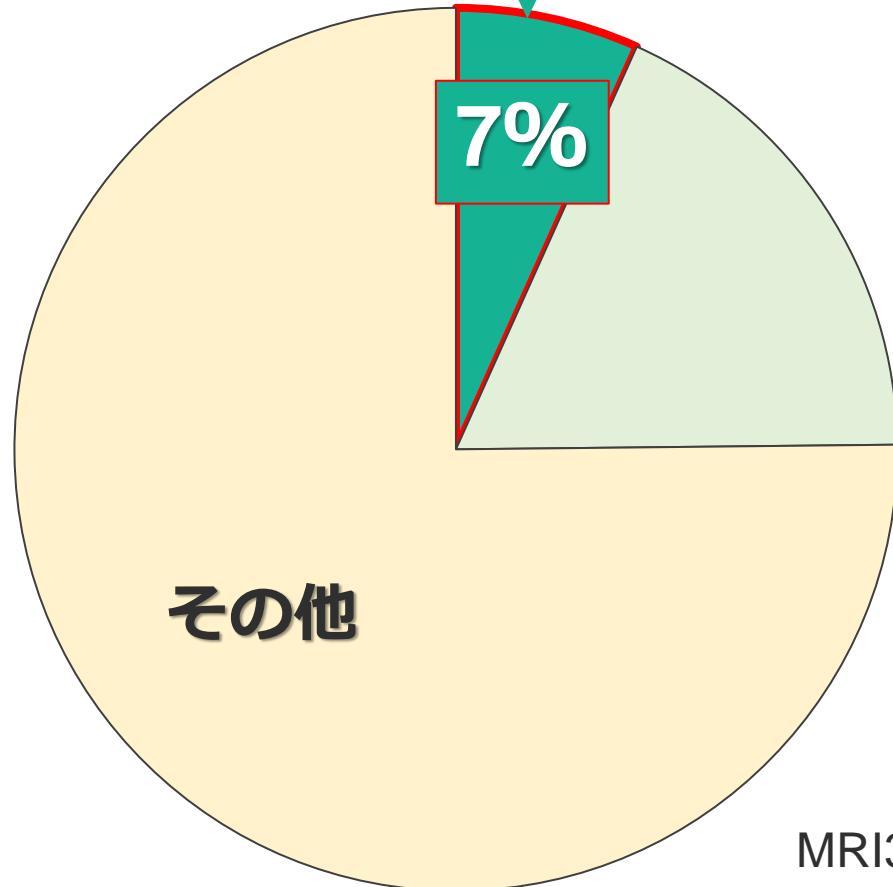
昨年の件数：
11103件



MRI3台の合計
2022/1/1～2022/12/31

MRI検査の内訳

昨年の件数：
11103件



MRI3台の合計
2022/1/1～2022/12/31

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

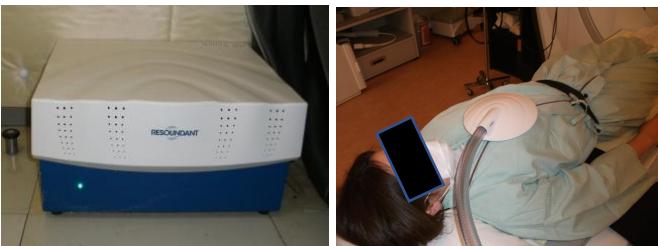
③ポジショニング

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。

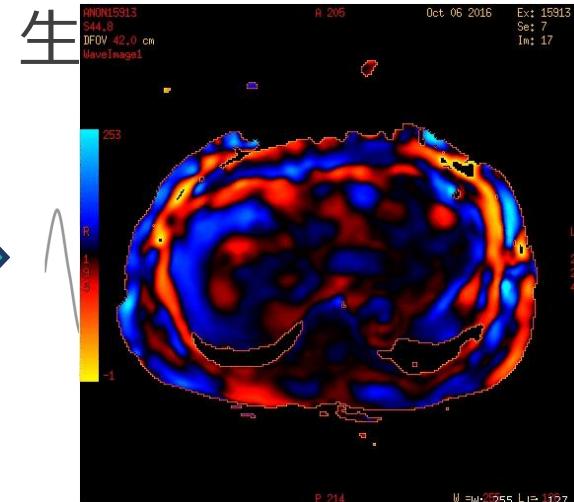
加振装置



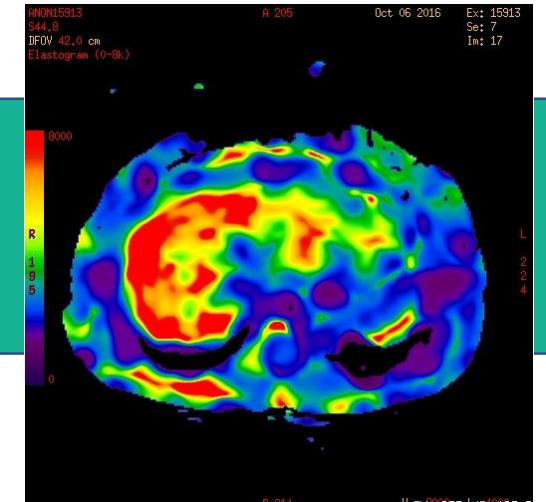
同期



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？

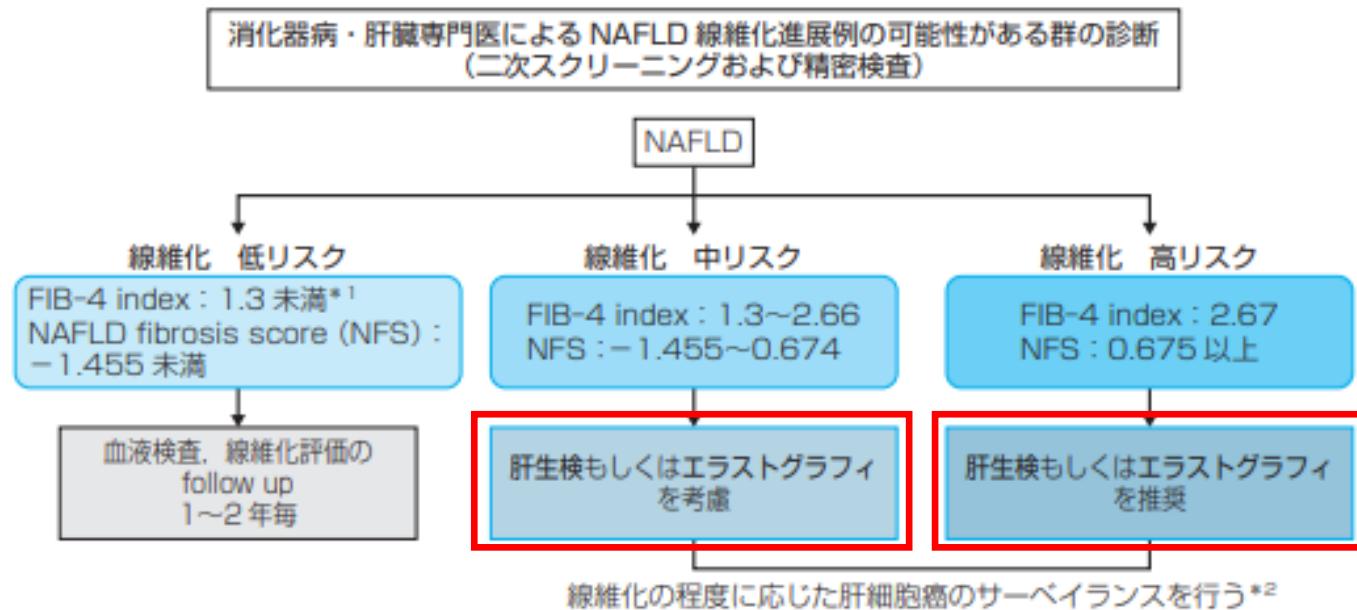
エラストグラフィで肝臓の硬さを調べることにより、非常に高い感度、特異度で肝臓の線維化（肝硬変）を診断することができる。

肝の纖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

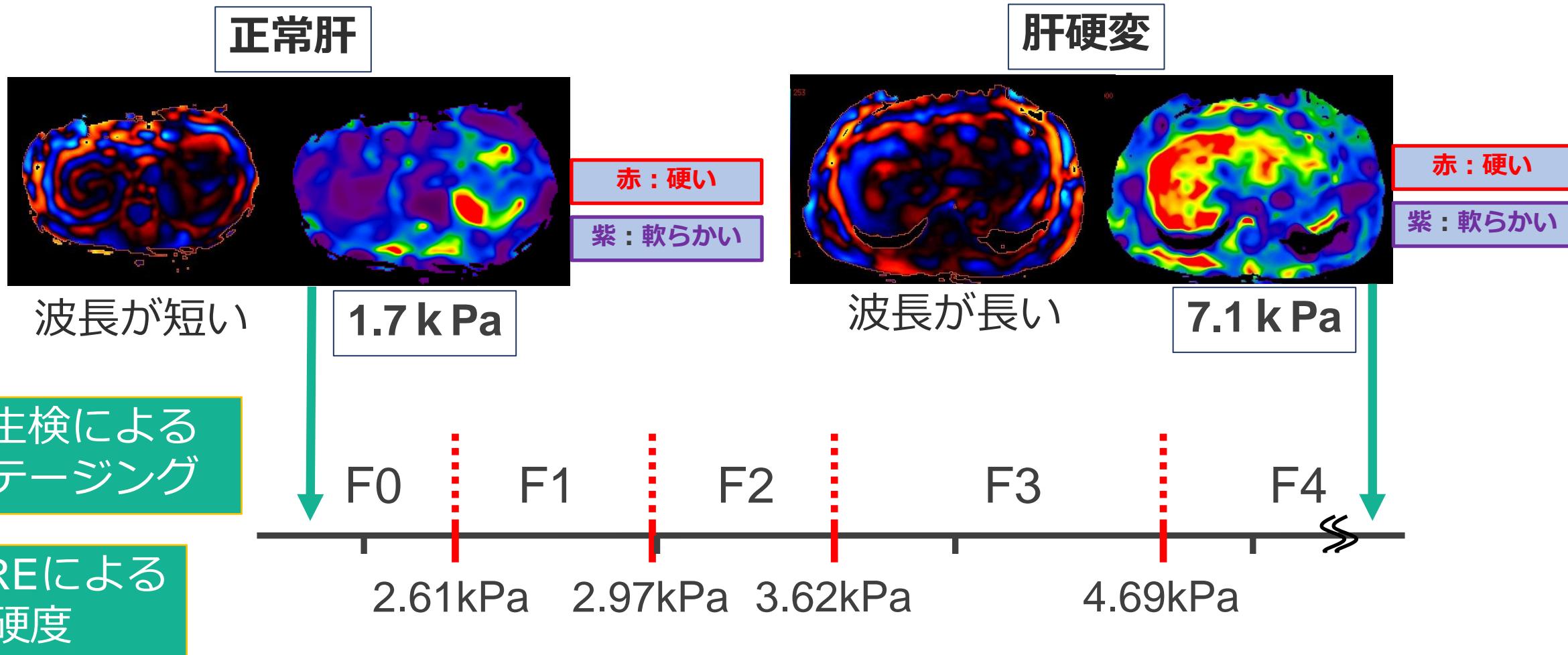
肝MRエラストグラフィの役割

肝線維化進展例の絞り込みフローチャート (2)

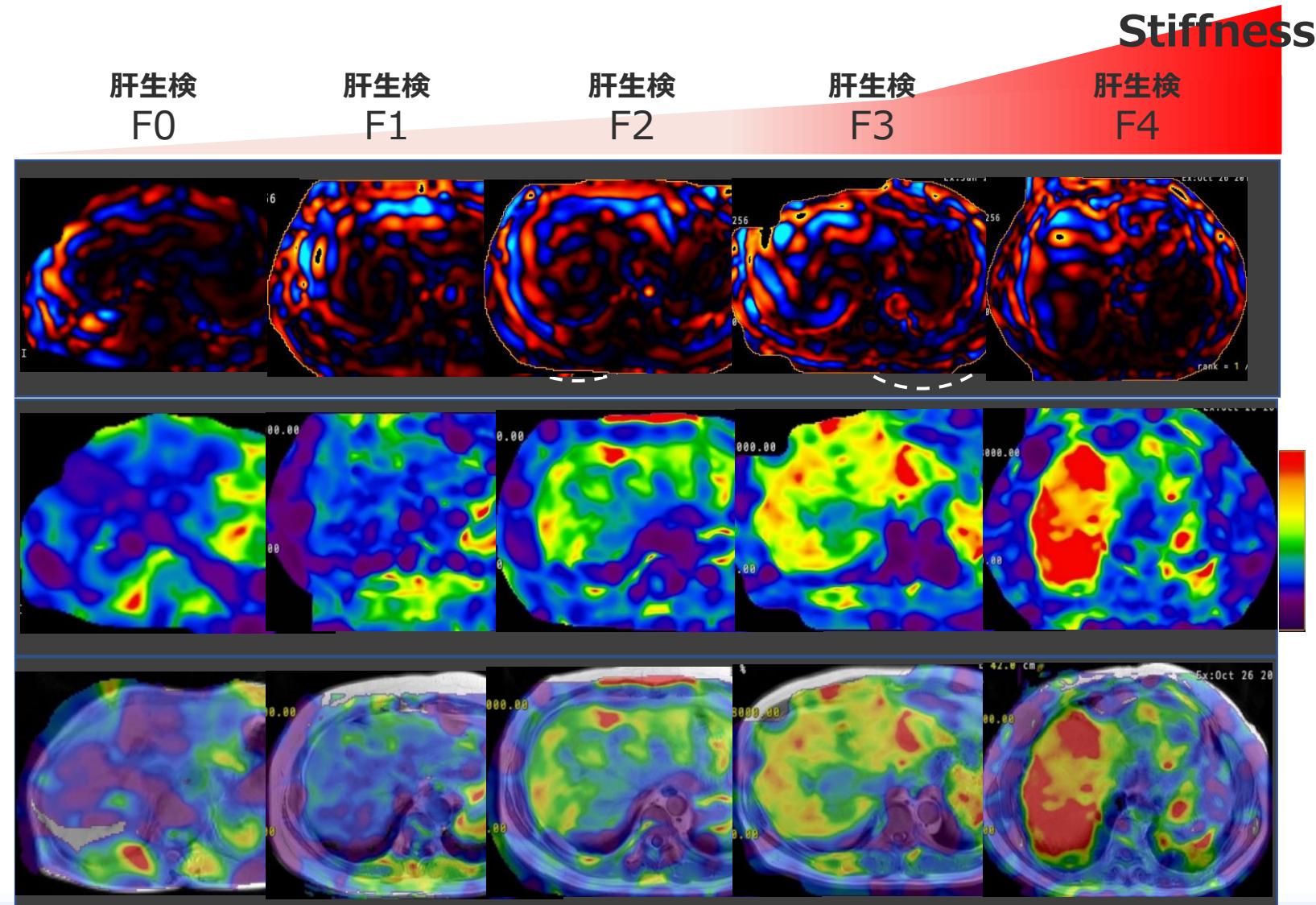


※NAFLD:非アルコール性脂肪性肝疾患
NASH:非アルコール性脂肪肝炎

肝生検による線維化評価の予測



肝MRIエラストグラフィの役割



肝MRI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

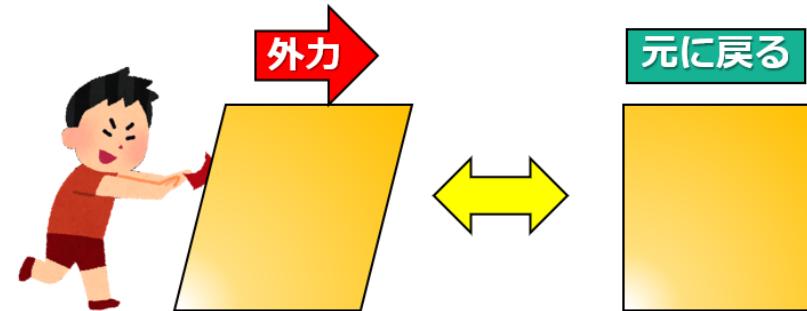
③ポジショニング

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」



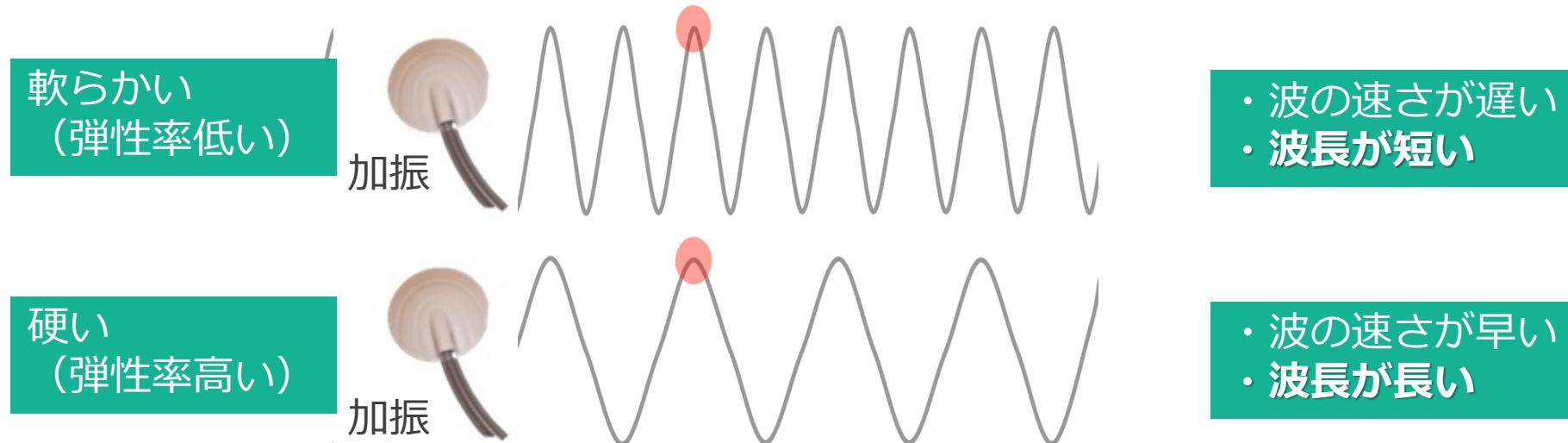
ずり弾性率：力を加えたときの変形のしにくさの指標

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



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)

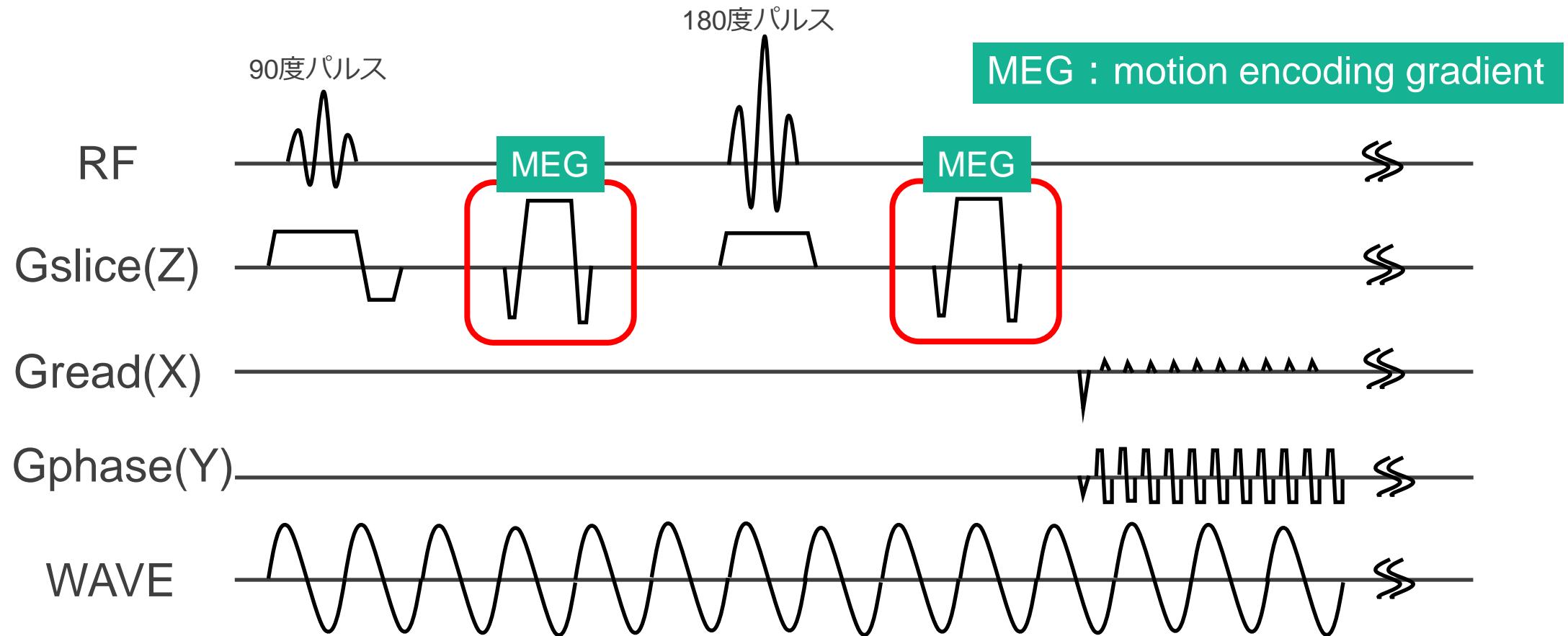
μ : ずり弾性率

- ・ 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

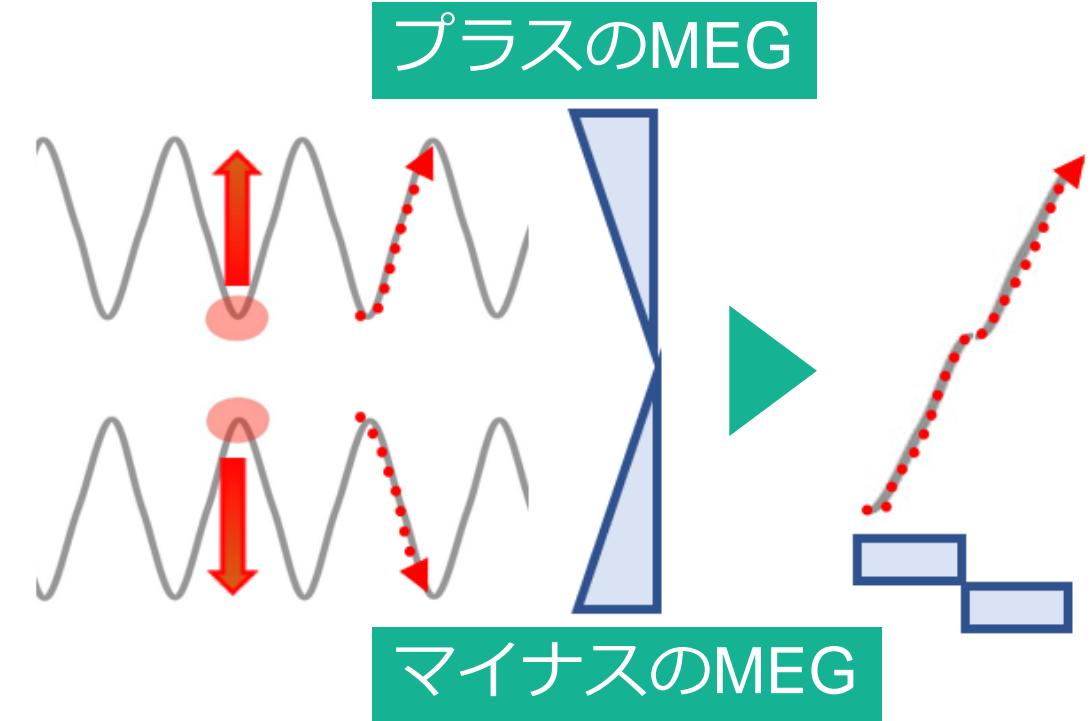
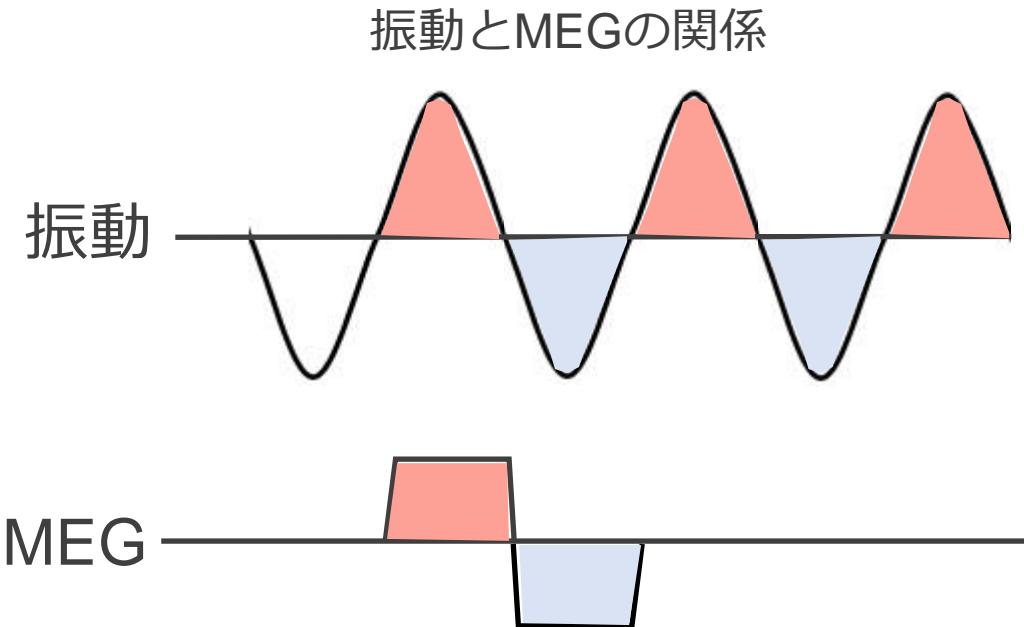
※人体の弾性率 ≒ 粘弾性率

MRIで波長を捉える方法

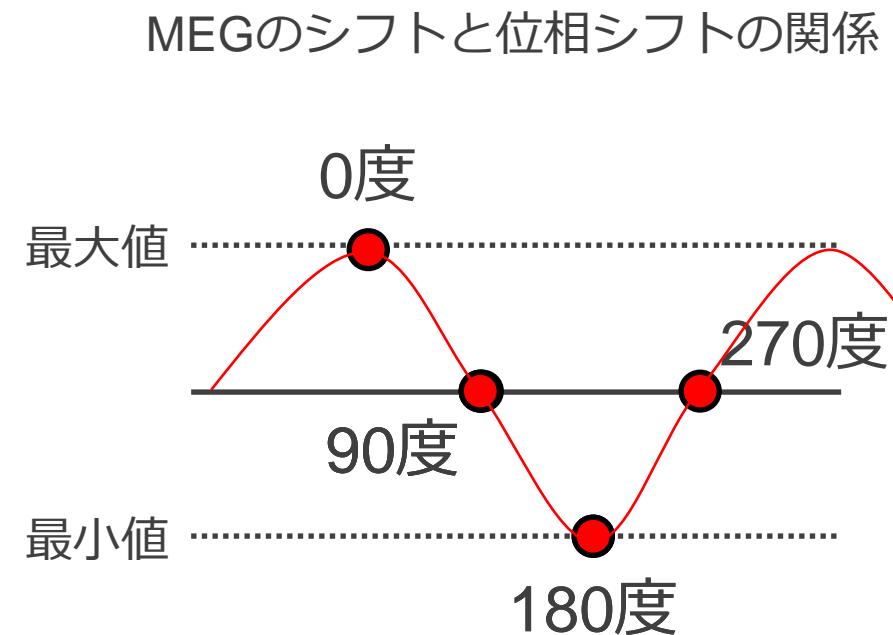
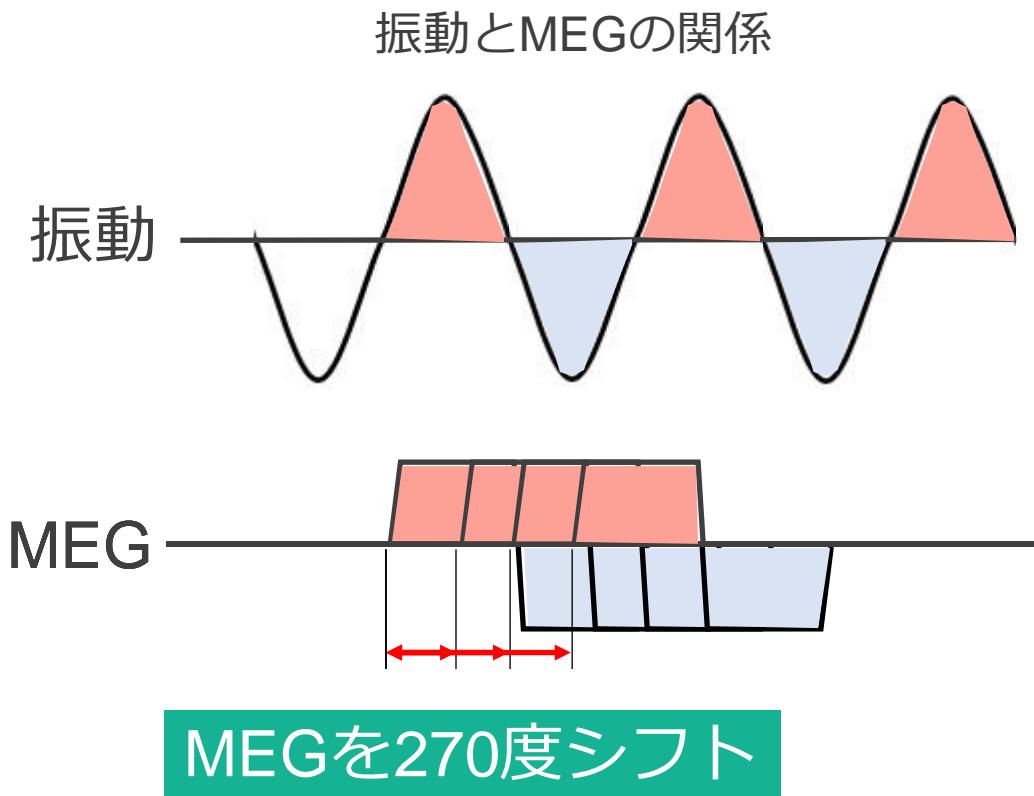


SE-EPI MRIパルスシーケンスチャート (GE社3T EPI MRE)

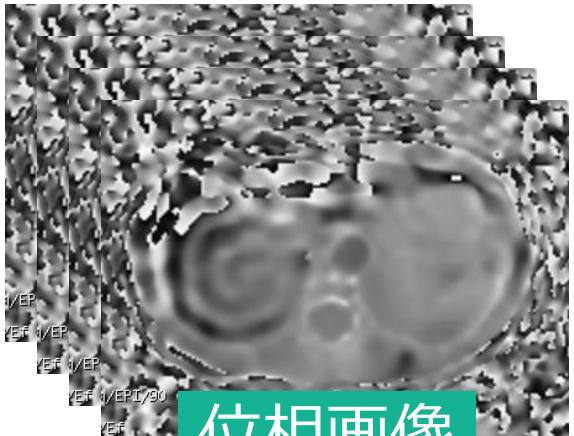
MEGで振動を捉える原理



MEGで振動を捉える原理

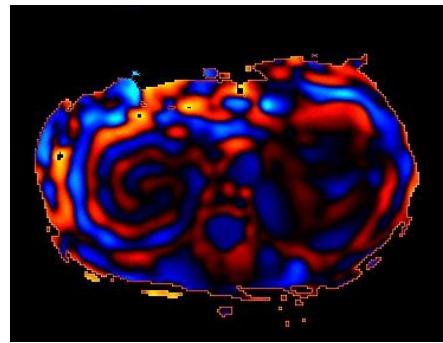


位相画像から硬度画像を求める



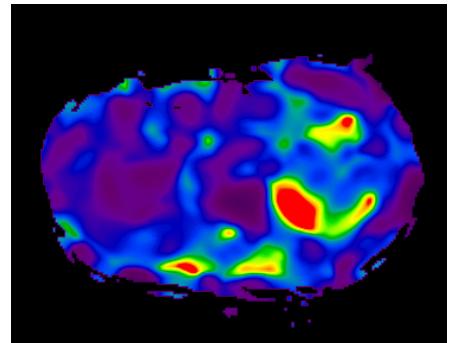
位相画像

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

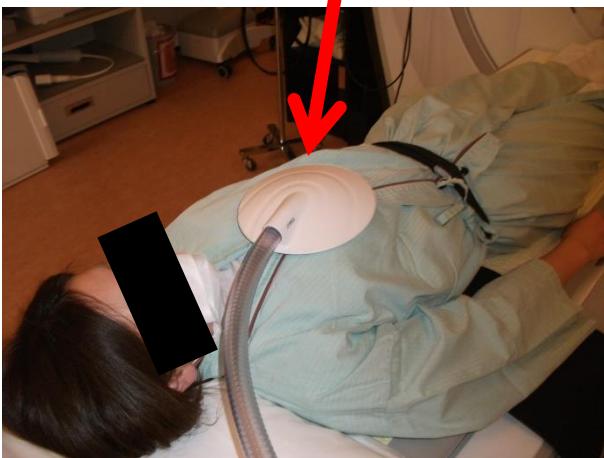
③ポジショニング

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）



通常の腹部検査と
同じように
コイルセット



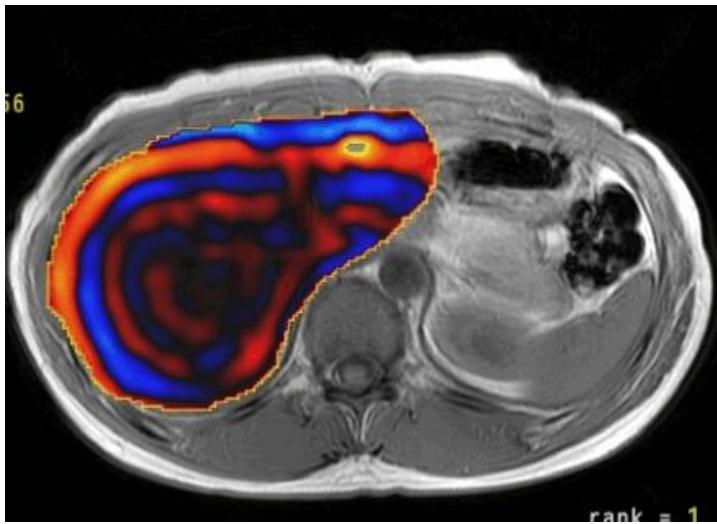
胸壁に密着させるため
伸縮ベルトでしっかりと**固定**



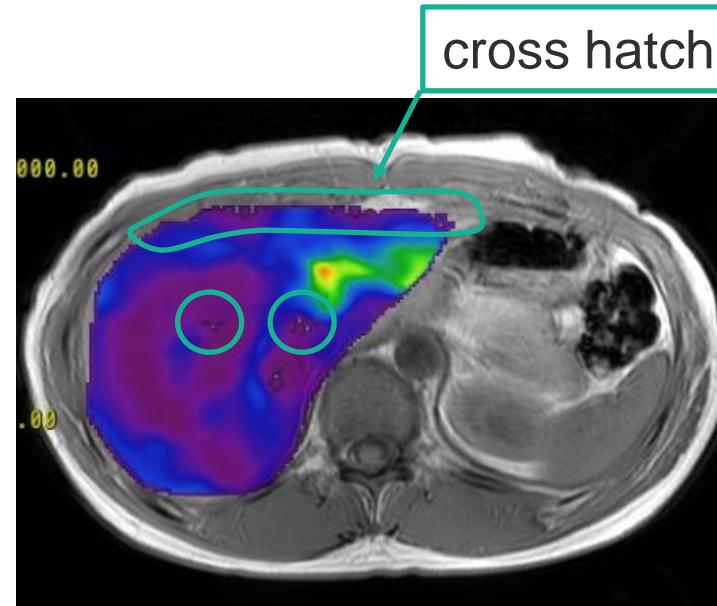
ガントリー内へ

画像確認ポイント

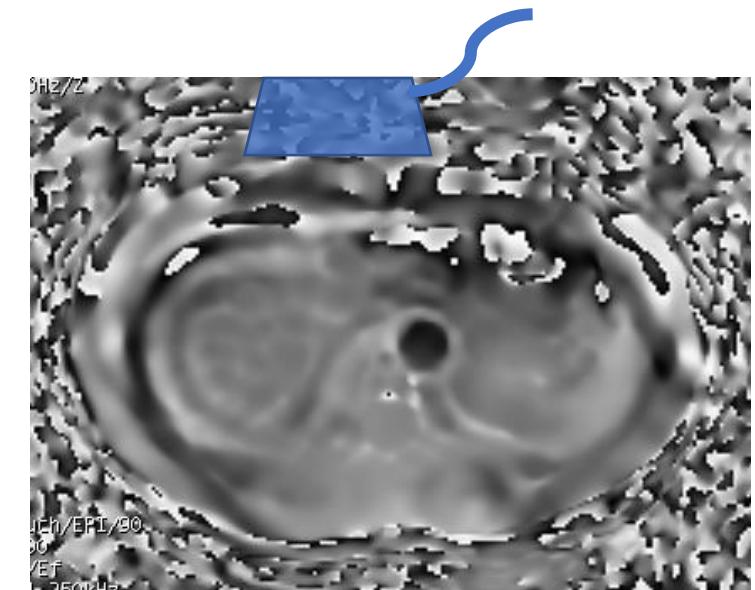
- wave imageで波が平行に伝わっていること
- 硬度画像で×印（クロスハッチ）が多すぎない
- 位相画像でドライバーの位置に位相の折り返しがあること



Wave image



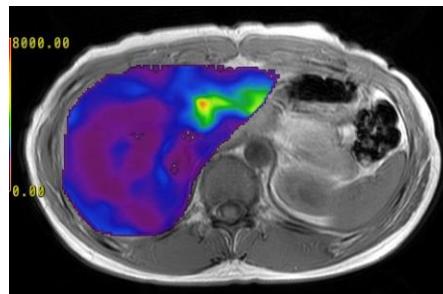
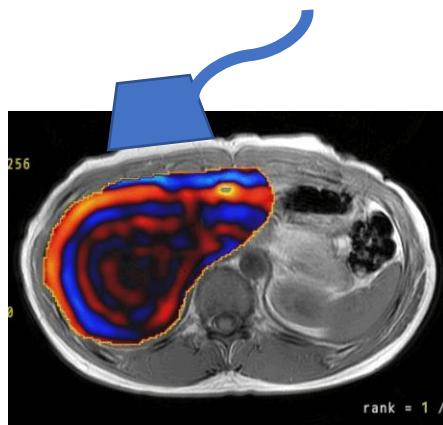
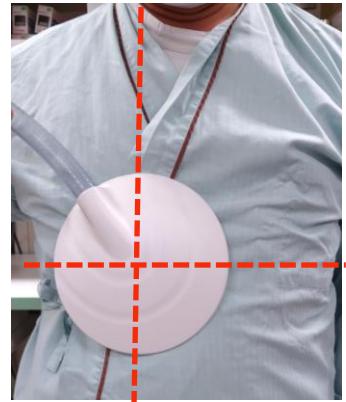
硬度画像 (cross hatch付)



位相画像

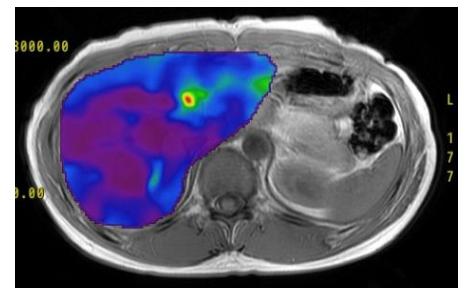
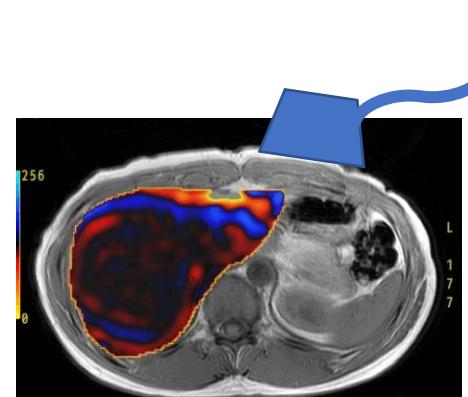
パッシブドライバーの位置

通常の位置



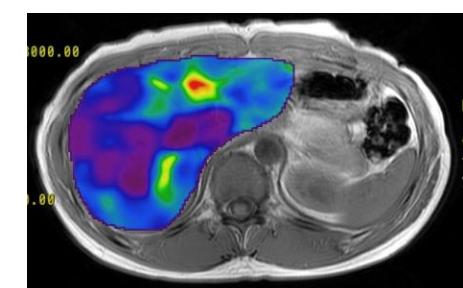
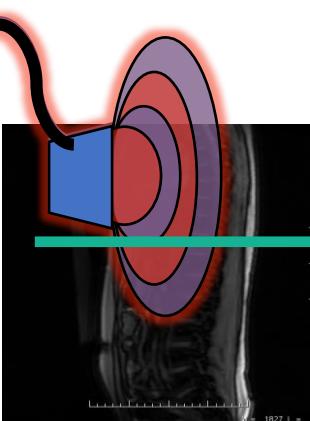
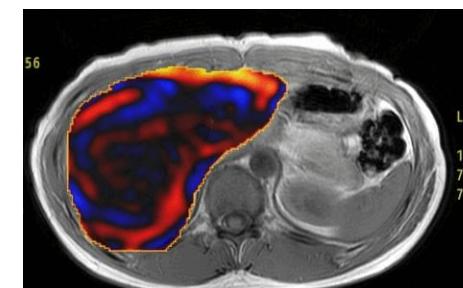
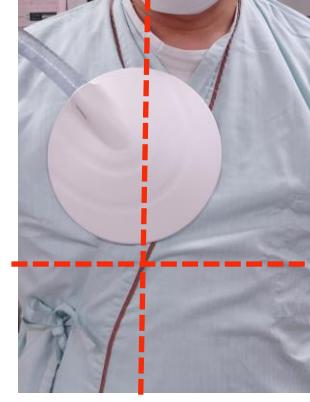
弾性率 : 1.5 kPa

左側にずらした時



弾性率 : 1.5 kPa

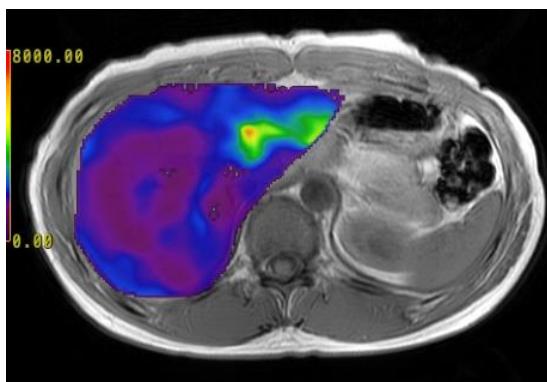
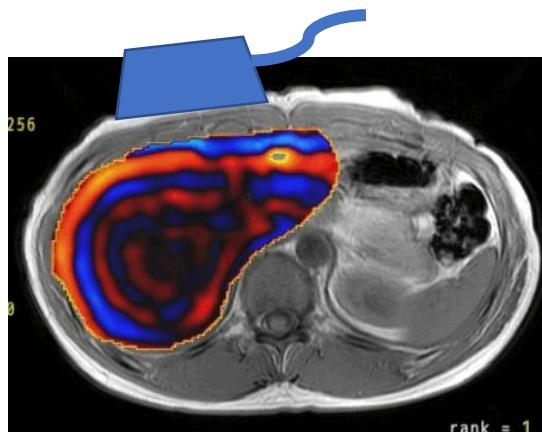
頭側にずらした時



弾性率 : 1.7 kPa

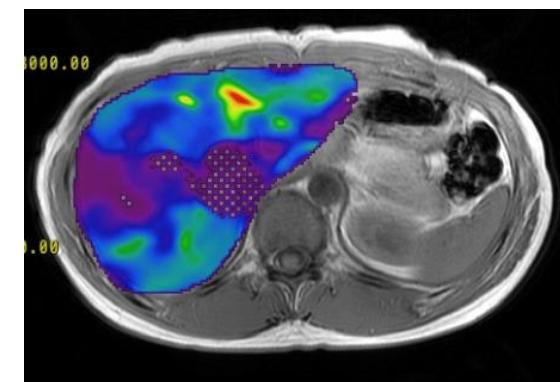
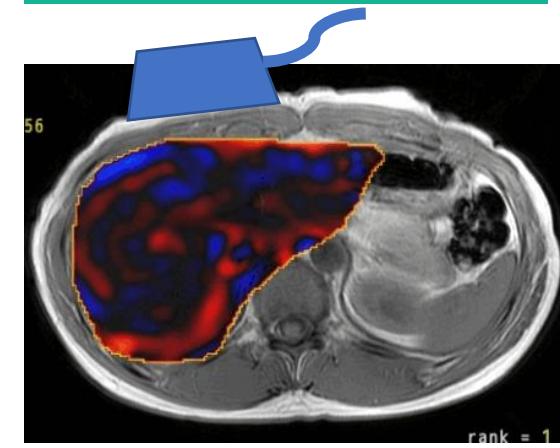
パッシブドライバーの固定

通常の固定（しっかり固定）



弾性率 : 1.5 kPa

バンド固定が緩い時

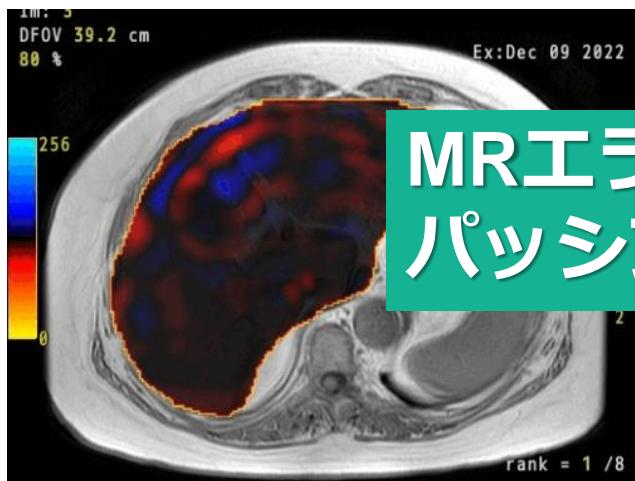


弾性率 : 1.9 kPa

弾性率
腹部側 : 2.4 kPa
背中側 : 2.3 kPa

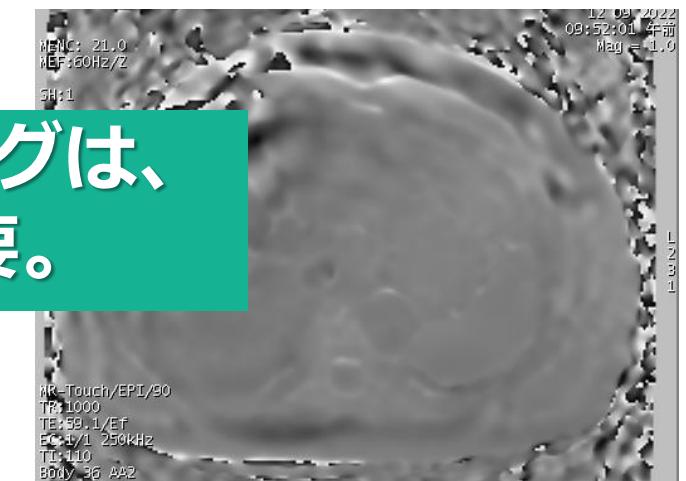
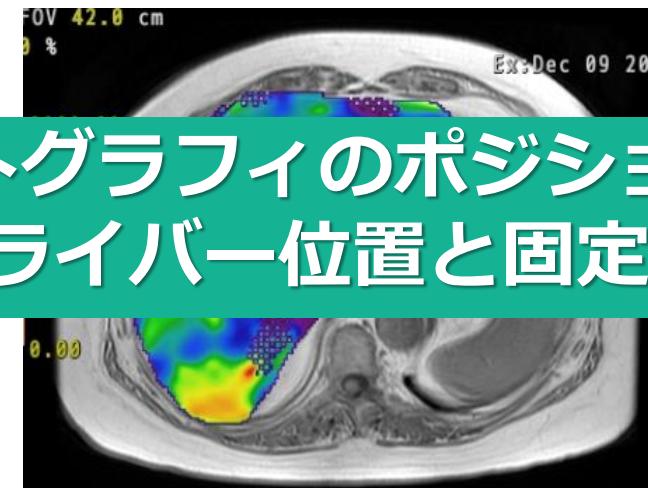
パッシブドライバーの位置と固定

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)

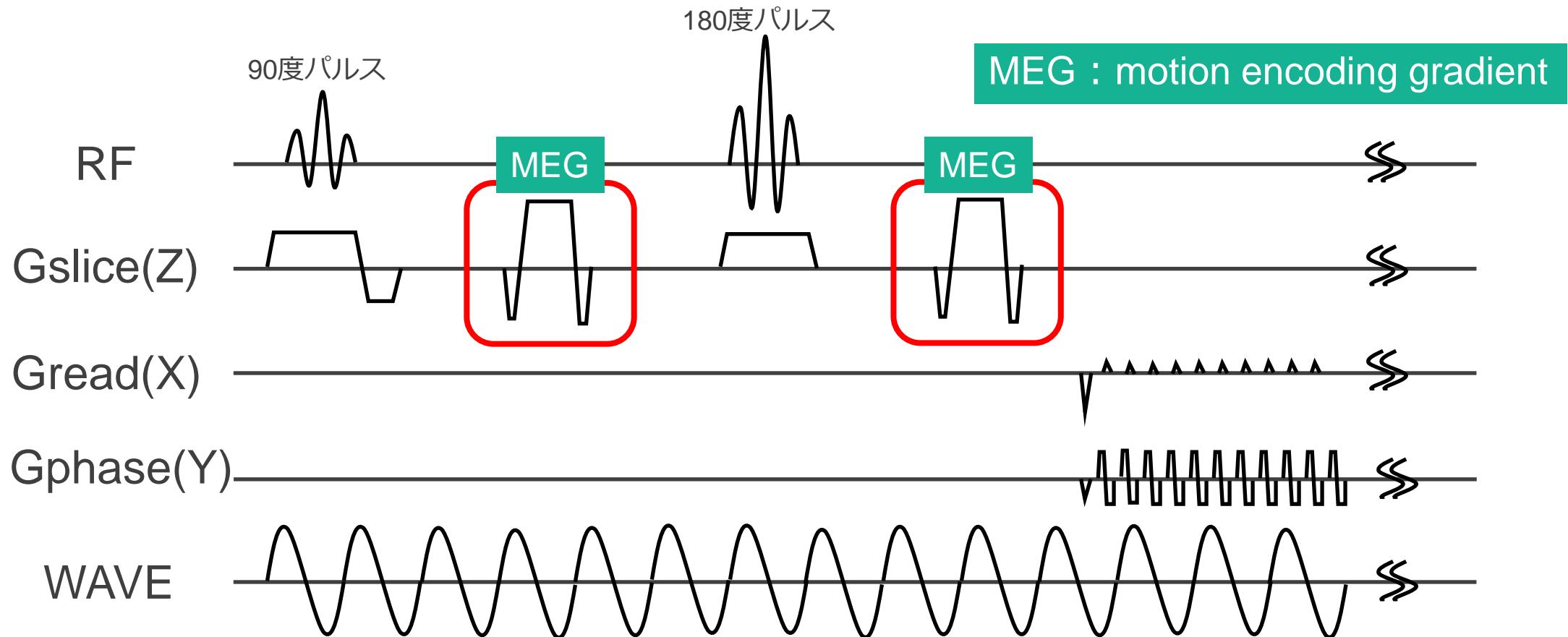


phase image

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

通常のMRIのパラメータ

2D EPI 撮像時間 : 16s

スキャン面 : Axial

TR : 1000ms

NEX:1.00

FOV : 42cm

スライス数 : 4

バンド幅 : 250kHz

位相FOV : 1.00

TE : Min Full (55.1ms)

Asset:2.0

スライス厚 : 10mm

周波数 : 64

ケミカルsat : special

周波数エンコード : R/L

位相 : 64

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

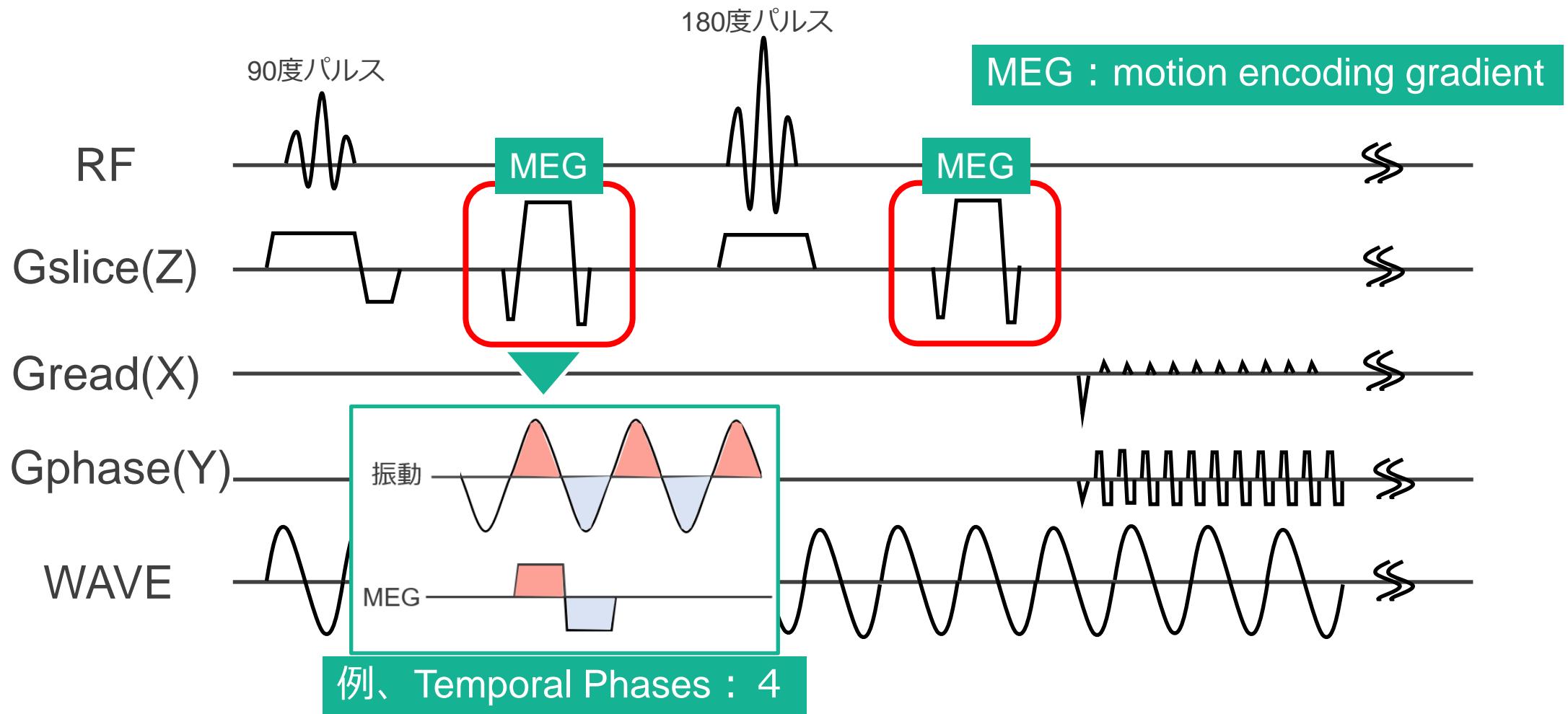
MRエラストグラフィ特有なパラメータ

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	MEG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	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	MEG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	加振装置の設定

Temporal Phase



Temporal Phaseを変更したときの画像

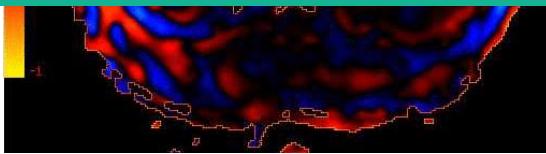
Temporal Phase : 4



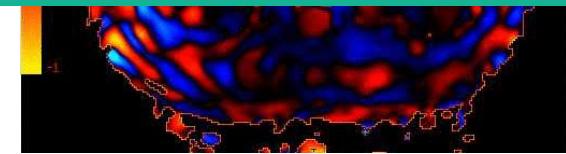
Temporal Phase : 16



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



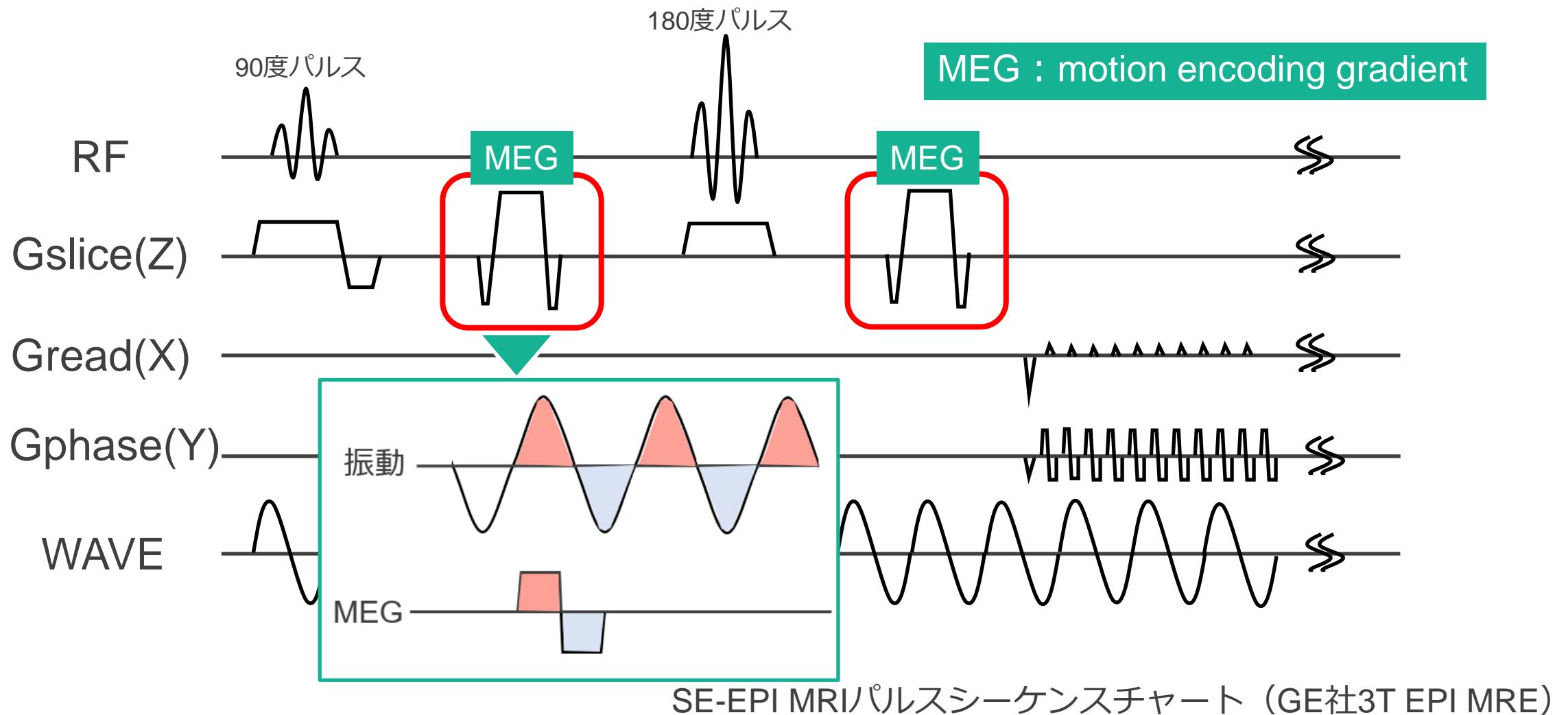
撮像時間 : 64秒

硬度画像の空間分解能向上
撮像時間の延長

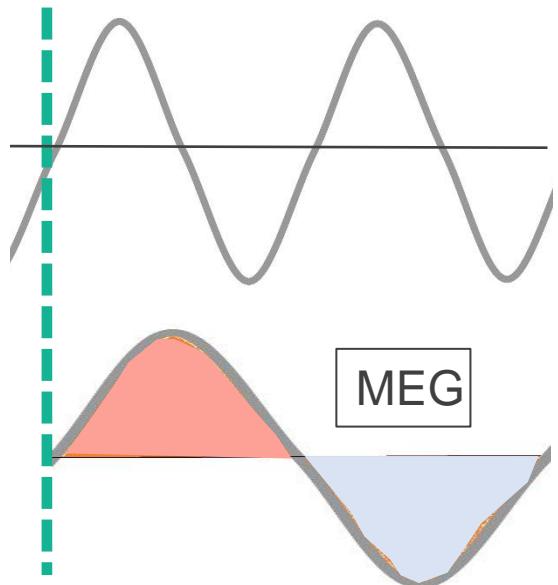
MRエラストグラフィ特有なパラメータ

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	MEG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	加振装置の設定

MEG Frequency

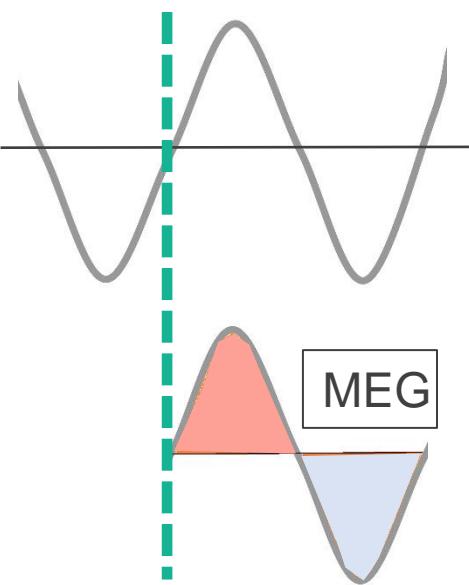


MEG Frequency



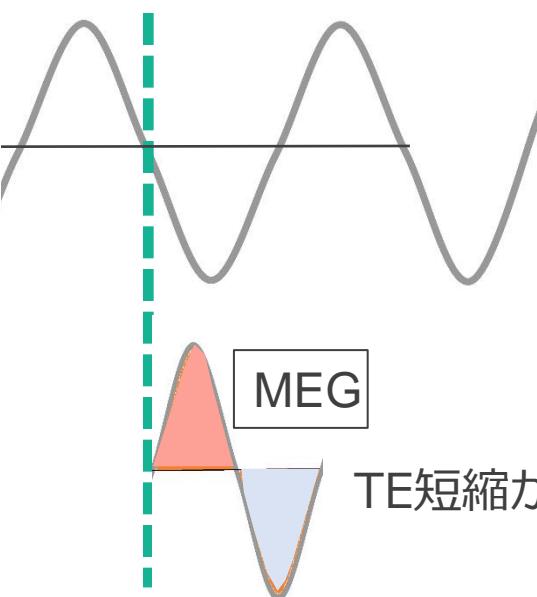
MEGの印加時間
長い

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



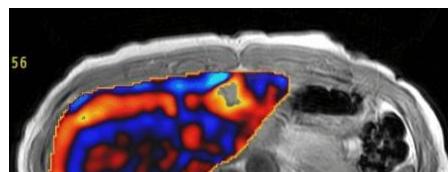
MEGの印加時間
短い

• 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

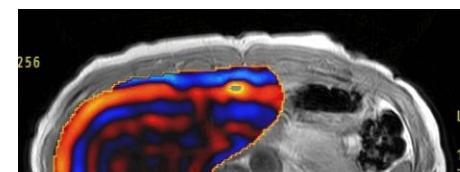
MEG Frequency : 30Hz

MEGの印加時間
長い



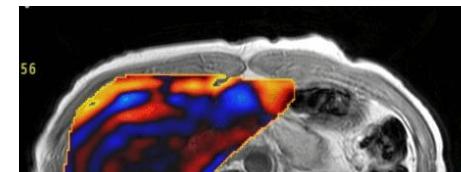
MEG Frequency : 60

MEG Frequencyと
Driver Frequencyが一致

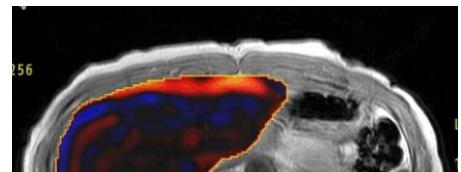


MEG Frequency : 90

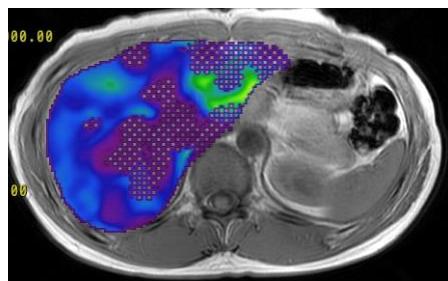
MEGの印加時間
短い



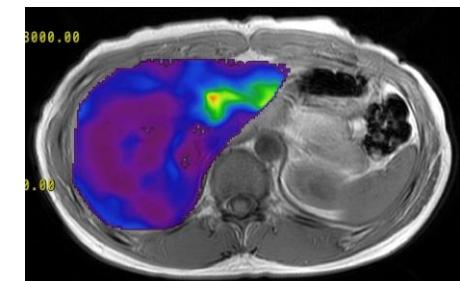
MEG Frequency : 120



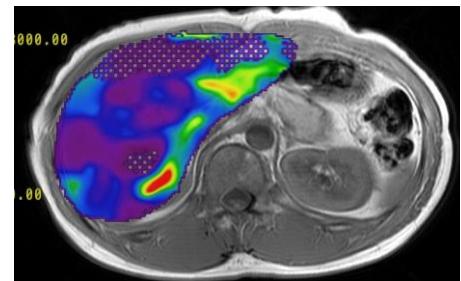
MEG Frequency設定 : Driver Frequencyと同じか、少し高く設定



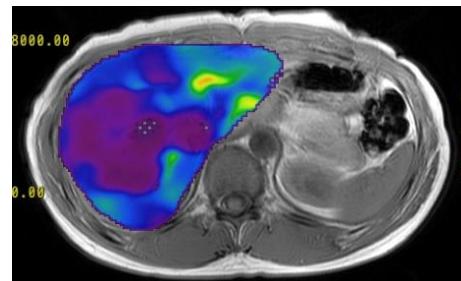
TE : 96.5ms



TE : 63.2ms



TE : 57.6ms

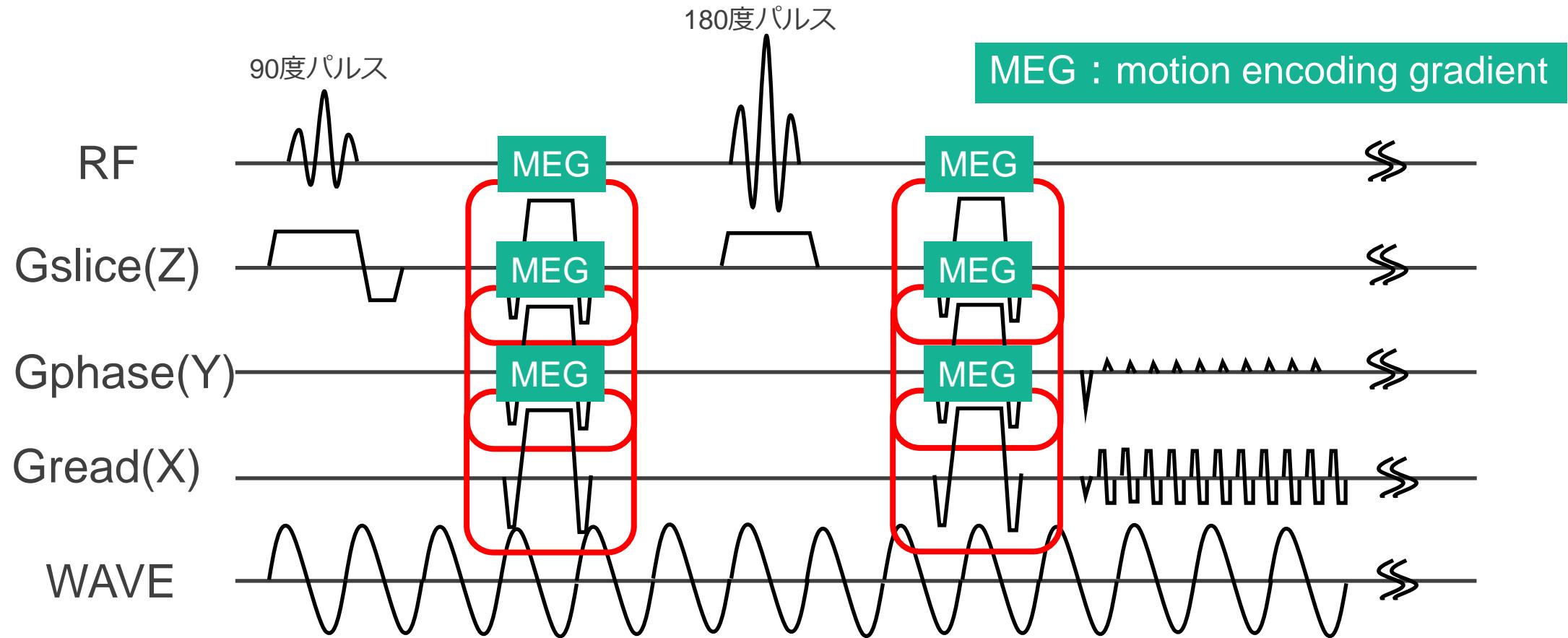


TE : 54.8ms

MRエラストグラフィ特有なパラメータ

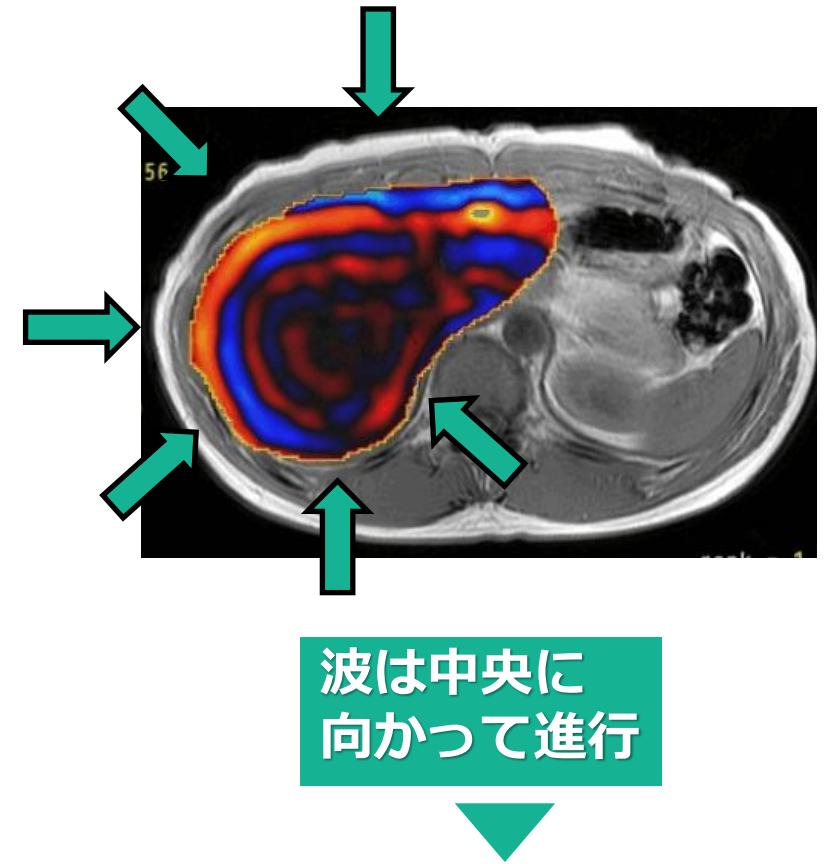
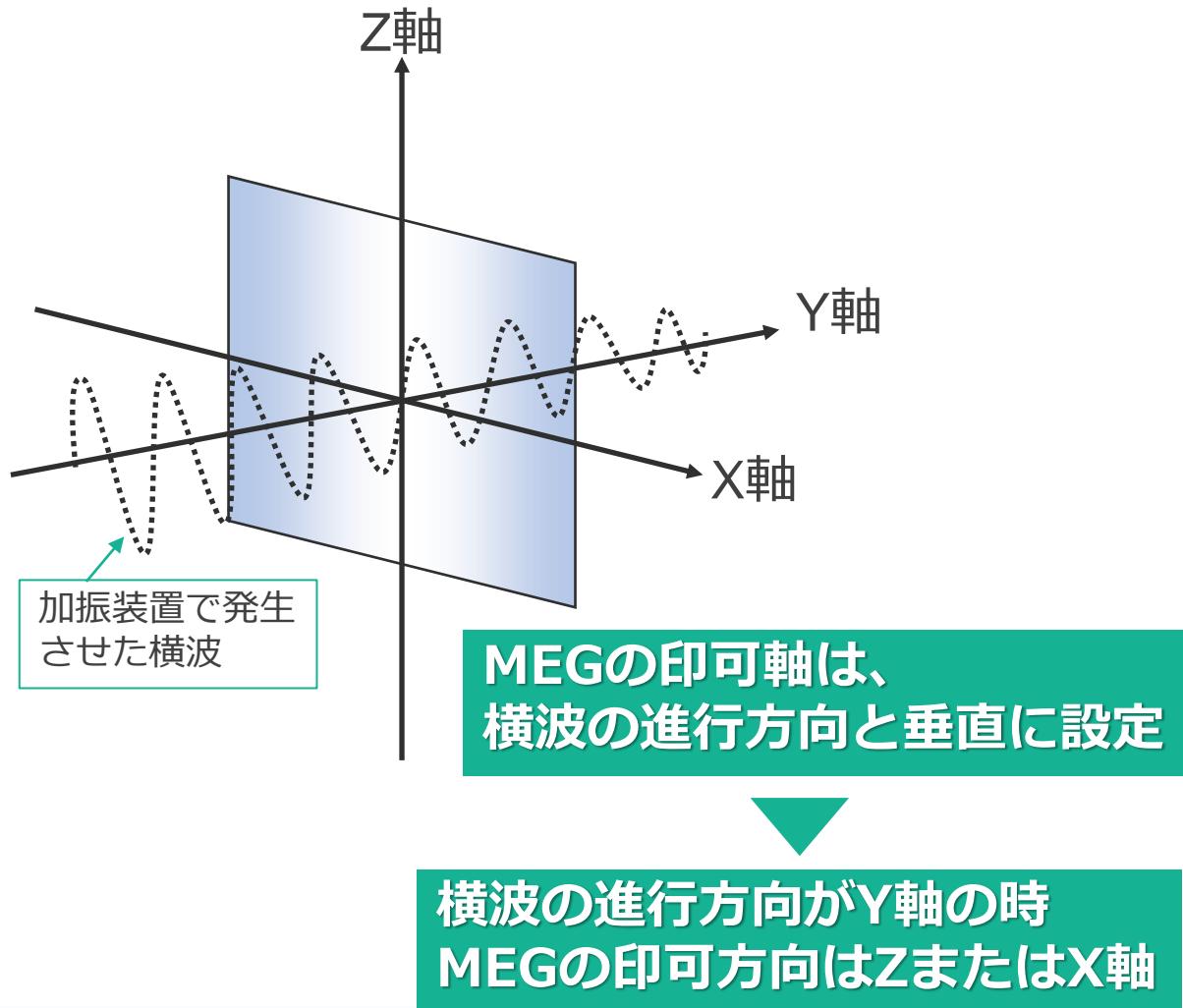
①Temporal Phases	:	MEGの位相について360度を何分割するか？	
②MEG Frequency	:	MEGの周波数の設定	MEGの設定
③MEG Direction	:	MEGの印可方向	
④Driver Frequency	:	外部振動の周波数の設定	
⑤Driver Amplitude	:	外部振動の振動強度の設定	加振装置の設定

MEG Direction



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

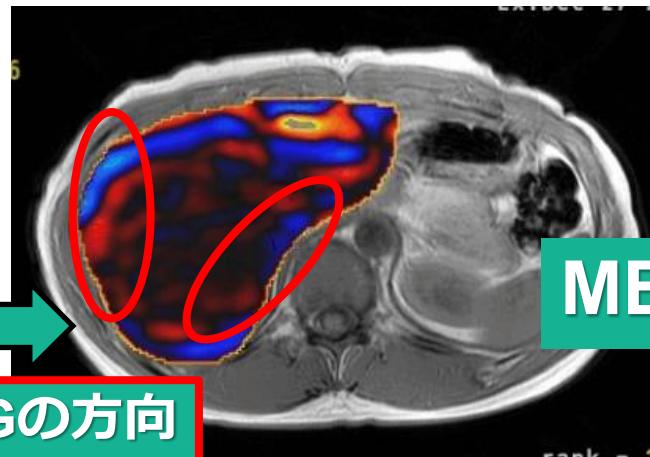
MEG Direction



MEG Directionを変更したときの画像

適切な設定

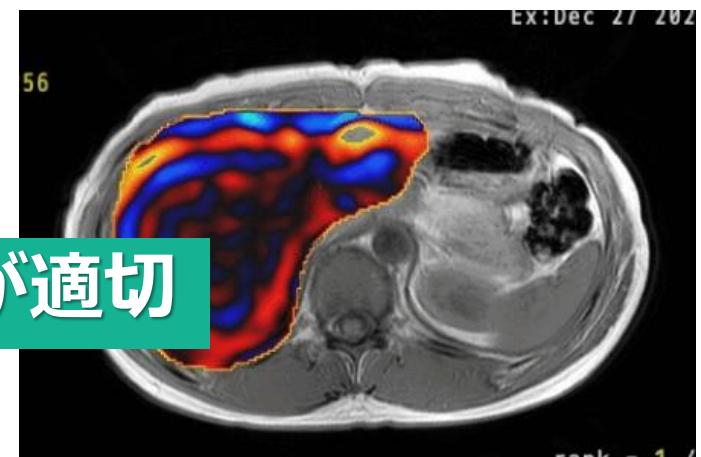
MEG Direction : X



MEG Direction : Y



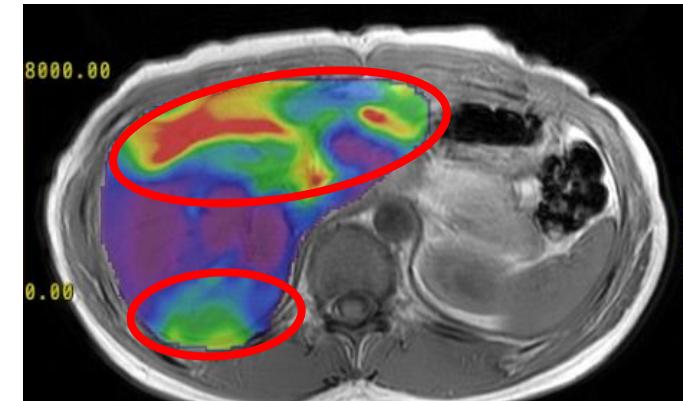
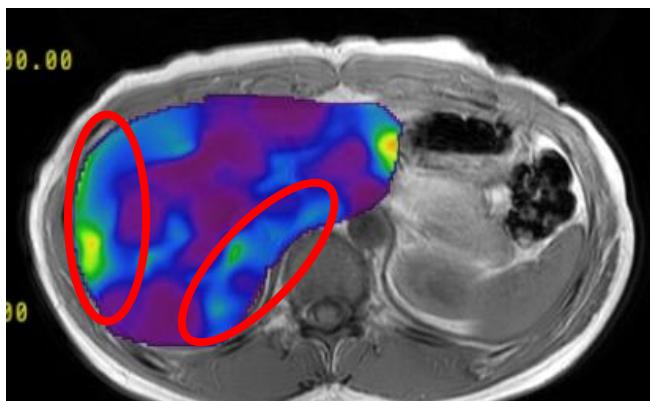
MEG Direction : Z



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

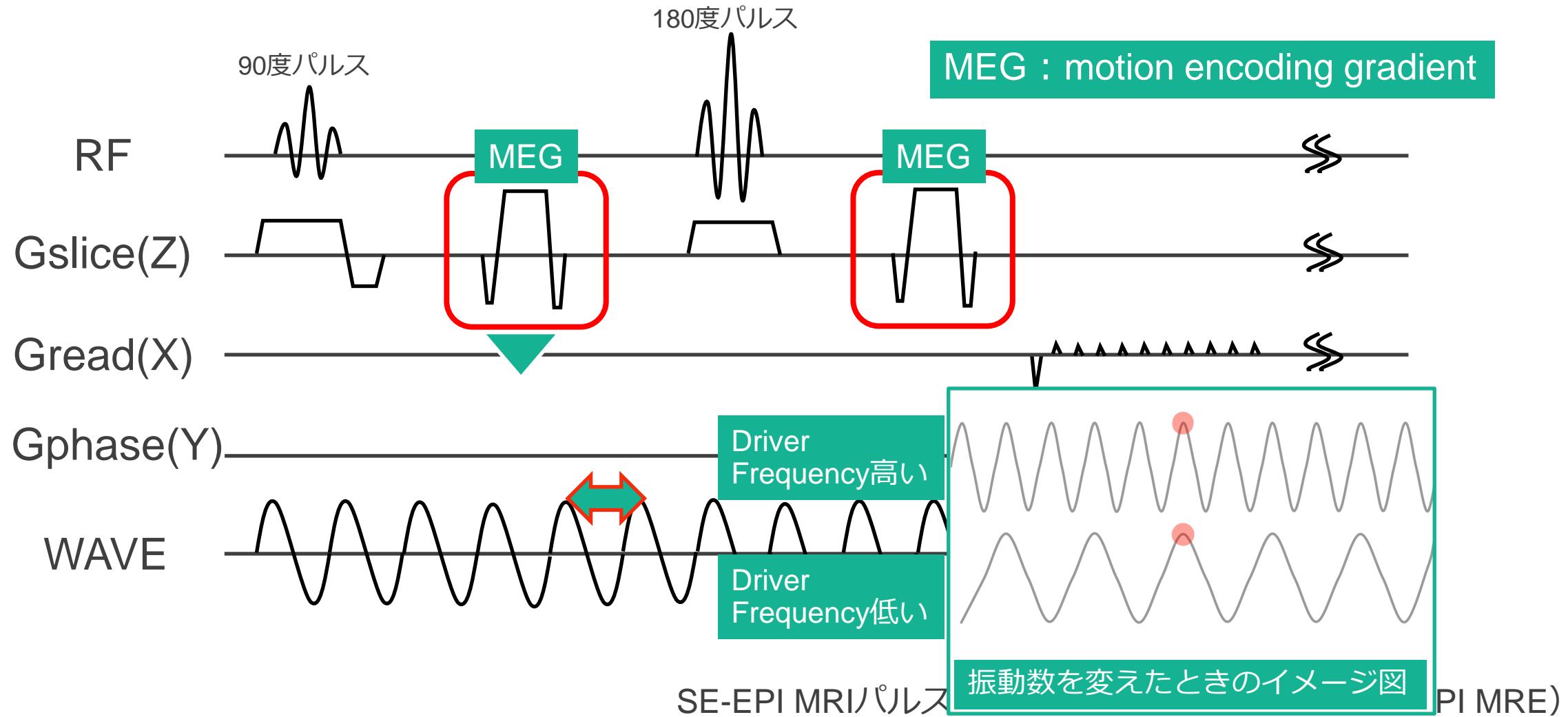
波がY軸方向に進む場所でエラー

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

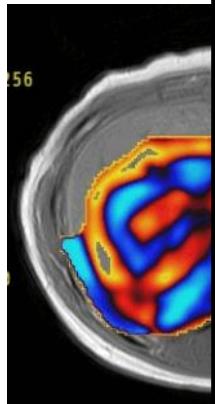
①Temporal Phases	:	MEGの位相について360度を何分割するか？	
②MEG Frequency	:	MEGの周波数の設定	MEGの設定
③MEG Direction	:	MEGの印可方向	
④Driver Frequency	:	外部振動の周波数の設定	
⑤Driver Amplitude	:	外部振動の振動強度の設定	加振装置の設定

Driver Frequency



Driver Frequencyを変更したときの画像

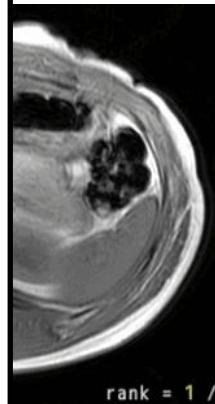
Driver Fre



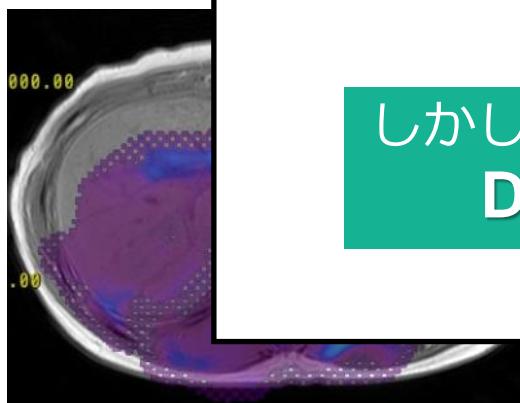
周波数の高さ：貫通力 ⇔ 空間分解（トレードオフの関係）



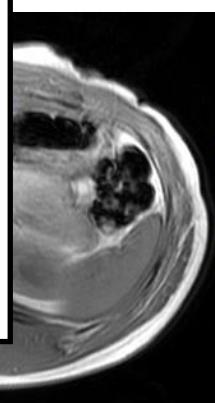
Driver Frequency : 80Hz



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？



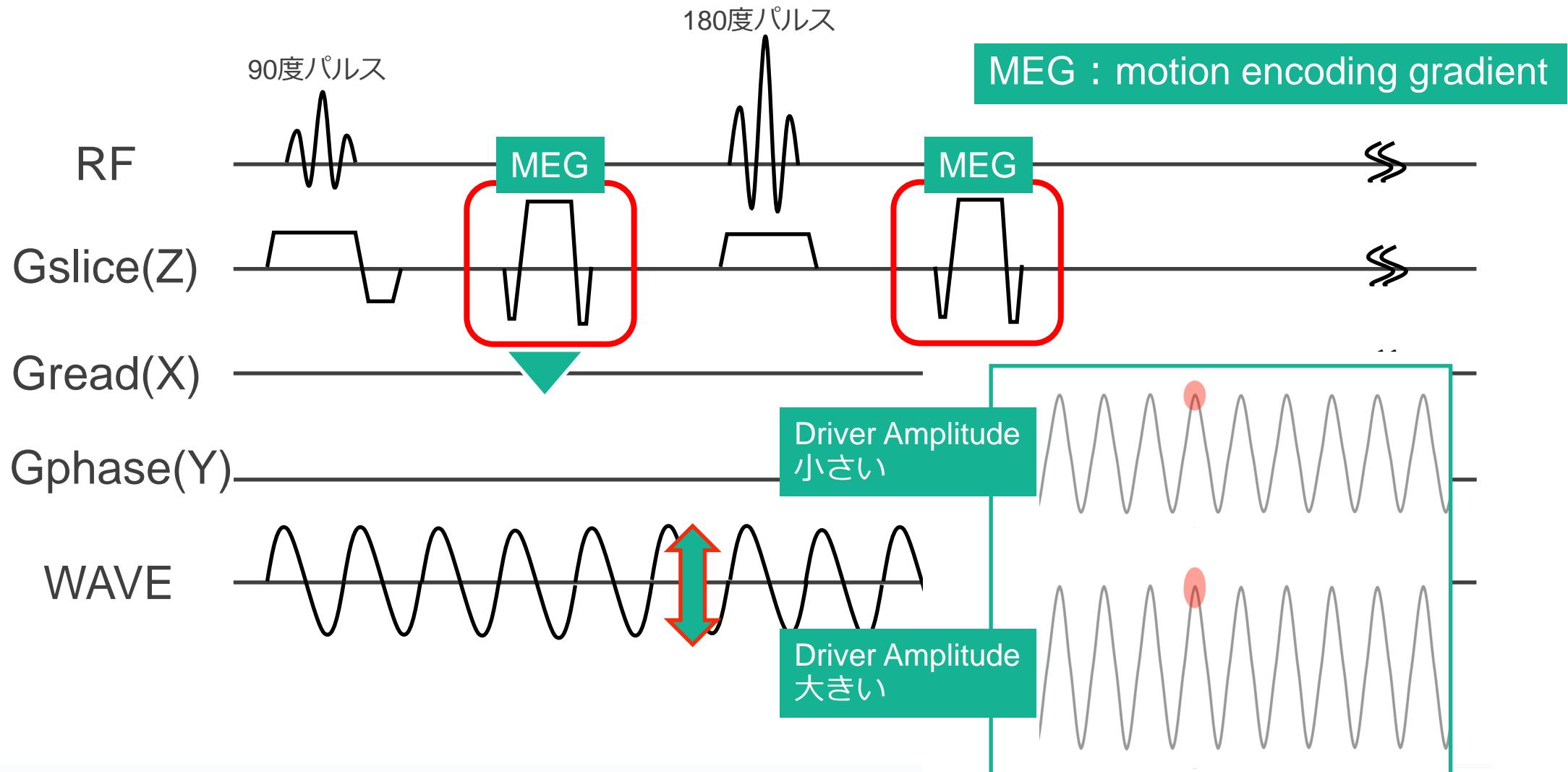
しかし、周波数を変えると粘性の影響をうけるため、
Driver Frequencyの設定：60Hz固定



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	MEG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	加振装置の設定

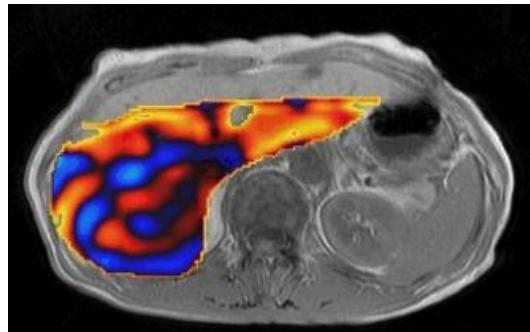
Driver Amplitude



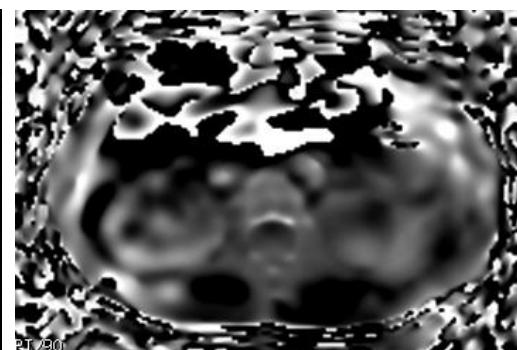
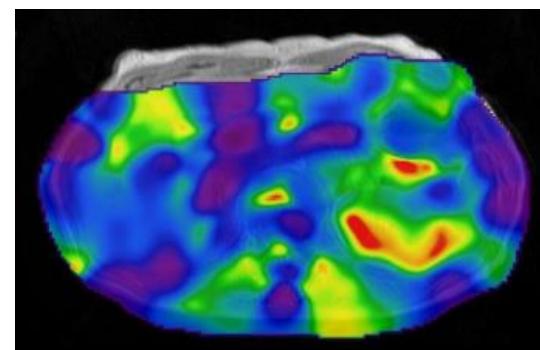
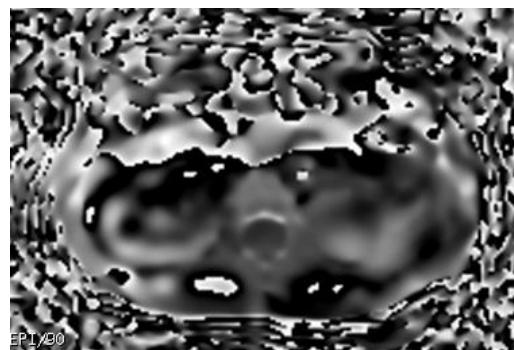
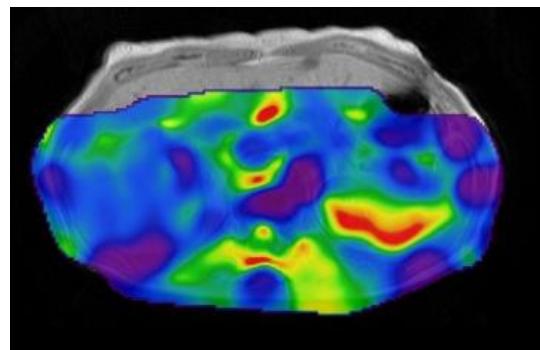
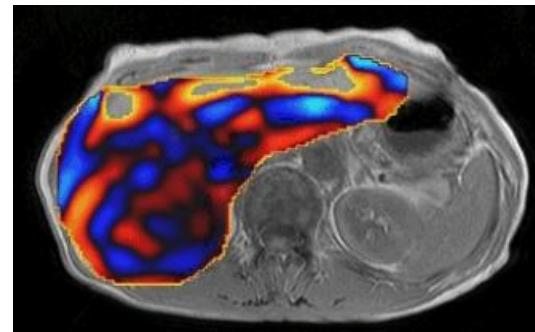
Driver Amplitude

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)

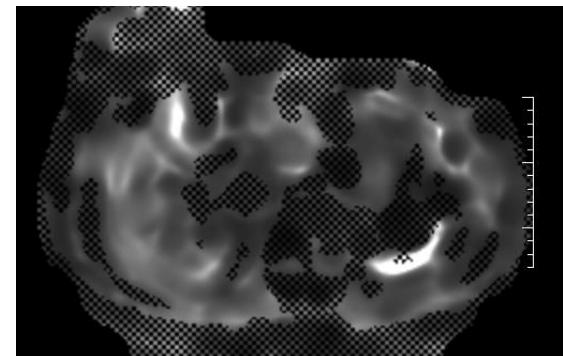
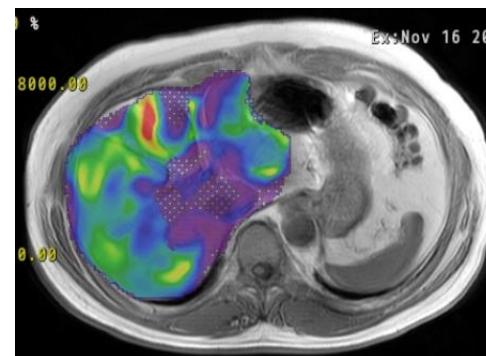
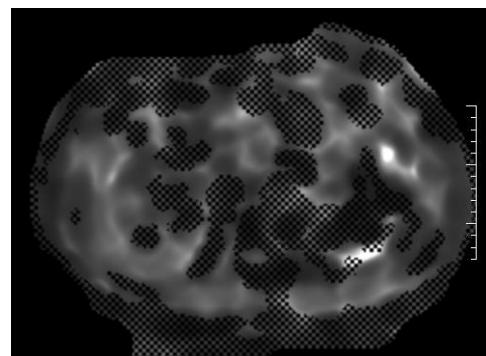
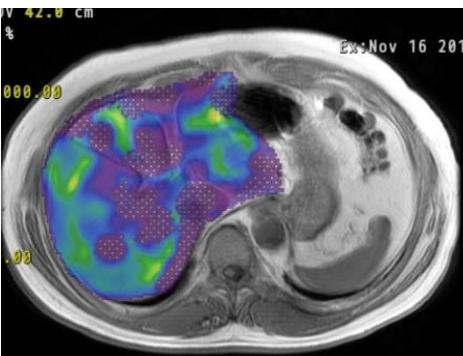
Driver Amplitude : 50%



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



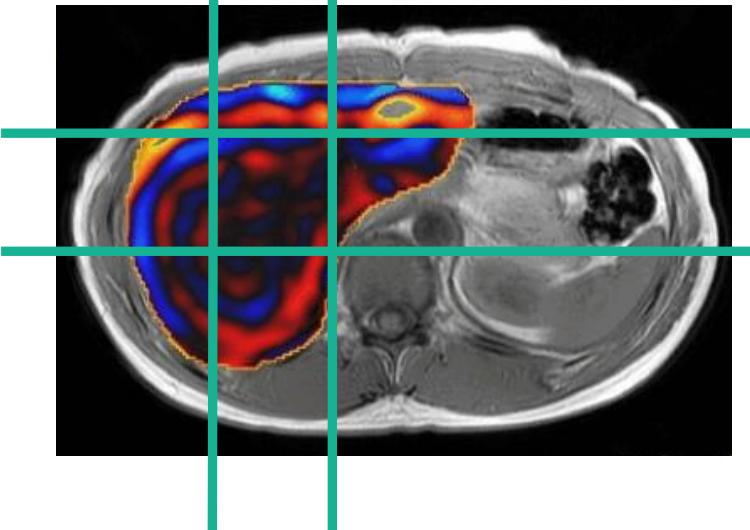
MRエラストグラフィ特有なパラメータ

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	MEG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	加振装置の設定
⑥撮像断面・・・おまけ			

撮像断面

矢状断面

- ・右より
- ・左より

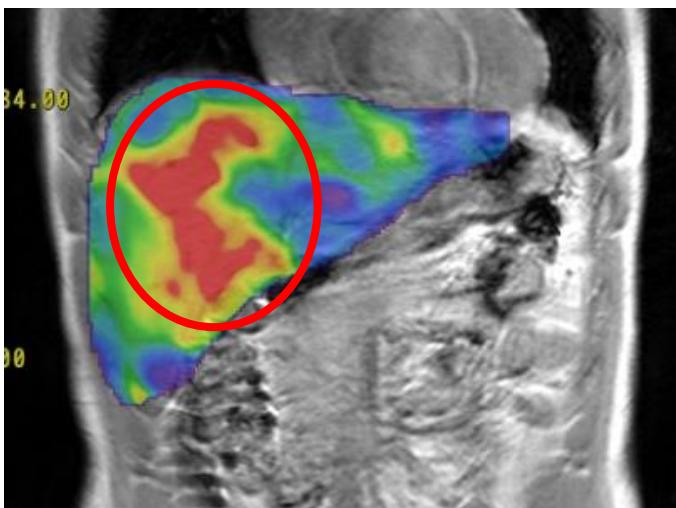
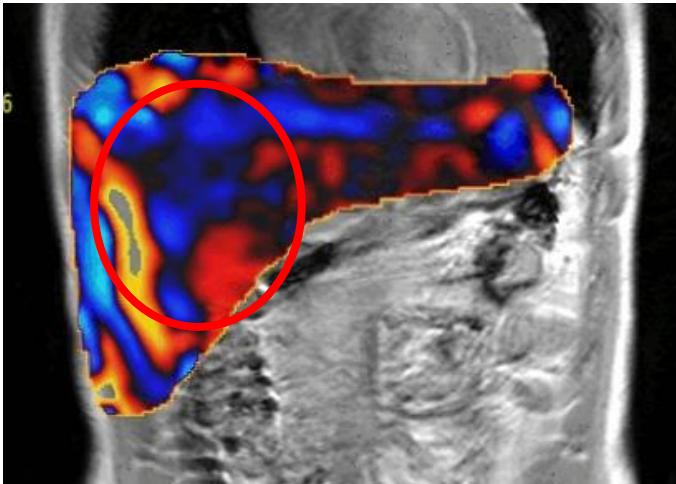


冠状断面

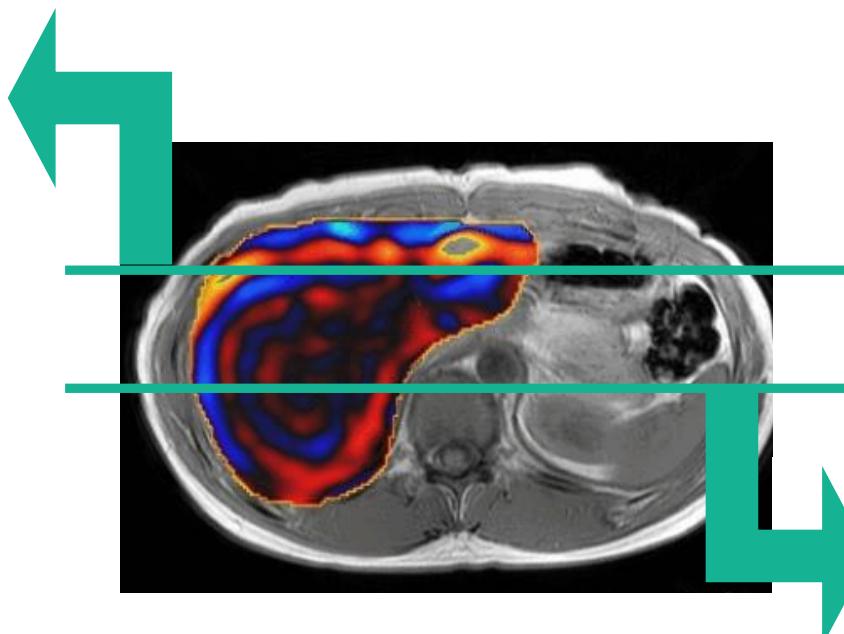
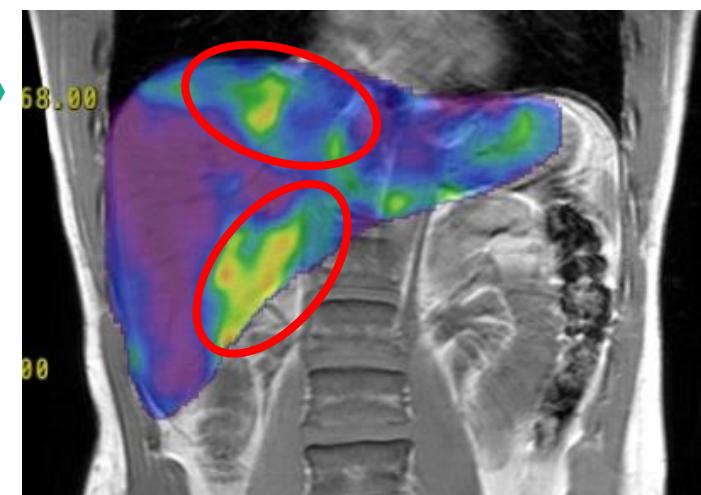
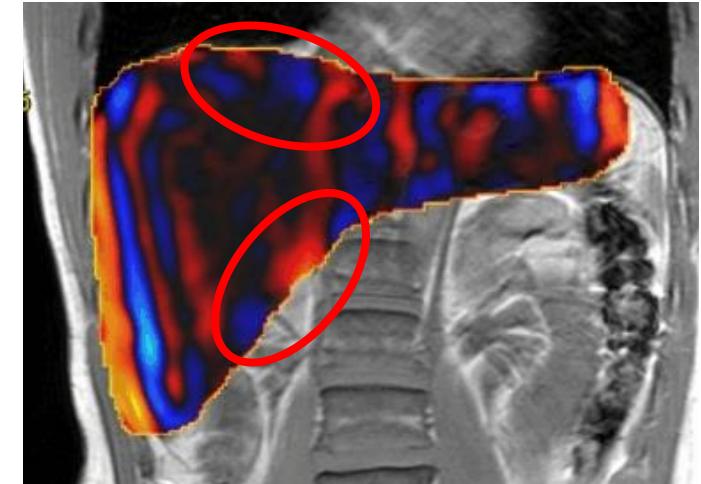
- ・前より
- ・中央より

撮像断面（冠状断）

腹側の断面

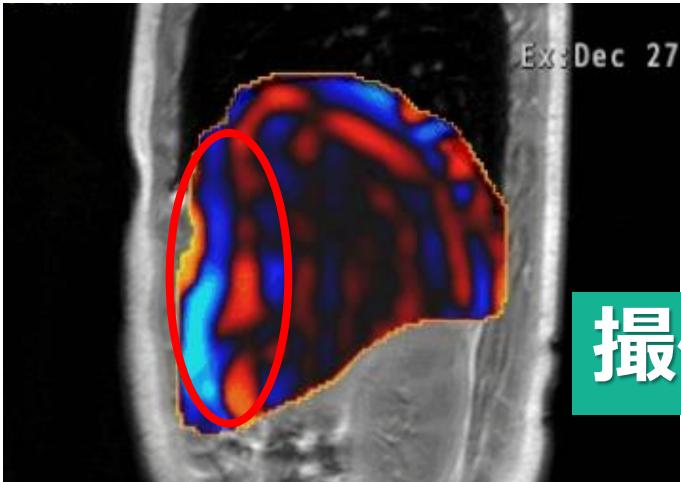


中央の断面

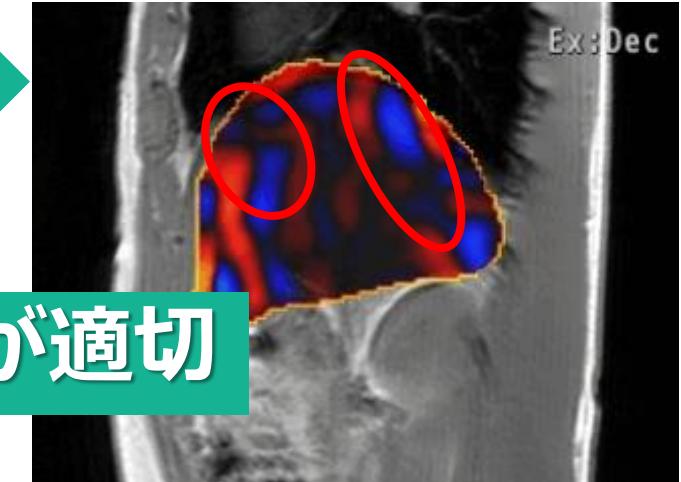


撮像断面（矢状断）

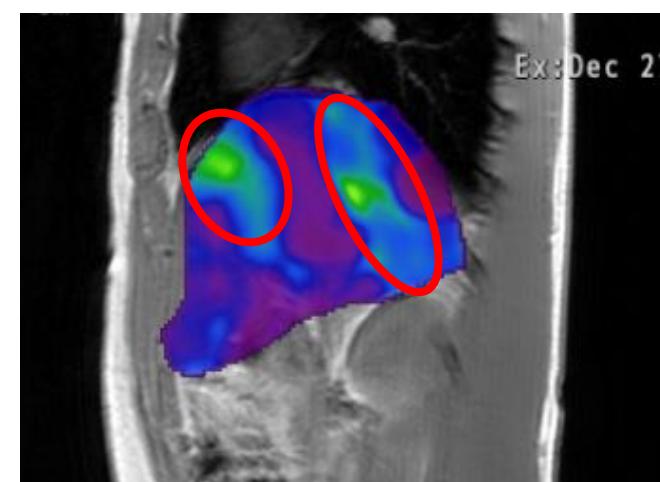
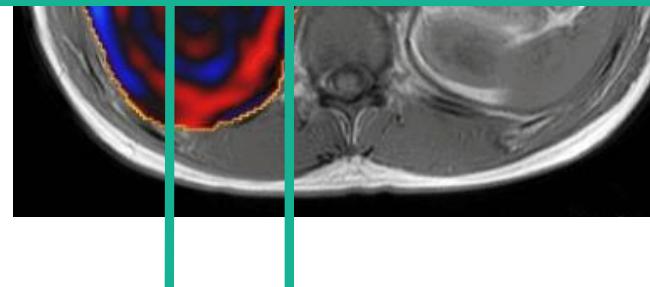
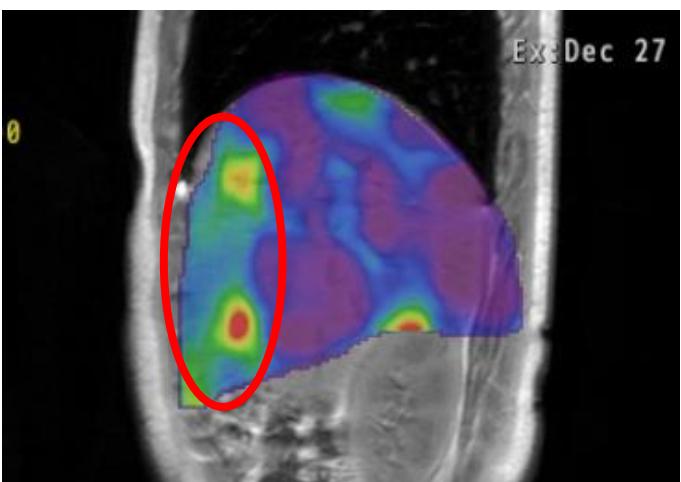
右側の断面



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、鉄沈着が同時に使える重要なツール。

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)
- 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/kanzo/59/8/59_407/_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.innervation.co.jp/suite/ge/technote/120418/index.html>

