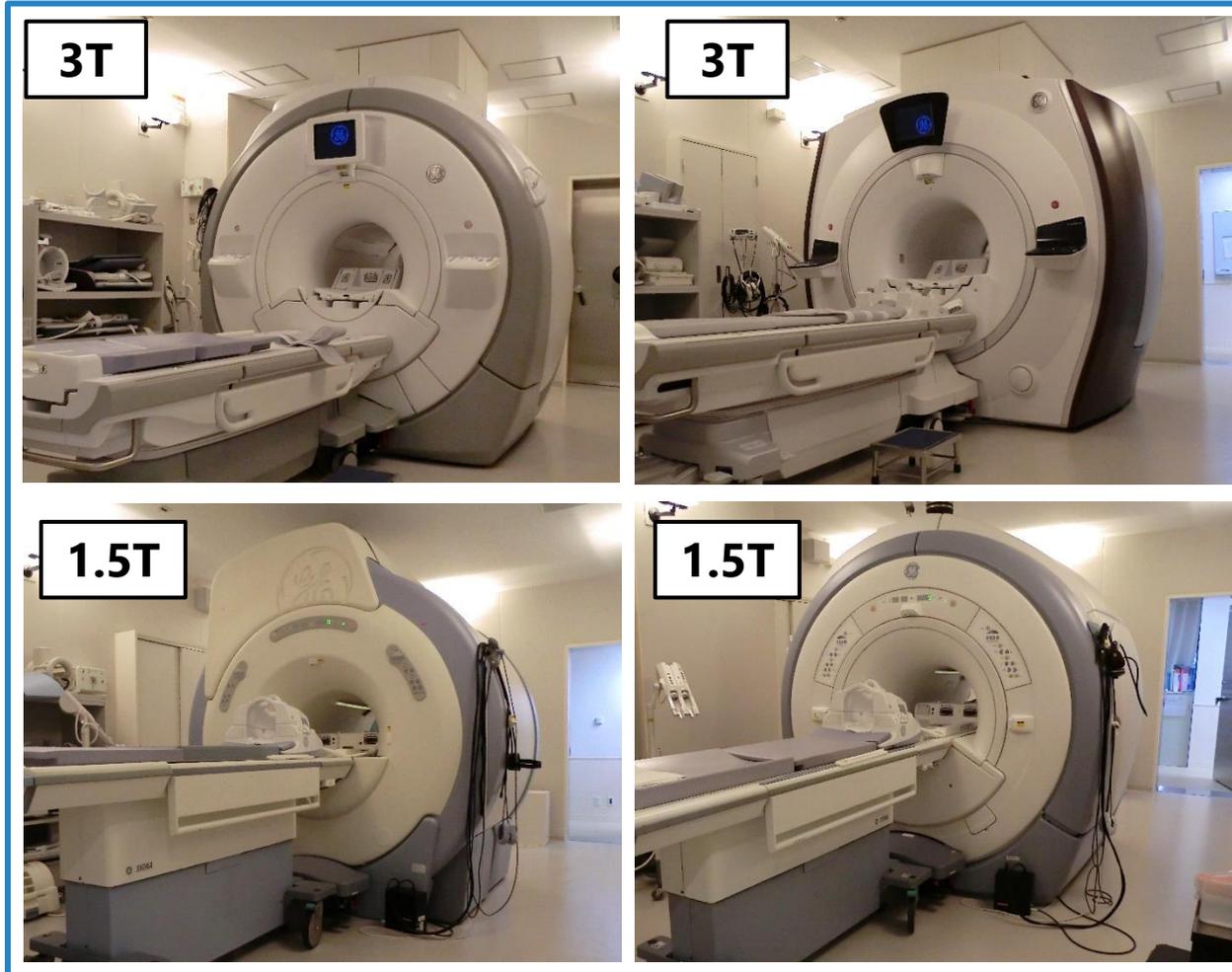


# MR conditionalデバイス症例における安全管理と撮像技術

北里大学病院 小見正太郎

# 当院のMRI装置



**GE装置 : 4台**



**Siemens装置 : 1台**

## 本日は以下の装置を使用したお話になります



**3T装置 Discovery 750w**  
**(software version : DV26)**



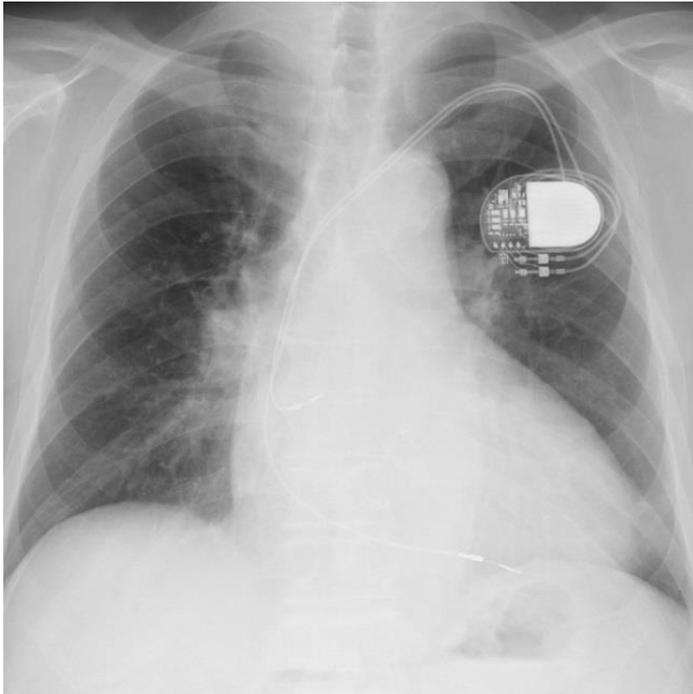
**1.5T装置 Signa HDxt**  
**(software version : HD28)**



**3T装置 Magnetom Skyra**  
**(software version : VE11)**

# 代表的なMR Conditionalデバイス（能動型）

(特に安全管理が必要なもの)



ペースメーカー  
ICD  
CRT-D (P)



DBS

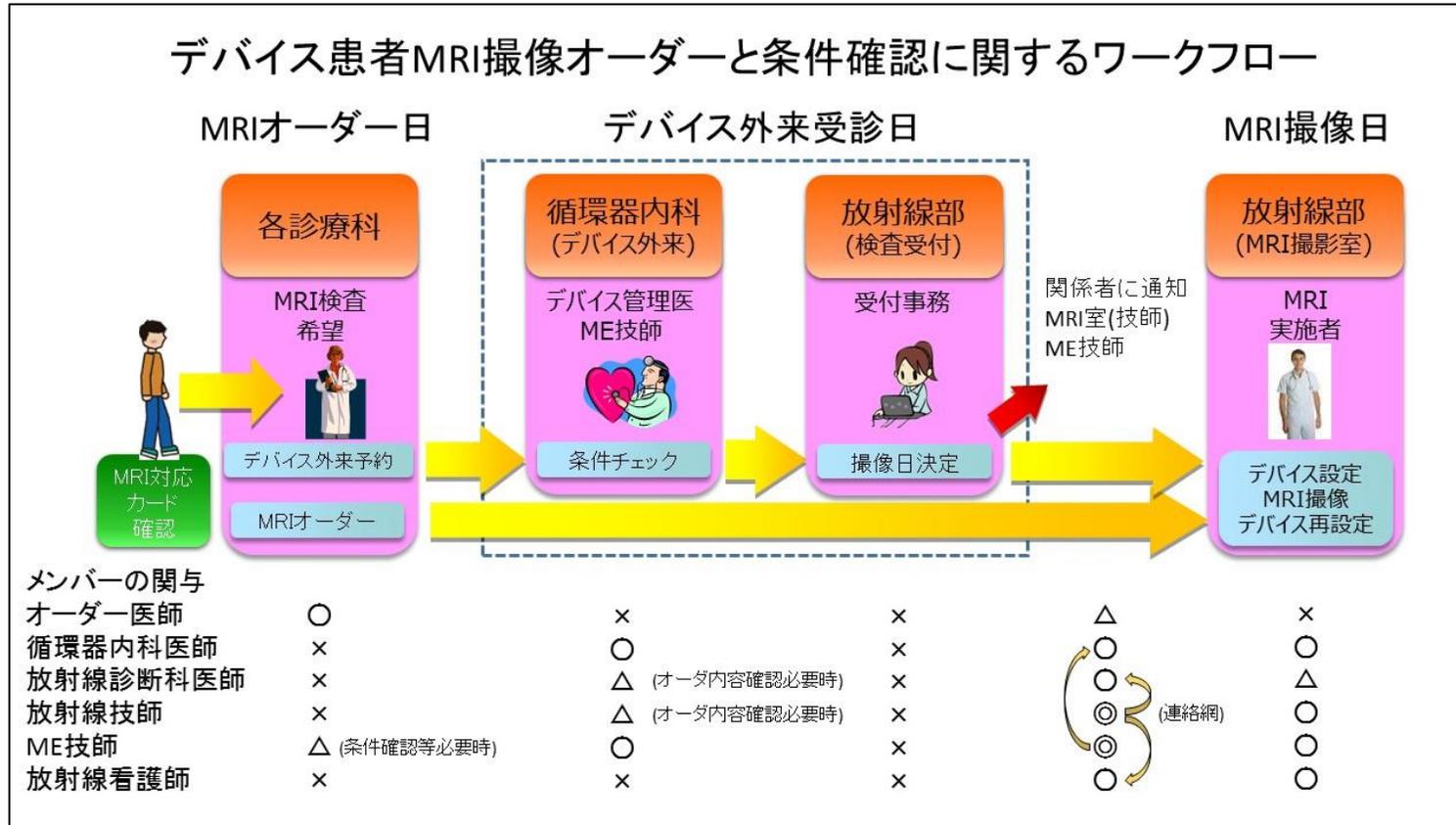


SCS

その他、人工内耳など

# 当院のMR Conditionalデバイス検査の流れ（能動型）

例) ペースメーカー



デバイス担当医、ME技師が検査に立会い安全を十分確保する。  
MR専門技術者の資格を持つ放射線技師が検査を担当する。

# 特に厳しい条件のMR Conditionalデバイス

1.5T

Medtronic

3T

付き全身MRI対応神経刺激システム  
Deep Brain Stimulation System

B1+rms: 2.0  $\mu$ T 以下  
(B1+rmsが確認できない場合、SAR:  
0.1W/kg以下)

B1+rms: 2.5  $\mu$ T 以下  
(B1+rmsが確認できない場合、SAR:  
1.0W/kg以下)



DBS装置

## MRIのリスク

### 条件付き全身MRI対応DBSシステム

#### 検証試験

#### MRI撮像条件

#### MR検査を行うための条件

#### MRI撮像条件

#### B1+rmsとは

#### MRI適合性

#### MRI検査フロー

#### MRI適合性ワークシート患者手帳 への記入方法

患者さんとそのご家族へ

トレーニング



日本メドトロニックウェブサイト

## 条件付き全身MRI対応DBSシステム(全身MRI適合)の撮像条件\*

#	条件	値	値
1	静磁場強度/MRIタイプ	1.5Tトンネル型	3.0Tトンネル型**
2	最大空間傾斜	19T/m	20T/m
3	MRI製造元	制限なし	制限なし
4	高周波(RF)周波数	64 MHz	128 MHz
5	RFコイル	送受信型頭部用クワドラチャRFコイル 送受信型全身用クワドラチャRFコイル 全ての受信用コイル	送受信型頭部用クワドラチャRFコイル 送受信型全身用クワドラチャRFコイル 全ての受信用コイル
6	高周波(RF)強度**	B1+rms: 2.0 $\mu$ T 以下 (B1+rmsが確認できない場合、SAR: 0.1W/kg以下)	B1+rms: 2.5 $\mu$ T 以下 (B1+rmsが確認できない場合、SAR: 1.0W/kg以下)
7	傾斜磁場強度	スルーレート: 200T/m/s以下	スルーレート: 200T/m/s以下
8	スキャンの実施時間	連続した90分の間に適宜で30分を超えないこと	連続した90分の間に適宜で30分を超えないこと
9	ランドマーク	制限なし	制限なし
10	システムプログラミング	バイポーラの場合: 刺激オンまたはオフ モノポーラの場合: 刺激オフ	バイポーラの場合: 刺激オンまたはオフ モノポーラの場合: 刺激オフ
11	体温	38°C以下	38°C以下
12	体重	制限なし	制限なし
13	患者の体位	膝臥位又は仰臥位	膝臥位又は仰臥位
14	鎮静	可能であれば避けられない	可能であれば避けられない
15	モード	通常操作モード	第一次水準管理操作モード

- \* 詳細は、「メドトロニック社製脳深部刺激システムのMRIガイドライン」および添付文書を確認してください。
- \*\* 3.0Tでの条件付き全身MRI対応システムはPercept PCのみです。(メドトロニックPercept PC ;30200BZX00163000)
- 頭部のみ適合のDBSシステムで頭部MRI検査を行う場合、頭部SARが0.1W/kg以下である必要があります。

Medtronic社ホーム  
ページから引用

# MR Conditionalデバイス検査のポイント

## □ 以下の項目への理解

- 操作モード
- SAR・ $B_1+rms$ 管理に関する画面上の表示
- SAR・ $B_1+rms$ の制御
- 撮像条件と画質とSAR・ $B_1+rms$ の関係

## □ 可能な範囲で制限のない場合と同等の検査を目指す

- 安易に検査内容を省略しない。（撮像が困難な場合は放射線診断医等に相談する）
- 撮像条件の変更内容は記録し、放射線診断医に報告する。  
（できれば制限に応じた専用プロトコールを作成したい）

# MR Conditionalデバイス検査のポイント

## □ 以下の項目への理解

- 操作モード
- SAR・ $B_1+rms$ 管理に関する画面上の表示
- SAR・ $B_1+rms$ の制御
- 撮像条件と画質とSAR・ $B_1+rms$ の関係

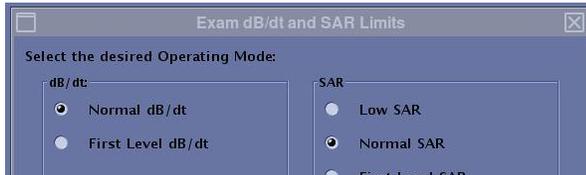
## □ 可能な範囲で制限のない場合と同等の検査を目指す

- 安易に検査内容を省略しない。（撮像が困難な場合は放射線診断医等に相談する）
- 撮像条件の変更内容は記録し、放射線診断医に報告する。  
（できれば制限に応じた専用プロトコールを作成したい）

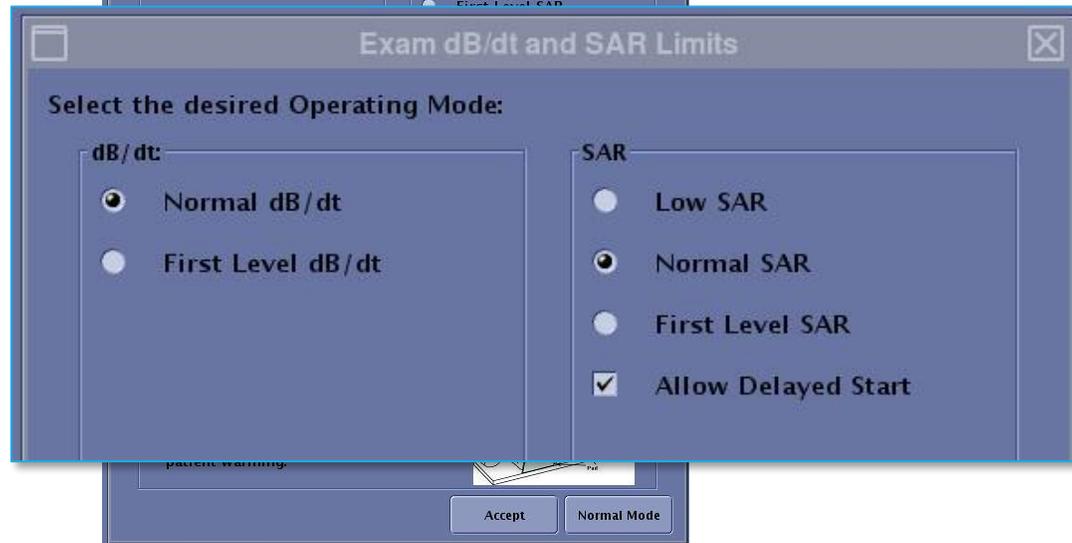
# 検査開始時の操作モードの選択

## ■ GE

デフォルトはFirst level mode

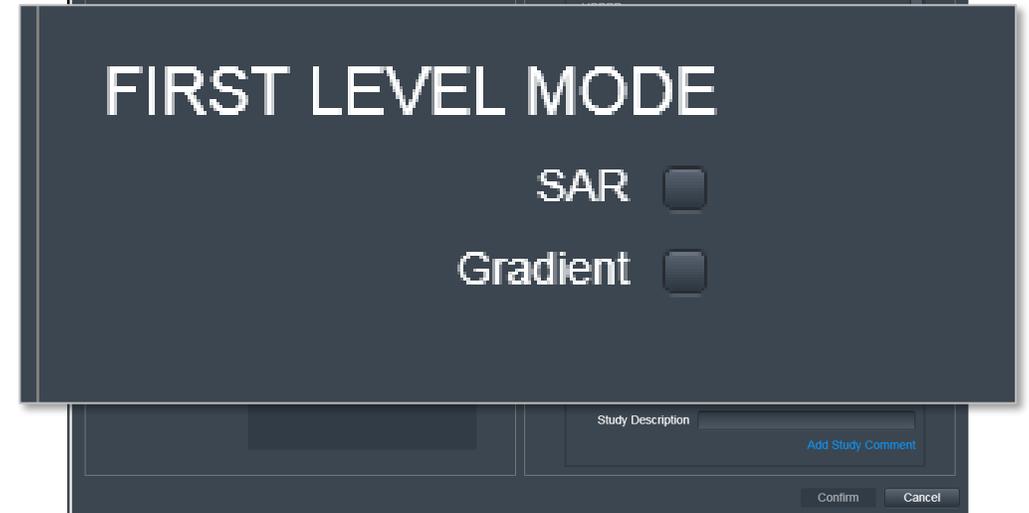


SARとdB/dtを  
個別に選択



## ■ Siemens

デフォルトはNormal mode

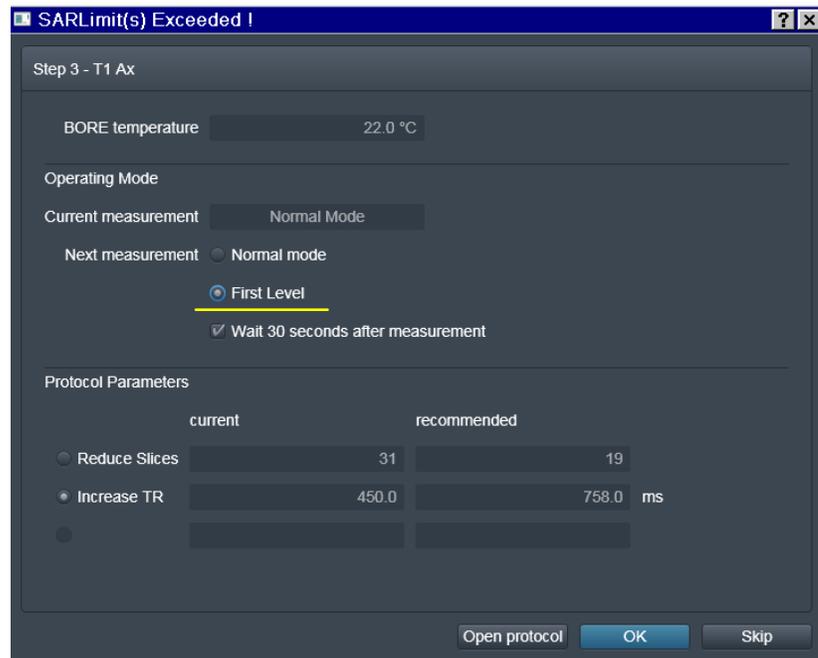


- ▶ GEは、Normal modeで開始すれば、検査中にFirst level modeに切り替わることはない。

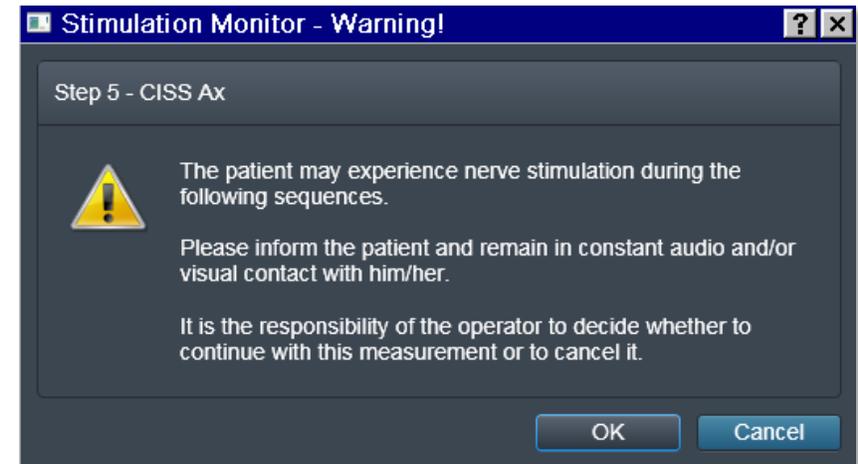
# @Siemens

検査中、SARまたはdB/dtがNormal modeの範囲を超える場合は**ポップアップ**により**警告**

## ▶ SAR



## ▶ dB/dt



First level modeへの移行が明記されていないので注意

途中で**First level mode**に切り替わる可能性があるため注意が必要

MR Conditionalデバイス症例では重要な機能

他社: ScanWise Implant@Philips

## Low SAR mode@GE

### 添付文書の例

- ノーマルモード (頭部 SAR:3.2W/kg 以下、全身 SAR:2.0W/kg 以下)、傾斜磁場強度 200T/m/s 以下の設定以外は使用しないこと [第一次水準管理操作モード、第二次水準管理操作モード及び 200T/m/s を超える傾斜磁場強度を想定したシミュレーションによる検証が行われておらず、過剰な発熱による組織損傷又は不快な刺激が発生するリスクが高まる。]。
- スキャンの実施時間は連続した 90 分の間に通算で 30 分を超えないこと [制限時間を超えると、過剰な発熱による組織損傷のリスクが高まる。]。

Low SAR		
B <sub>1+</sub> Peak (μT)	30	(15-30)
B <sub>1+</sub> RMS (μT)	3.2	(1.0-3.2)
WB-SAR (W/kg)	2.0	(0.5-2.0)
Head-SAR (W/kg)	3.2	(0.5-3.2)
Maximum Series time (minutes)	30	(15-30)

### デバイスのSARに関する制限値を直接入力

これにより、制限値をこえる撮像条件は設定できなくなる。  
撮像中にSARが制限値をこえる場合は撮像が停止する。

# SARおよび $B_1+rms$ 管理に関する画面表示

## ■ GE

The screenshot shows the GE MRI console interface. On the left, a task list includes 'InRx loc' at 00:09. The main area displays parameters for the 'loc' task, such as 'Scan Plane: 3-Plane', 'Freq. FOV: 30.0', and 'Phase FOV: 1.00'. At the bottom, a status bar displays 'WB-SAR: 0.17 Head-SAR: 0.78  $B_1+rms$ : 1.29 $\mu$ T Mode: First dB/dt First'.

コンソール画面

### 短期SAR

任意の10秒間にわたるSAR上限値が、既定値の2倍を超えてはならない。

6分間の平均SAR  
(既定値)

実測値

The SAR Display window shows the following data:

Category	10 Sec	6 Min	Room °C
Avg W/kg	0.0	0.0	19.3
Limit W/kg	6.0	10.0	-
Act W/kg	0.0	0.0	19.3

SAR Display

予測値

WB-SAR: 0.17 Head-SAR: 0.78  $B_1+rms$ : 1.29 $\mu$ T

◀ SAR,  $B_1+rms$

# SARおよびB<sub>1</sub>+rms管理に関する画面表示

## ■ Siemens

コンソール画面

SAR Monitor Operating Mode

Current measurement

Next measurement

**Prediction**

チューニング終了時点での**予測値**

Whole Body	11 %
Exposed Body	25 %
Head	47 %
Head Local	47 %
Torso Local	11 %
Legs Local	11 %
B1+ rms	22 %

Calculation time: 20:19:20

Head 0.0 1.5 3.2 W/kg

2022-02-07 8:03:43 PM

Current measurement First Level

Next measurement  Normal mode  First Level

Prediction Status Patient Protocol **Current**

Displayed values belong to the current patient!

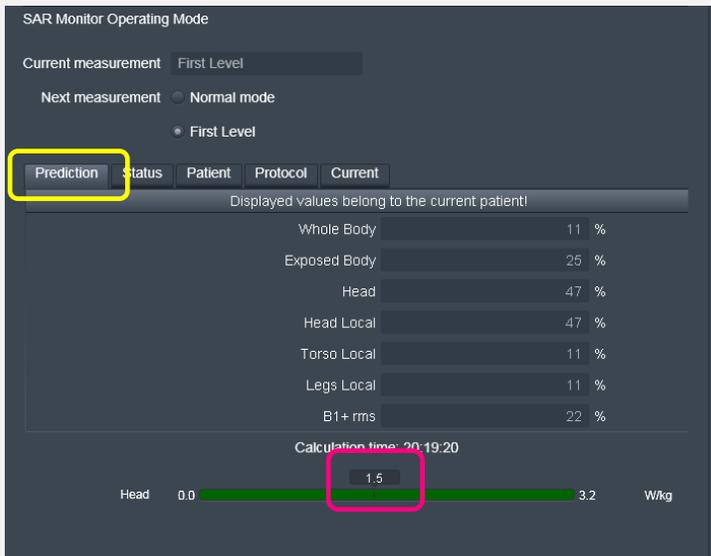
Whole Body	7 %
Exposed Body	15 %
Head	28 %
Head Local	28 %
Torso Local	7 %
Legs Local	7 %
B1+ rms	22 %

Time of the last update: 20:23:22

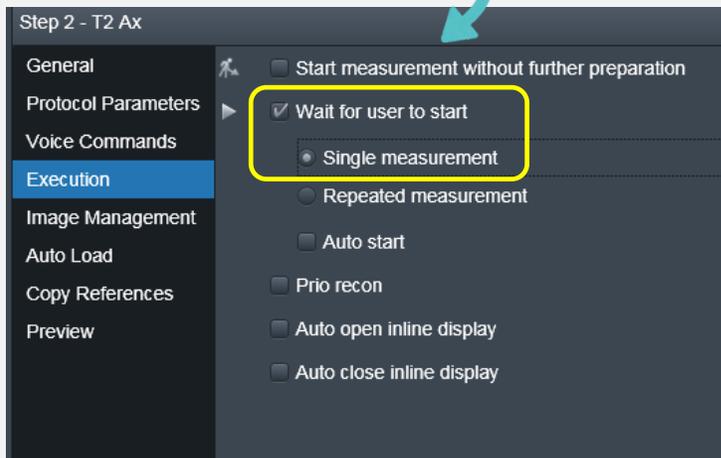
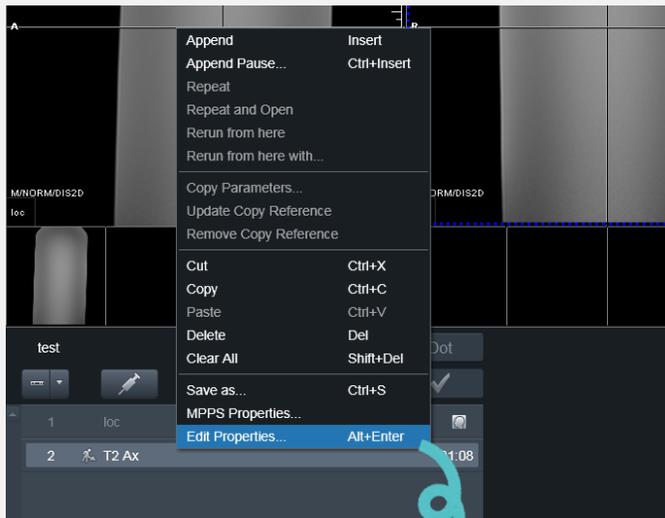
Head 0.0 0.9 3.2 W/kg

▶ SAR Monitor画面を開いて確認する必要あり

## Prediction (予測値)

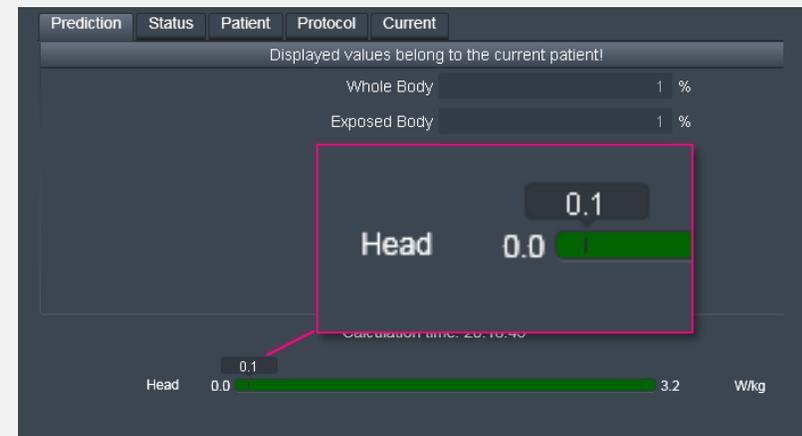


- 撮像条件の変更しても**リアルタイムに更新されない**ことに注意。
- 撮像条件調整の都度**、Pre scanして確認が必要。

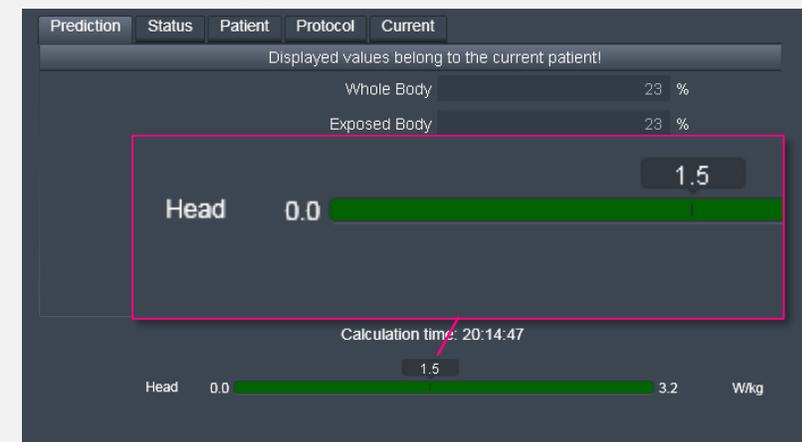


**Pre scan後に一時停止する**ように、シリーズを設定しておく必要がある。

## Pre scan前



## Pre scan後



**Pre scan後**でなければ、そのシリーズの正確な値は表示されない。

## SAR (W/kg) 単位組織量当たりの吸収電力

$$\text{SAR} = f(\text{システム, 人, 部位}) \times (B_1 + rms)^2$$

どのくらいRFが吸収されるかの指標

### < SARによる管理の問題点 >

- ▶ 係数fはメーカー、システムにより異なったり、Safety marginを取っていたりする。
- ▶ 送電線やコイルによる電力損失や、体表での電磁波の散乱を考慮しておらず、吸収電力を過大評価する。

撮像条件の制限が厳しくなり、**画質**や**検査内容**に影響を与える可能性あり。

- ▶ 同一条件でも、被検者によってSARが異なる。

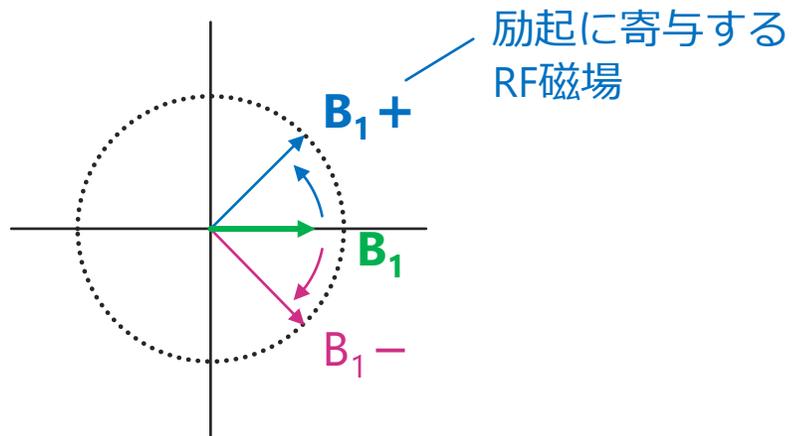
デバイスの制限値に応じた**プロトコール化が困難**。

どのくらいRFを照射するかの指標

$B_{1+rms}$  ( $\mu T$ )

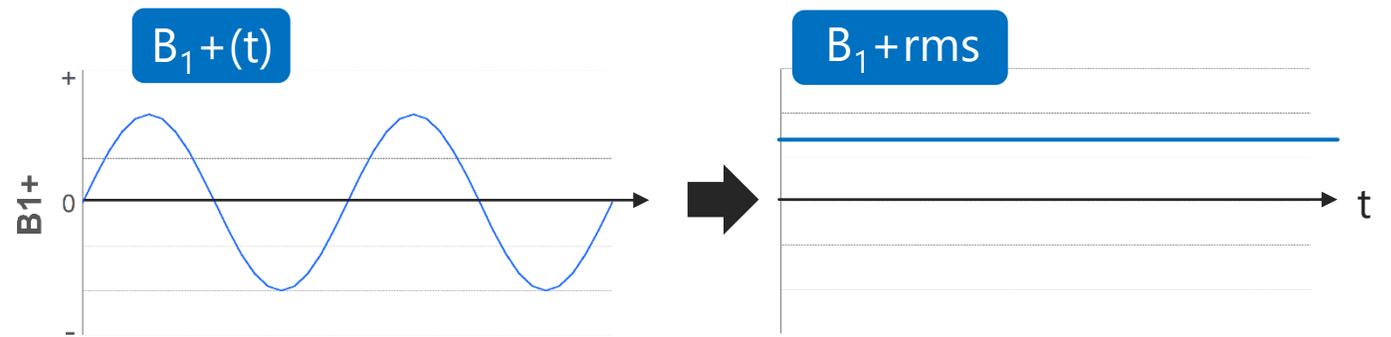
RF送信コイルによって生成される平均有効RF磁場

Quadrature励起



$$B_{1+RMS} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_x} (B_{1+}(t))^2}{t_x}}$$

$B_{1+rms}$ は、 $B_{1+}(t)$ の二乗平均の平方根  
Root Mean Square



$B_{1+rms}$ は、時間変化する $B_{1+}(t)$ を時間変化しない定数に換算するとどのくらいの $B_{1+}$ に相当するか計算したものの。

## B<sub>1</sub>+rmsの特徴

- パルスシーケンスと撮像パラメータによって決定される既知の量である  
i.e. TR, number & type of RF pulses, flip angle etc
- 患者の体型（体重、身長）に依存しない



デバイスの制限値に応じた**プロトコール**を作成しやすい

- ▶ 事前に撮像条件を最適化しやすい
- ▶ 検査担当者に依存しない画質の担保が可能

# SAR vs. $B_1+rms$

- : 条件変更なしで撮像可
- △ : 条件変更すれば撮像可
- × : 現実的な条件での撮像不可

## 例) DBSを想定した頭部MRI検査

Sequence		1.5T上限値		3T上限値	
		SAR: 0.1W/kg	$B_1+rms$ : 2 $\mu$ T	SAR: 1.0W/kg	$B_1+rms$ : 2.5 $\mu$ T
T1 Sag	FSE	×	△	△	○
DWI Ax	SE-EPI	○	○	○	○
T2 Ax	FSE	△	△	△	○
T1 Ax	SE	×	△	△	△
FLAIR Ax	FSE	△	△	△	○
T2 star Ax	GRE	○	○	○	○
MRA TOF	SPGR	△	△	△	○

$B_1+rms$ で管理できるかどうかは非常に重要

# MR conditionalデバイス症例の検査で**必要なこと**

MR conditionalデバイス なし



MR conditionalデバイス **あり**



より**巧みな**撮像条件の調整が必要

## 重要なことは・・・

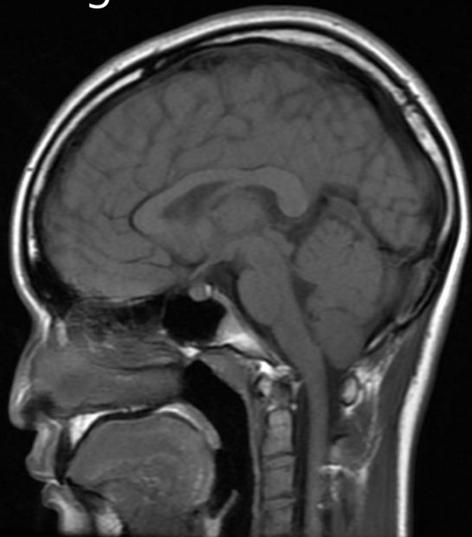
1. SARが高いsequenceを把握する
2. 撮像パラメータとSARの関係への理解
3. 撮像パラメータと画質の関係への理解

# 頭部MRI

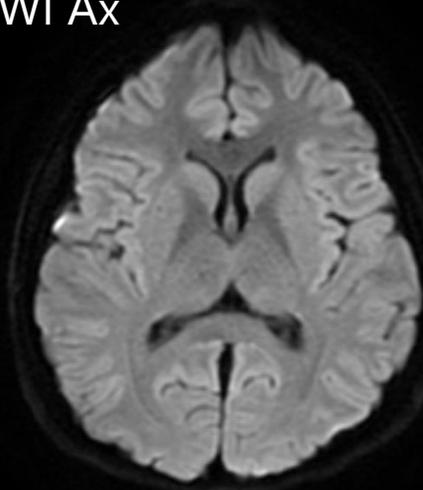
## □ 当院のプロトコール

2Dはslice厚5mm, 0 gap で  
28 slice程度が標準

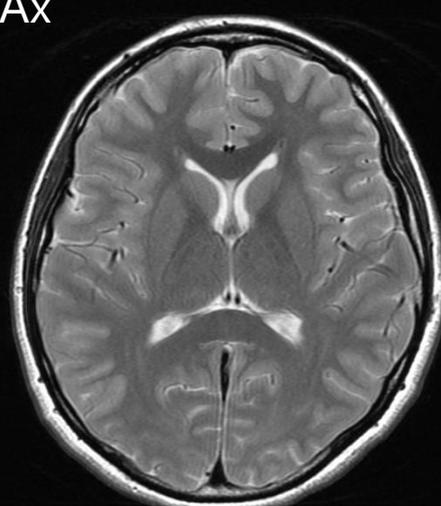
T1 Sag



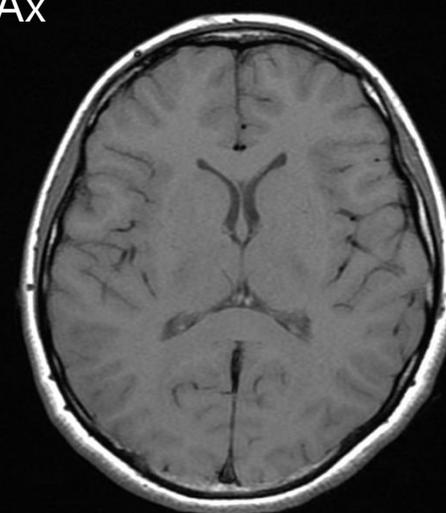
DWI Ax



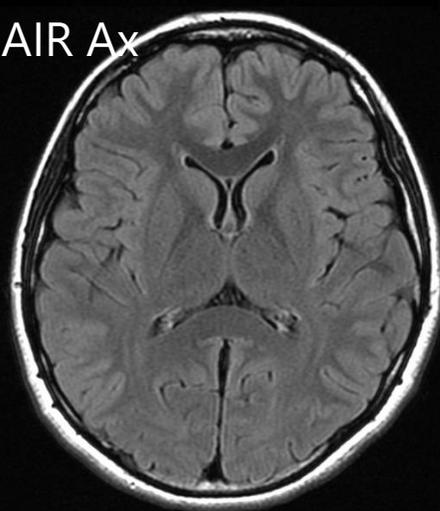
T2 Ax



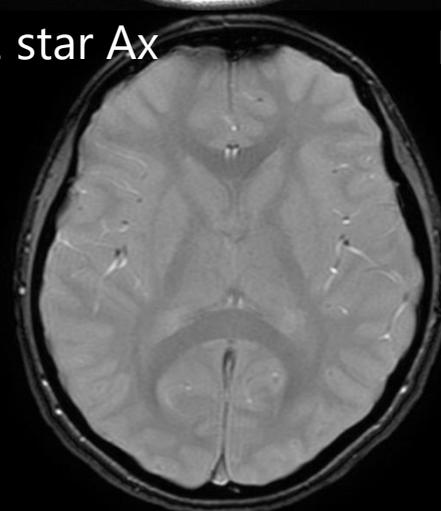
T1 Ax



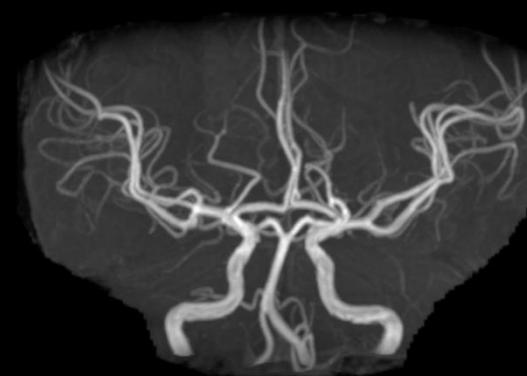
FLAIR Ax



T2 star Ax



MRA TOF



# DBSを想定した頭部MRI検査

## ▶ SARが高いSequenceはどれか？

### なぜSARや $B_1+rms$ が高いのか？

- RF pulseのFlip Angle (FA) が大きい
- RF pulseの間隔が短い

Sequence

1.5T

3T

当院プロトコール

SAR: 0.1W/kg

$B_1+rms$ : 2 $\mu$ T

SAR: 1.0W/kg

$B_1+rms$ : 2.5 $\mu$ T

Sequence		1.5T	3T
T1 Sag	FSE	1.37	2.83
DWI Ax	SE-EPI	0.08	0.51
T2 Ax	FSE	1.09	1.87
T1 Ax	SE	1.23	4.31
FLAIR Ax	FSE	0.35	1.87
T2 star Ax	GRE	0.02	0.21
MRA TOF	SPGR	1.19	1.89

# SARを低減するための基本的な考え方

## 1. RF pulseのFAを低くする

対象：励起pulse, Refocus pulse

特徴：FAの2乗  $\propto$  SAR

対応：撮影者によるFAの決定, Imaging optionなどを使用した装置によるFA制御

## 2. RF pulse typeの変更

対象：主に励起pulse

特徴：パルス幅  $\propto$  SAR、パルス振幅の2乗  $\propto$  SAR

対応：パルス幅を延長し、パルス振幅を下げる（FAは保持すると仮定）

## 2. RF pulseを照射する間隔を延ばす

対象：**duty cycle**（TRに対するRF照射時間の割合）

特徴：duty cycle  $\propto$  SAR

対応：TR延長、Echo train length (ETL)減少、Acquisition分割

# SARを低減するための基本的な考え方

## 1. RF pulseのFAを低くする

対象：励起pulse, Refocus pulse

特徴：FAの2乗  $\propto$  SAR

対応：撮影者によるFAの決定, Imaging optionなどを使用した装置によるFA制御

## 2. RF pulse typeの変更

対象：主に励起pulse

特徴：パルス幅  $\propto$  SAR、パルス振幅の2乗  $\propto$  SAR

対応：パルス幅を延長し、パルス振幅を下げる（FAは保持すると仮定）

## 2. RF pulseを照射する間隔を延ばす

対象：**duty cycle**（TRに対するRF照射時間の割合）

特徴：duty cycle  $\propto$  SAR

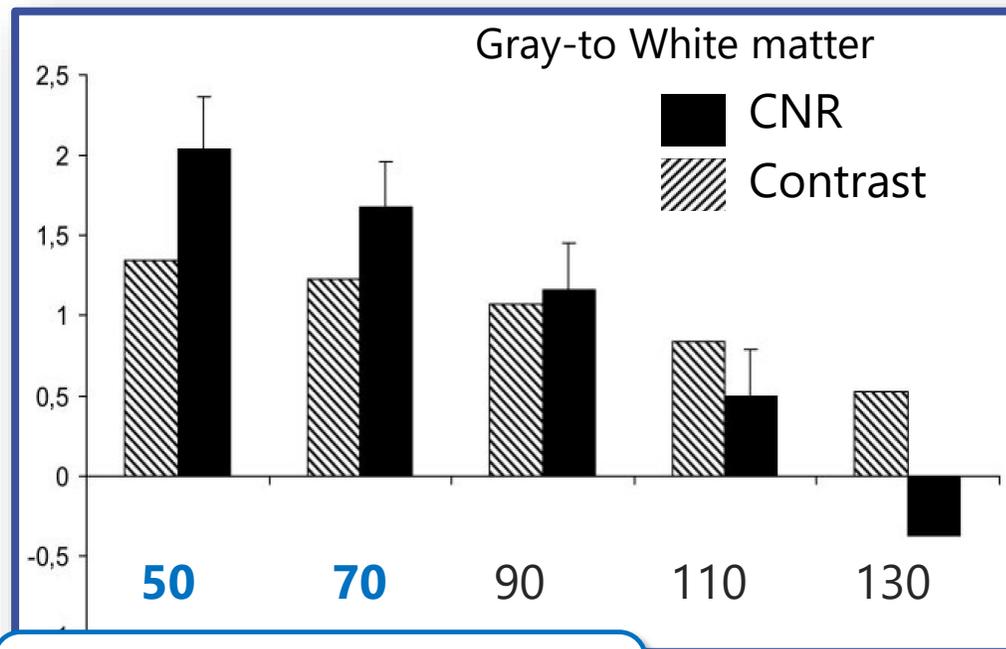
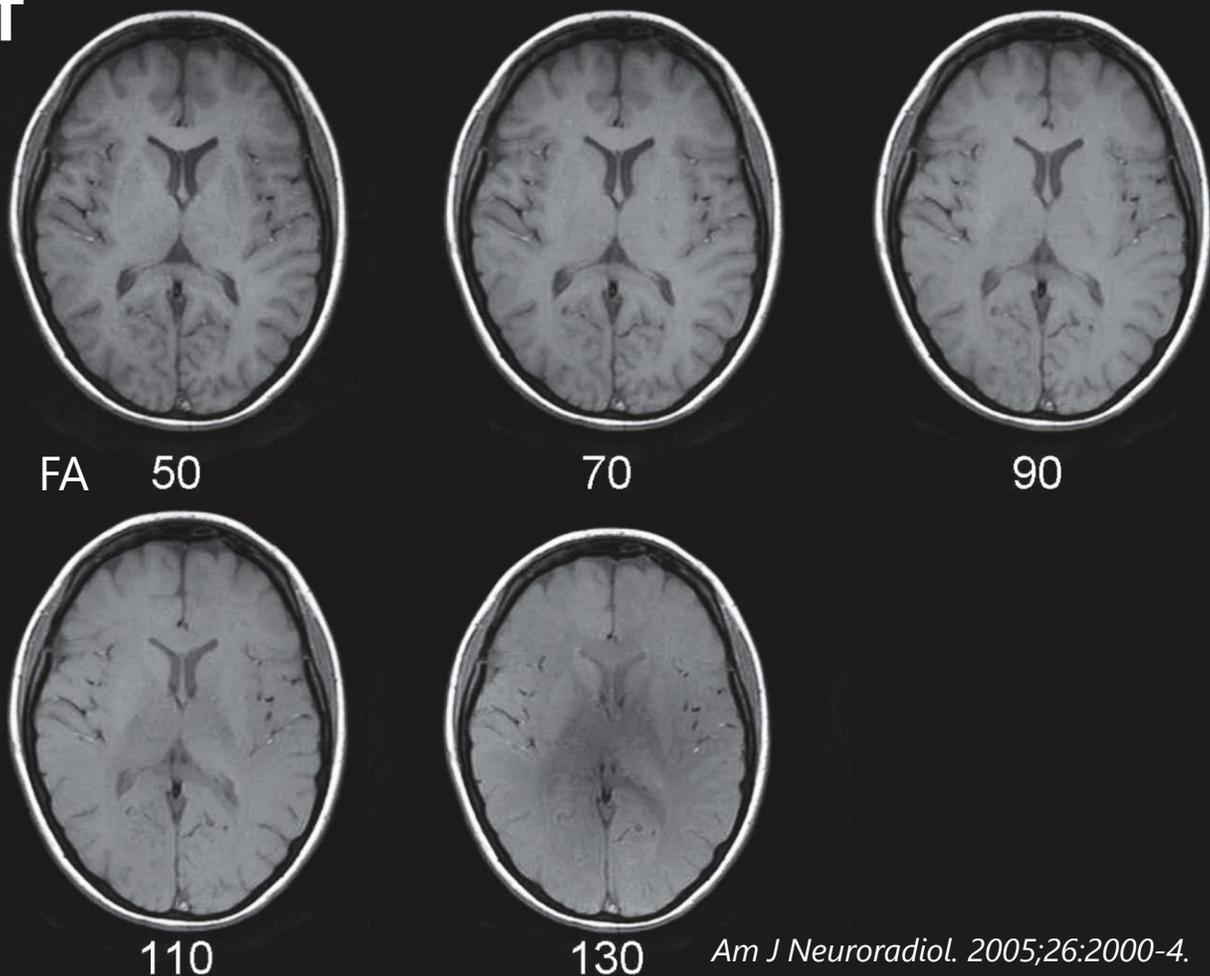
対応：TR延長、Echo train length (ETL)減少、Acquisition分割

# 励起pulseのFA調整

➤ T1WI (SE法) のコントラスト

3T は、Cross talkやMT効果の影響が強く、1.5TよりもT1コントラストが悪いことが知られている。

3T



低いFAでコントラスト改善



SARも低減できる

# 1.5Tでも...

— 励起pulseのFA調整 —

➤ T1WI (SE法) のSARと画質

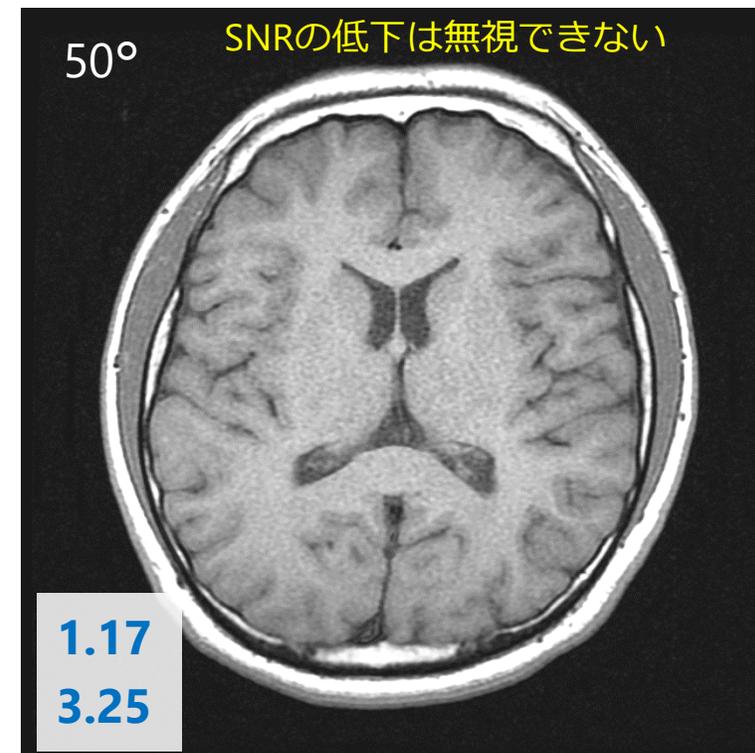
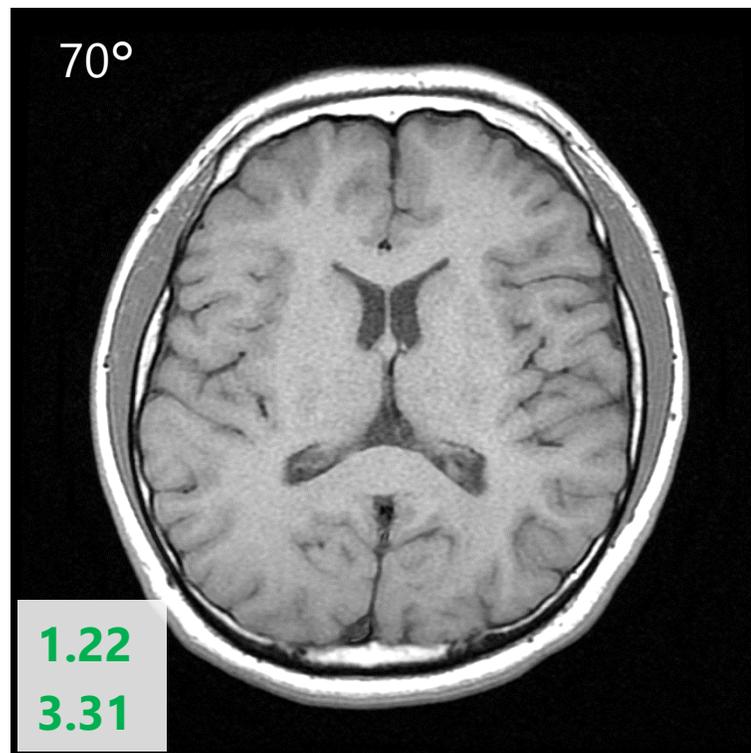
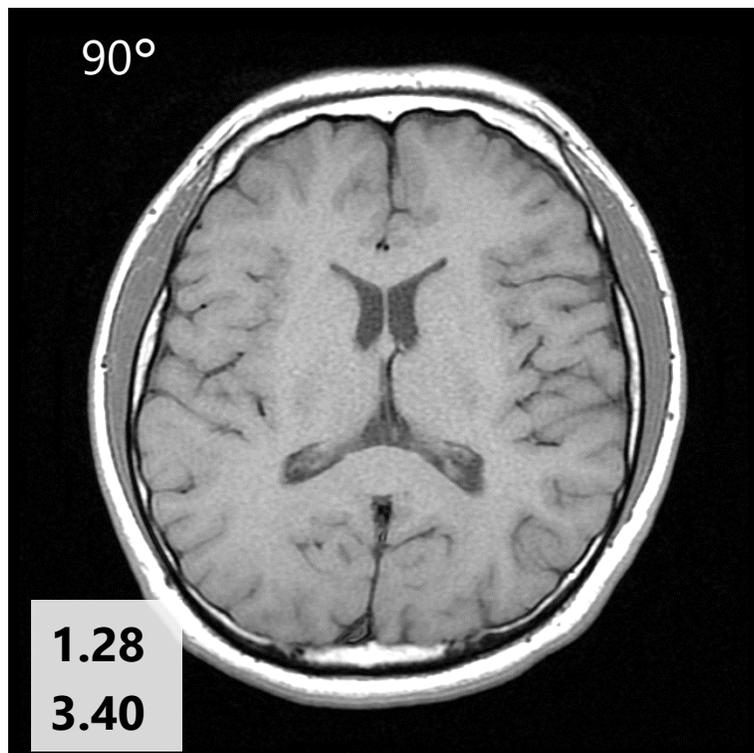


@GE



@Siemens

5 mm/0 gap, 28slice

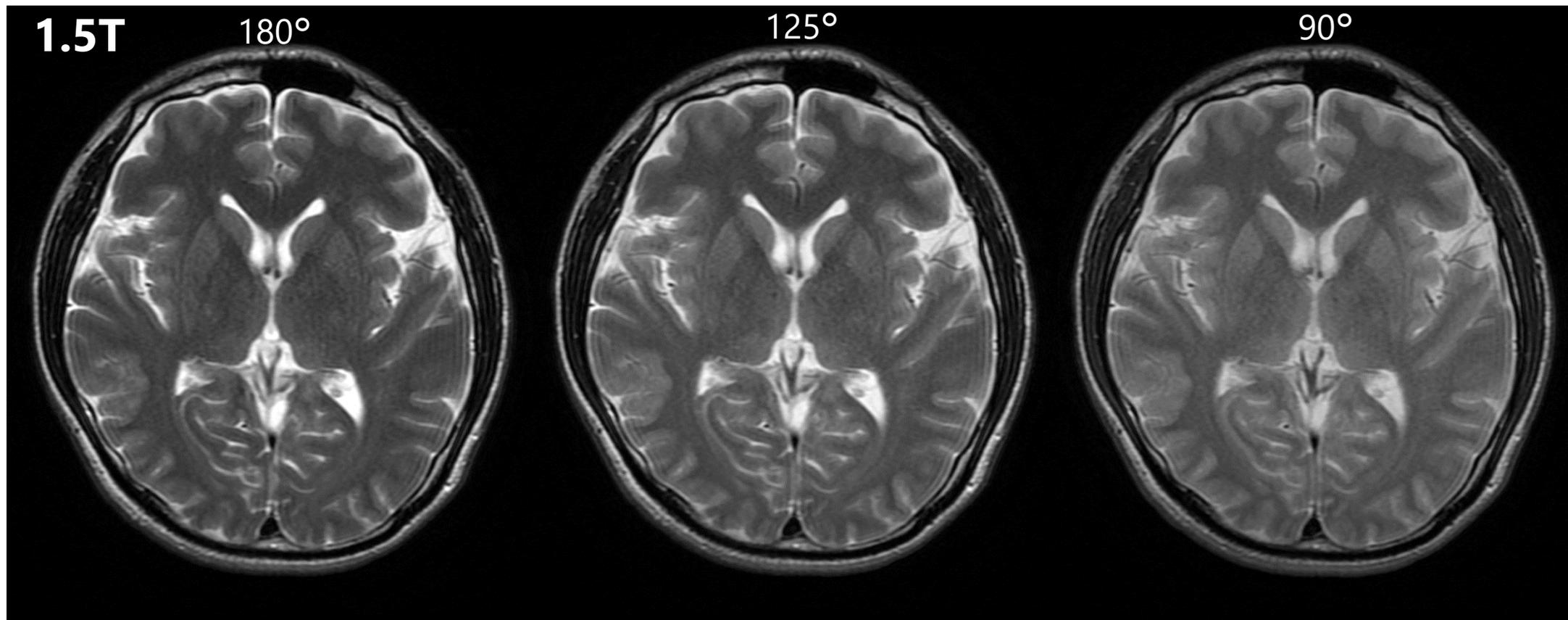


やや**低めのFA**の方が**SARを低減**しつつ、**コントラストも改善**できる

# Refocus pulseのFA調整

➤ T2WI (FSE法) のSARと画質

RFAを低下させるとSARを低減できるが、  
コントラストの低下をともなう。



SAR

1.36

0.77

0.35

B1+rms

3.50

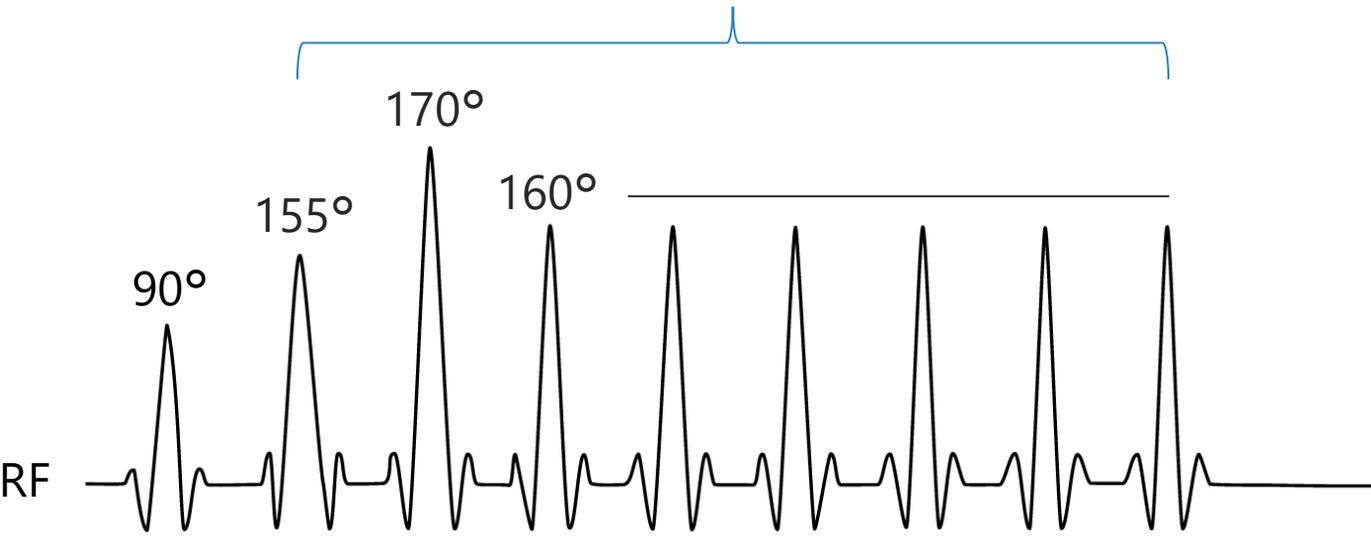
2.63

1.77

# Tailored RF (TRF) @GE

## 概要

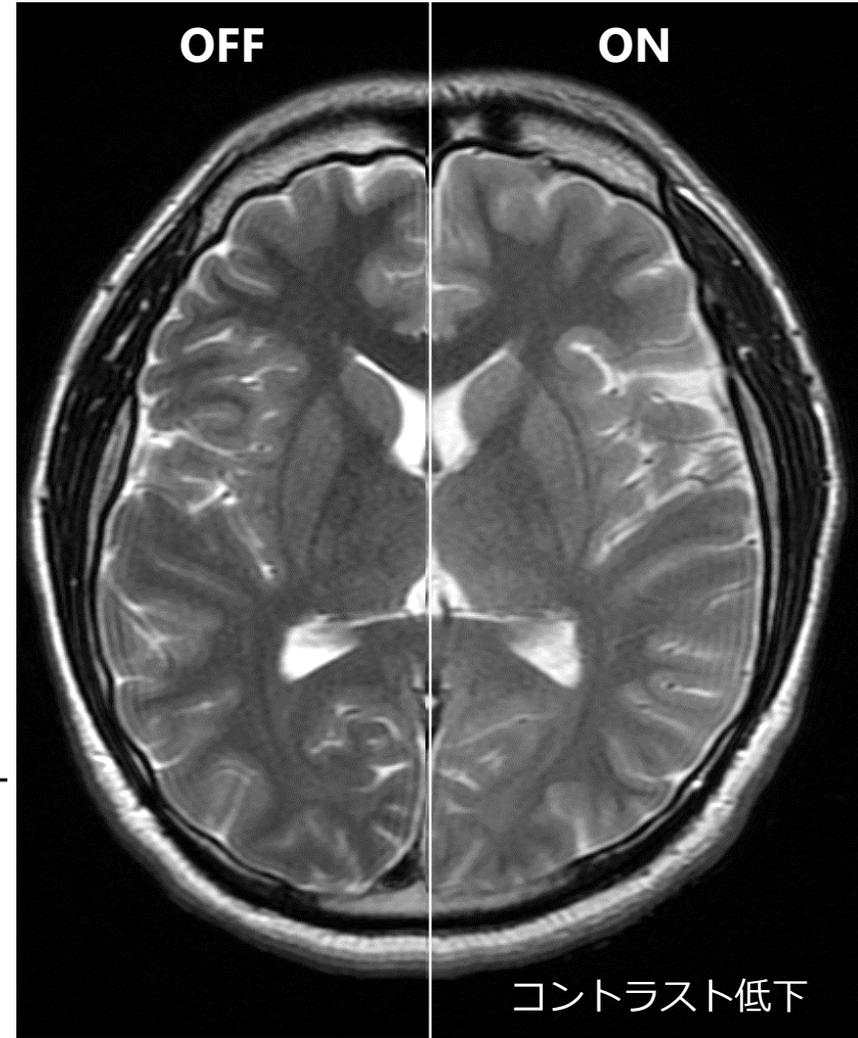
refocusing pulse



RFA180°に設定した場合

- Blurring artifactが少なくなる
- SARが減少する
- コントラストは低下

1.5T T2WI



SAR	1.47	0.73
B <sub>1</sub> +rms	3.50	2.45

# SARを低減するための基本的な考え方

## 1. RF pulseのFAを低くする

対象：励起pulse, Refocus pulse

特徴：FAの2乗  $\propto$  SAR

対応：撮影者によるFAの決定, Imaging optionなどを使用した装置によるFA制御

## 2. RF pulse typeの変更

対象：主に励起pulse

特徴：パルス幅  $\propto$  SAR、パルス振幅の2乗  $\propto$  SAR

対応：パルス幅を延長し、パルス振幅を下げる（FAは保持すると仮定）

## 2. RF pulseを照射する間隔を延ばす

対象：**duty cycle**（TRに対するRF照射時間の割合）

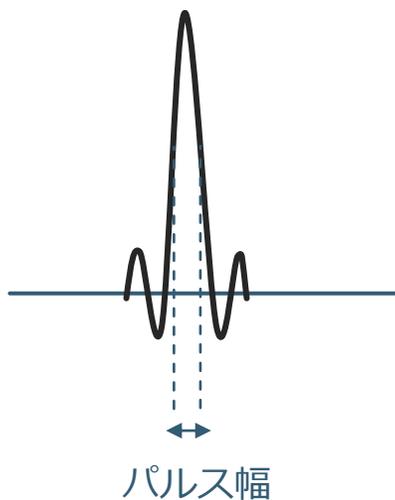
特徴：duty cycle  $\propto$  SAR

対応：TR延長、Echo train length (ETL)減少、Acquisition分割

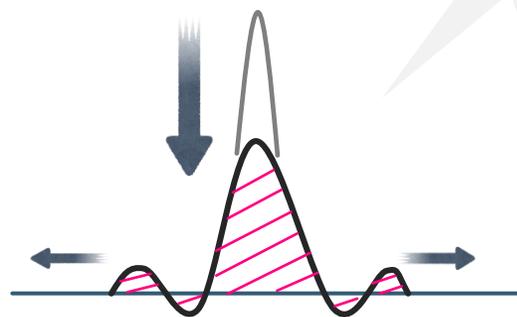
# RF pulse typeの基本的な考え方

## SARを下げるには？

Normal RF



Low SAR RF



RFの振幅を下げて、  
パルス幅を広げる

Flip angleは保持すると仮定した場合

パルス振幅  $1/2$  → SAR  $1/4$



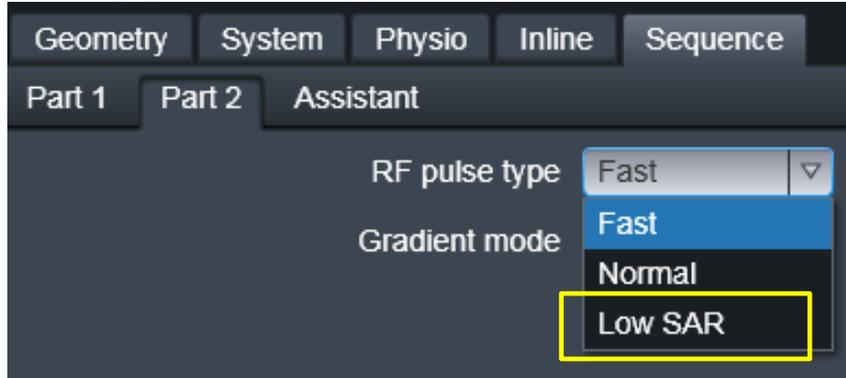
パルス幅  $2$ 倍 → SAR  $2$ 倍

最終的に・・・

**SARは $1/2$**

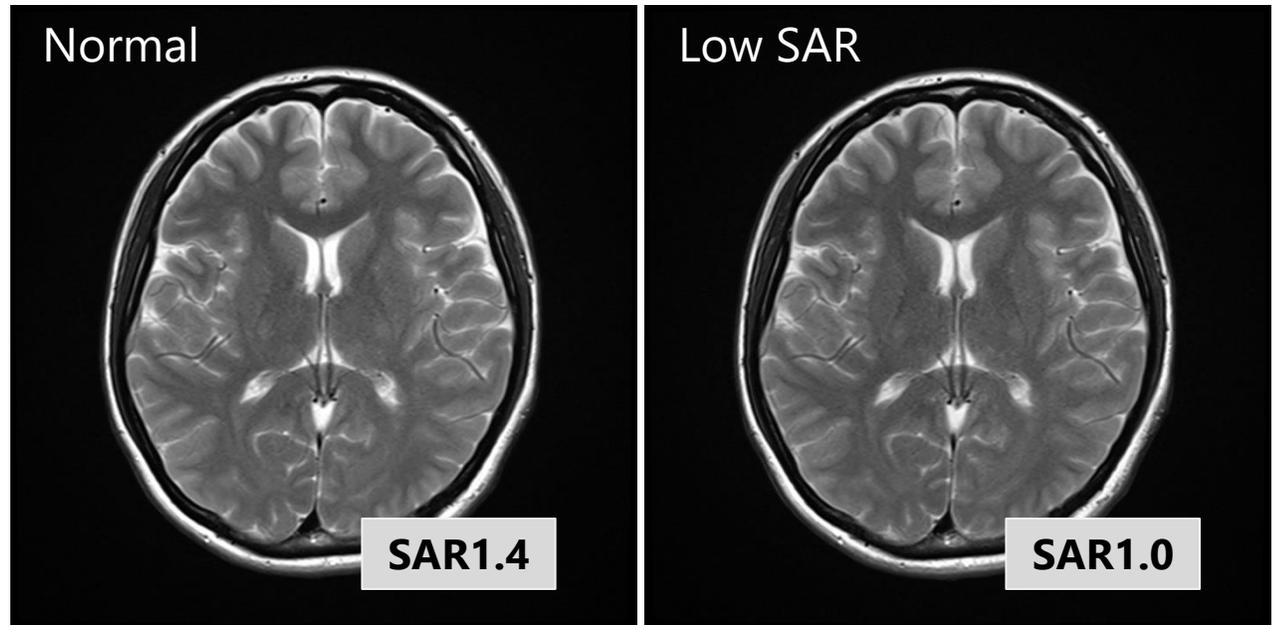
# RF pulse type@Siemens

## RF typeの変更

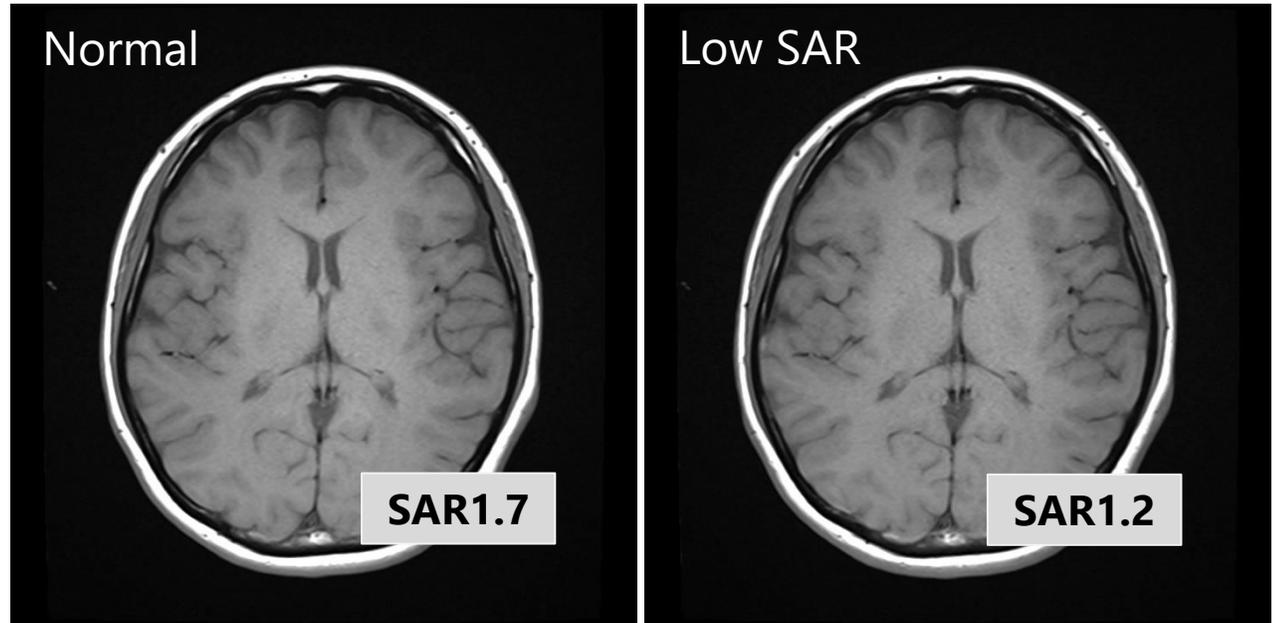


パルス幅は長いが振幅が小さい

T2WI



T1WI



# SAR optimization@GE

## 概要

### ✓ Spin echo法

off : Refocusing pulse(は180°)

mid : k-space端は小さいRefocusing flip angle

high : **B1が小さくなるRFデザイン** + k-space端は小さいRefocusing flip angle

### ✓ Fast spin echo法

off : 通常の仕様

on : **RF pulseを延長** (echo spaceは若干延長)

Advanced機能によるRFAの調整

# SAR optimization@GE

SNRが低い画像では、SAR optimization使用によるSNR低下が目立つ可能性がある。

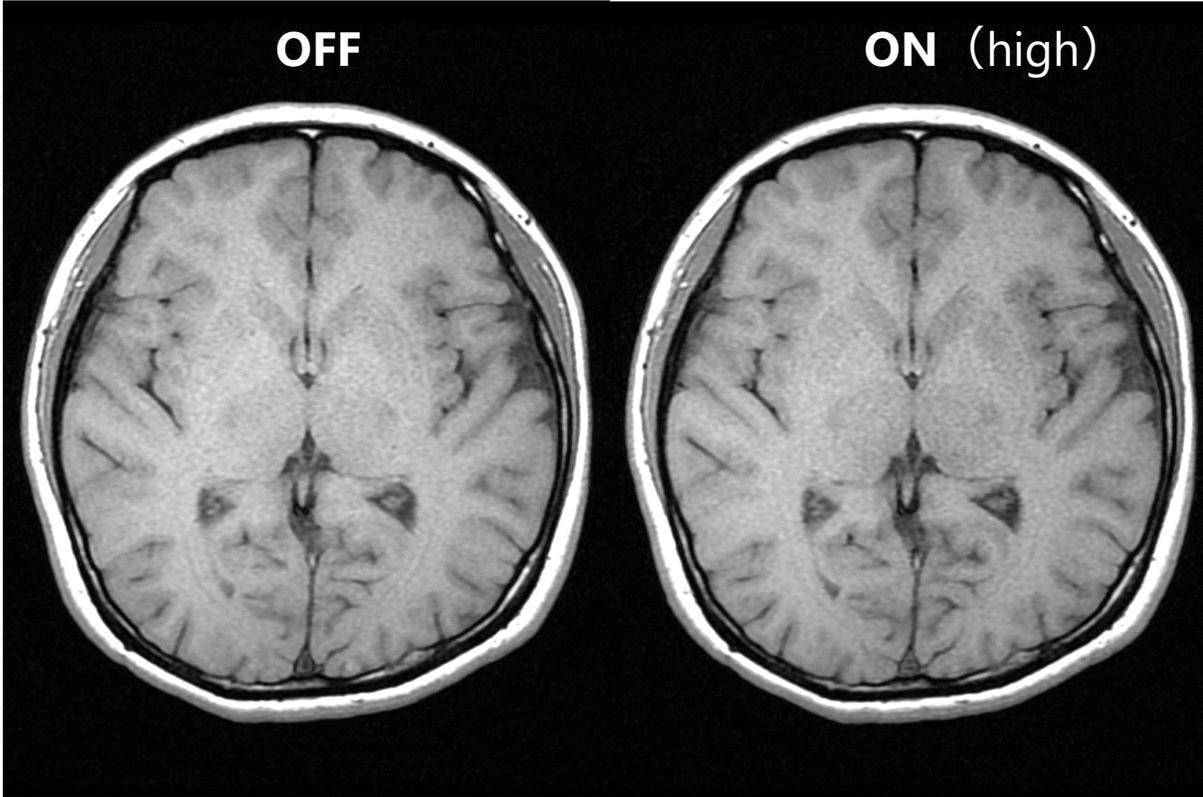
1.5T

T1WI (SE)

T2WI (FSE)

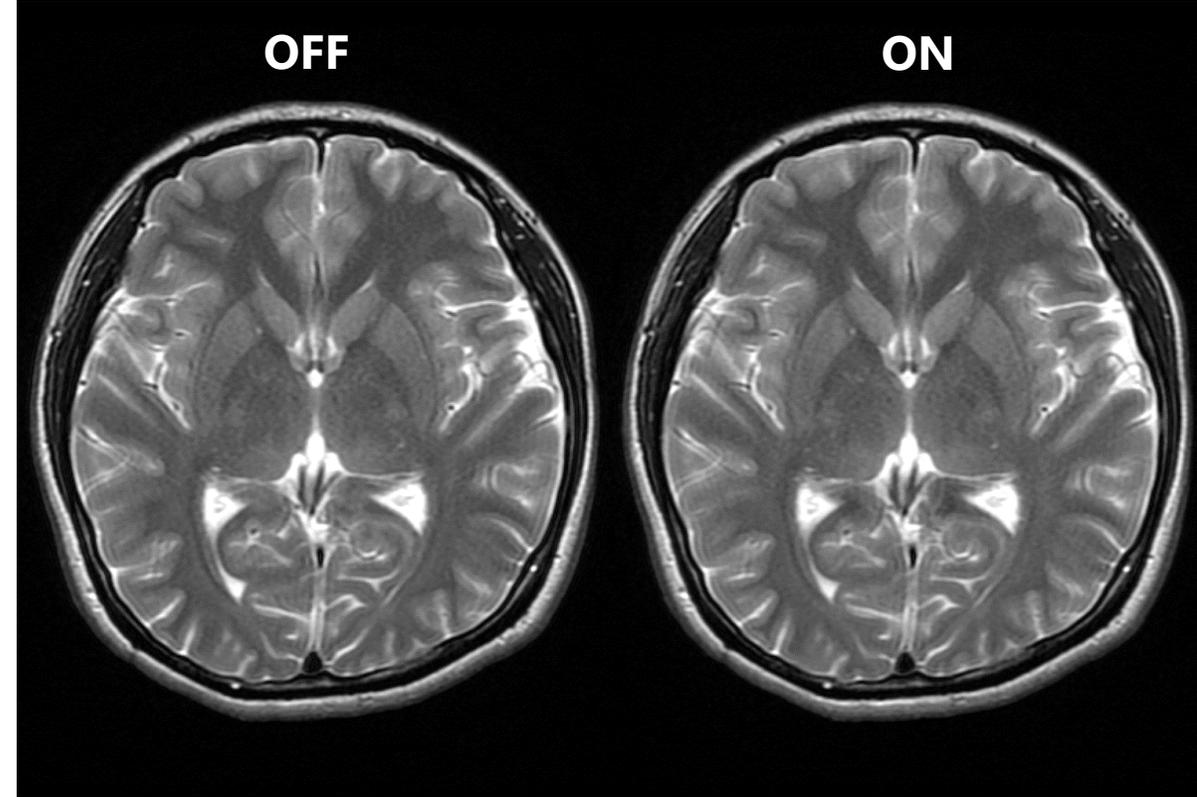
OFF

ON (high)



OFF

ON



SAR 1.27

0.63

0.72

0.49

B1+rms 3.26

2.30

2.44

2.01

# SARを低減するための基本的な考え方

## 1. RF pulseのFAを低くする

対象：励起pulse, Refocus pulse

特徴：FAの2乗  $\propto$  SAR

対応：撮影者によるFAの決定, Imaging optionなどを使用した装置によるFA制御

## 2. RF pulse typeの変更

対象：主に励起pulse

特徴：パルス幅  $\propto$  SAR、パルス振幅の2乗  $\propto$  SAR

対応：パルス幅を延長し、パルス振幅を下げる（FAは保持すると仮定）

## 2. RF pulseを照射する間隔を延ばす

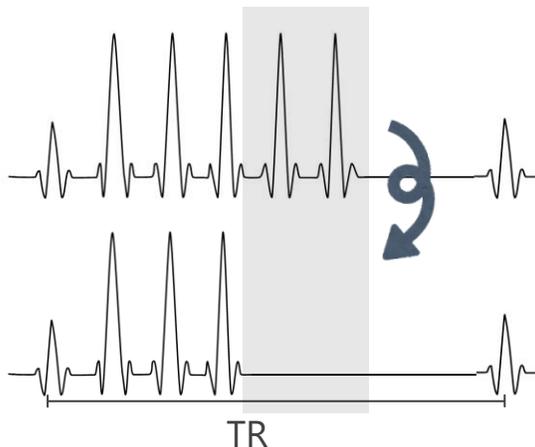
対象：**duty cycle**（TRに対するRF照射時間の割合）

特徴：duty cycle  $\propto$  SAR

対応：TR延長、Echo train length (ETL)減少、Acquisition分割

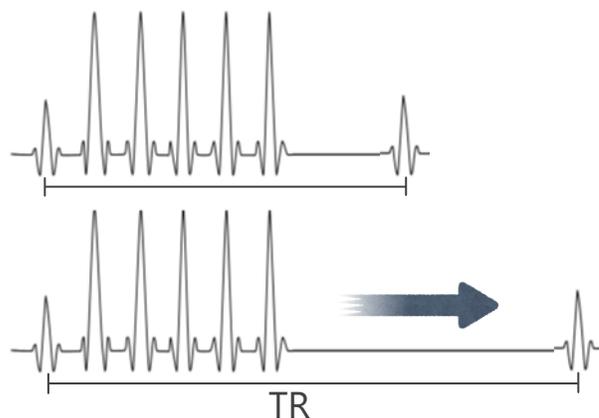
## T2WIで活用

□ RF pulseの数を減らす



ETLを減少

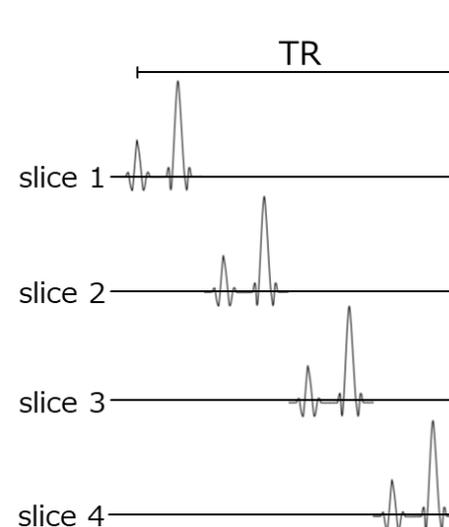
□ TRを延ばす



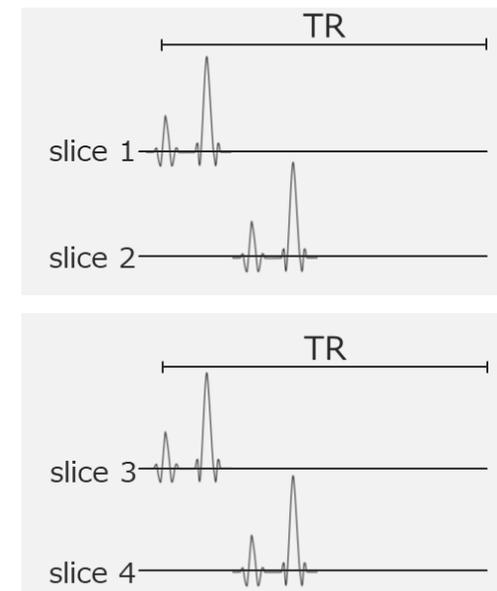
## T1WIで活用

データ収集を分割する

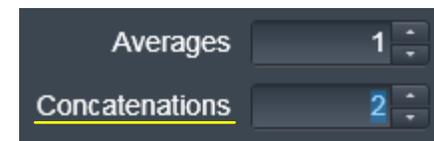
1 Acquisition



2 Acquisition



▶ Siemensは任意に分割可



▶ GEは任意に分割できない

# Acquisitionの分割@GE

## ➤ Low SAR modeを選択

3T First mode

TR: 740.0  
# Slices: 28

Total # Slices:	28
Max # Slices:	28
# of Acqs:	1

$B_{1+}$  RMS: 3.01 $\mu$ T

3T

Low SAR mode:  
 $B_{1+}$  rms  $\leq$  **2.5 $\mu$ T**

TR: 740.0  
# Slices: 28

Total # Slices:	28
Max # Slices:	19
# of Acqs:	2

$B_{1+}$  RMS: 2.13 $\mu$ T

制限値を超えないように  
Acquisition数を自動分割

———— Low SAR modeが使えない場合 ————

## ➤ 撮像Seriesを分割

Series Data

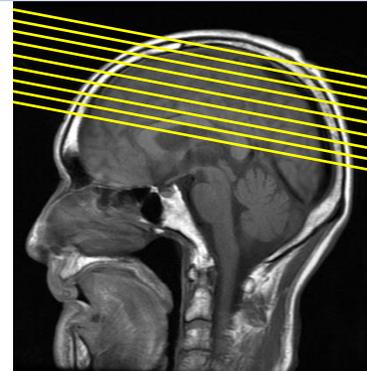
Description
0: SAR Scout
1: loc
2: cal
3: Loc
<b>T1 Ax top</b>
T1 Ax bot

TR: 740.0  
# Slices: 14

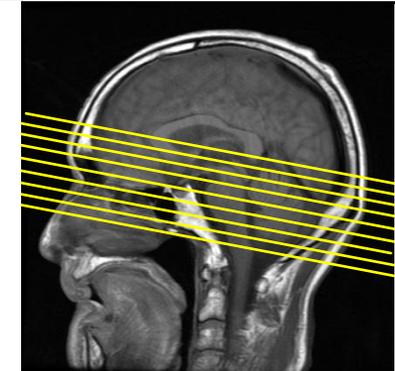
Total # Slices:	14
Max # Slices:	28
# of Acqs:	1

$B_{1+}$  RMS: 2.13 $\mu$ T

TOP



BOT



# T1WIの条件調整 (1.5T) @GE

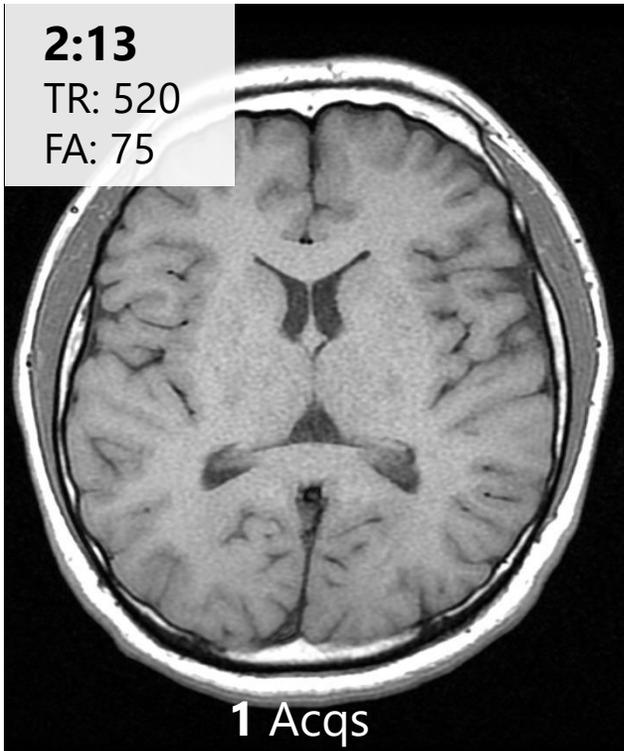
First mode (基準条件)

Low SAR mode:  $B1+rms \leq 2\mu T$

2:13

TR: 520

FA: 75

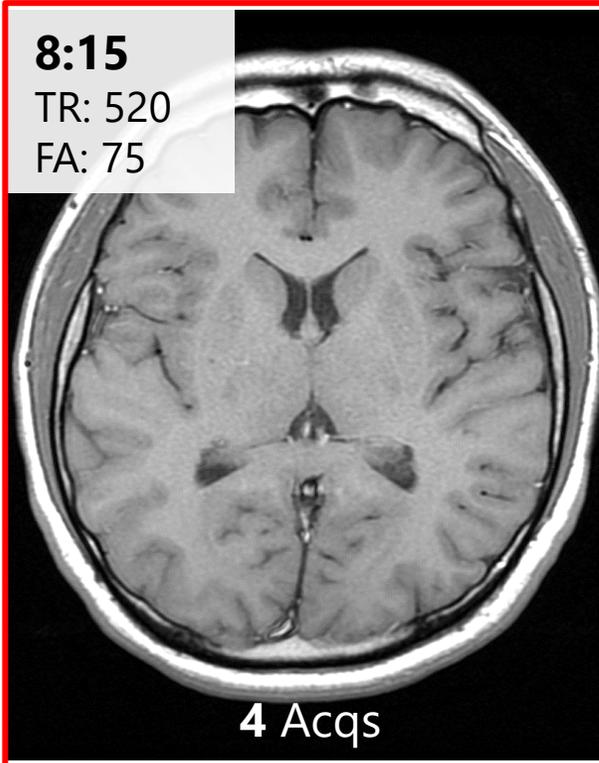


1 Acqs

8:15

TR: 520

FA: 75



4 Acqs

画質 ◎

時間 ✕

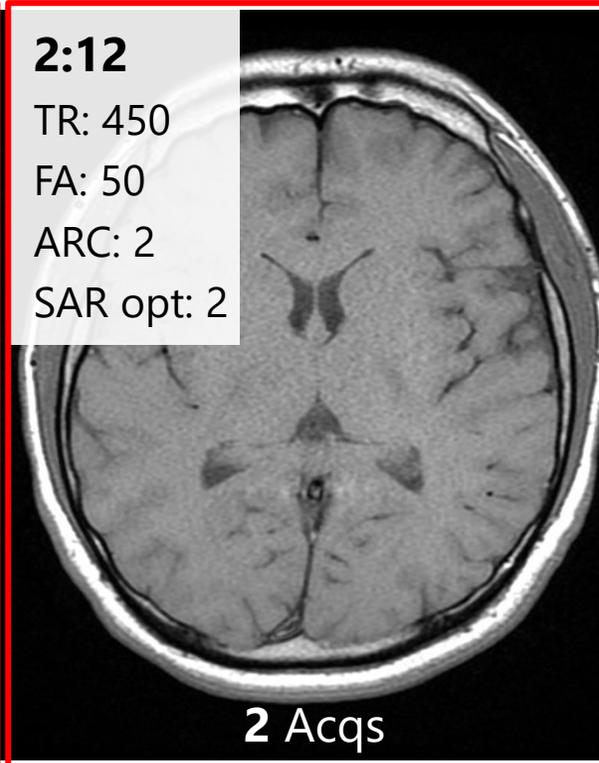
2:12

TR: 450

FA: 50

ARC: 2

SAR opt: 2



2 Acqs

画質 ✕

時間 ◎

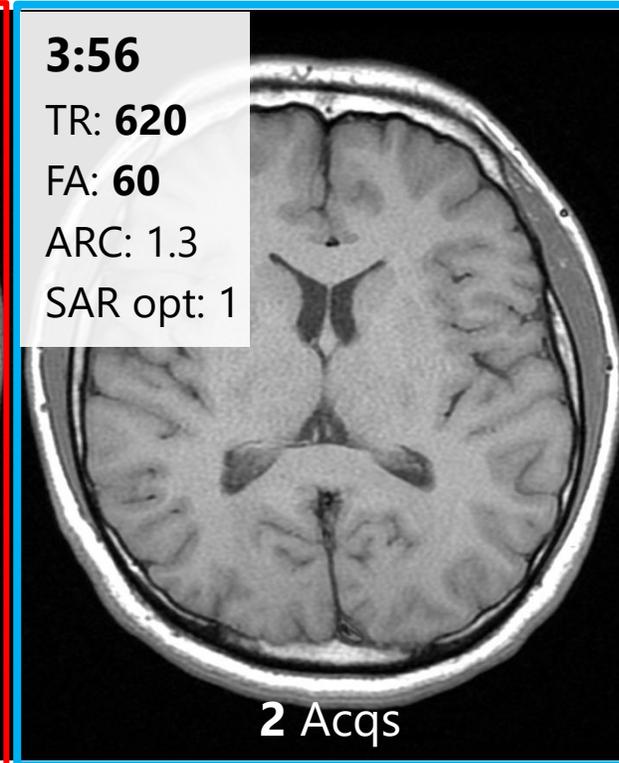
3:56

TR: 620

FA: 60

ARC: 1.3

SAR opt: 1



2 Acqs

画質 ◎

時間 ○

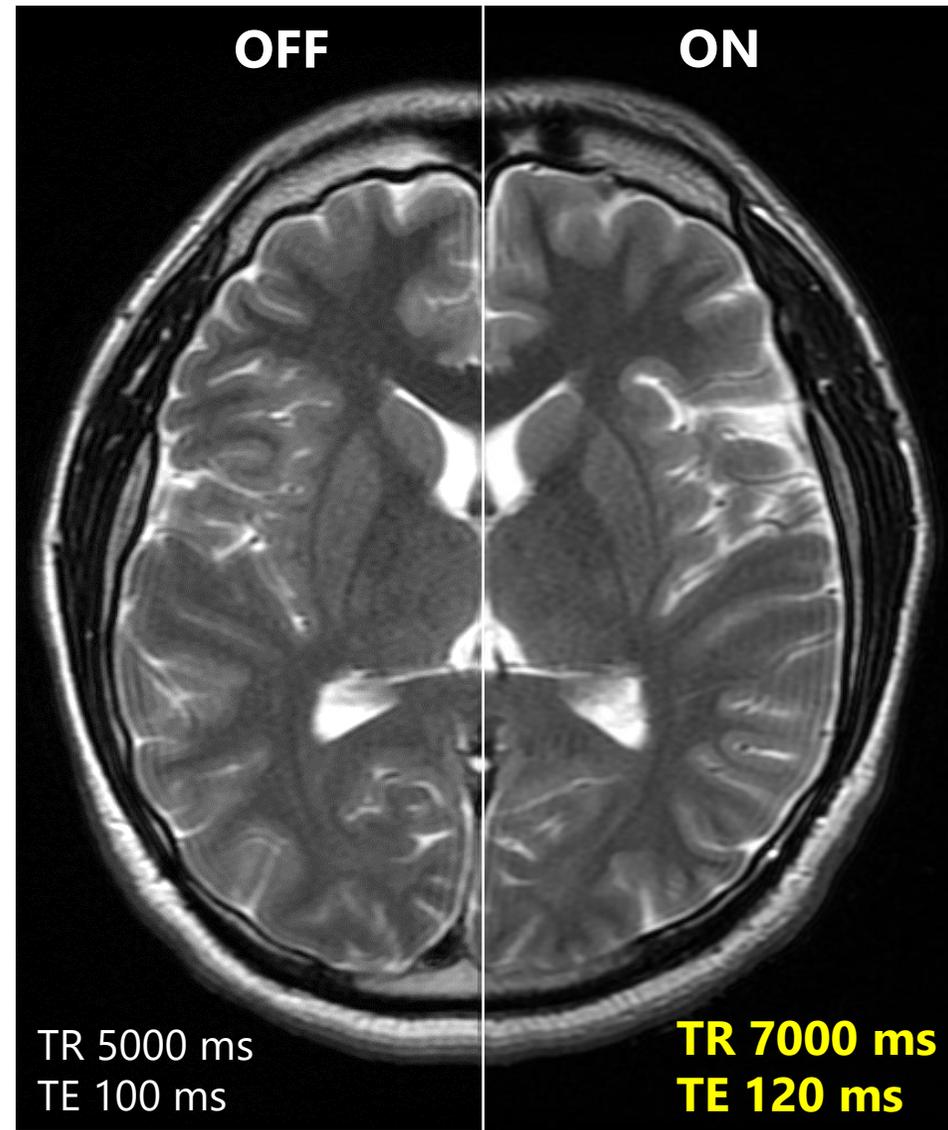
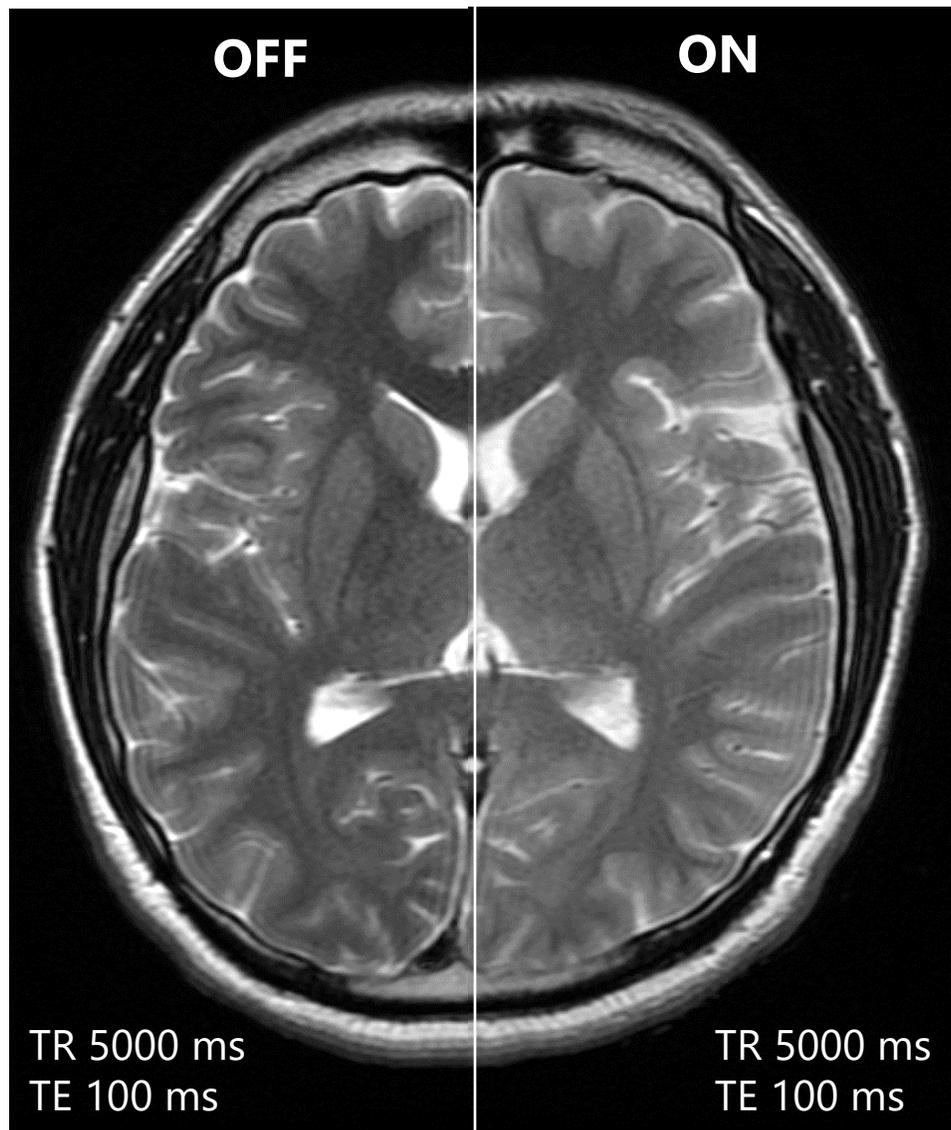
(ある程度時間をかけて撮る)

様々なパラメータを調整する必要があるため、事前に検討しておくことが重要

# T2WIの条件調整 (1.5T) @GE

## □ TRFを使用した場合

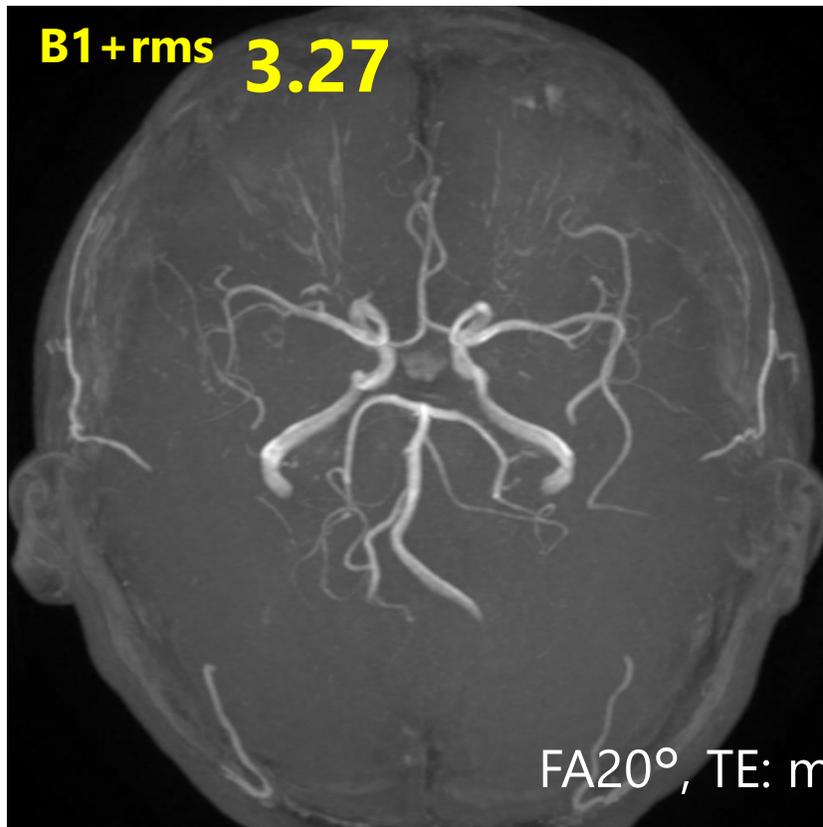
コントラストを"TRF off"に  
近づけるようにTR, TEを調整



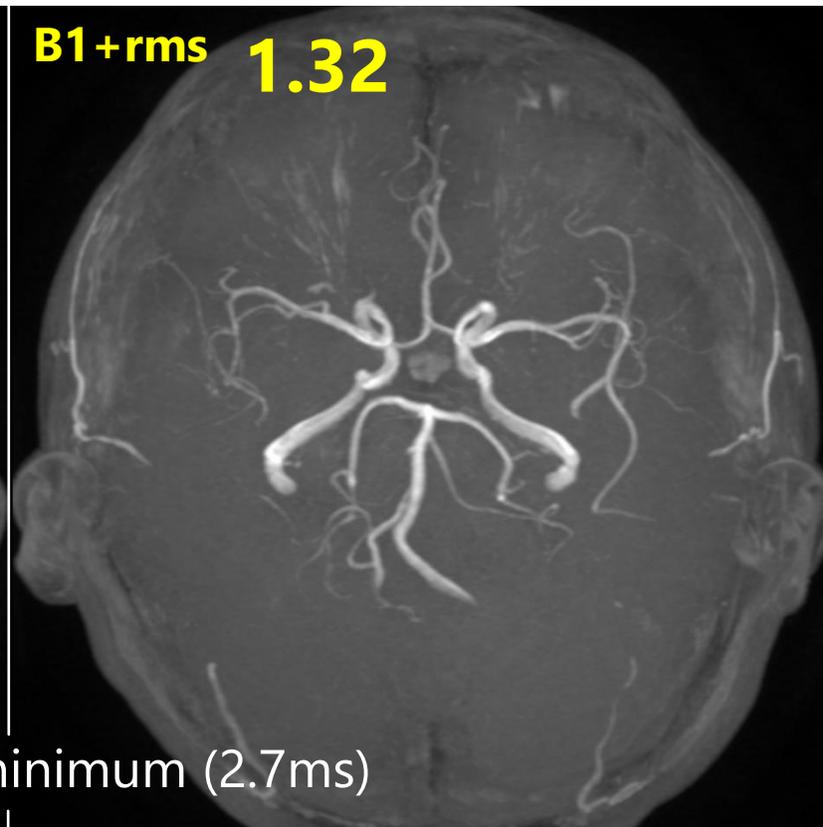
# MRA TOFの条件調整 (1.5T) @GE

➤ Low SAR mode:  $B_1+rms \leq 2\mu T$

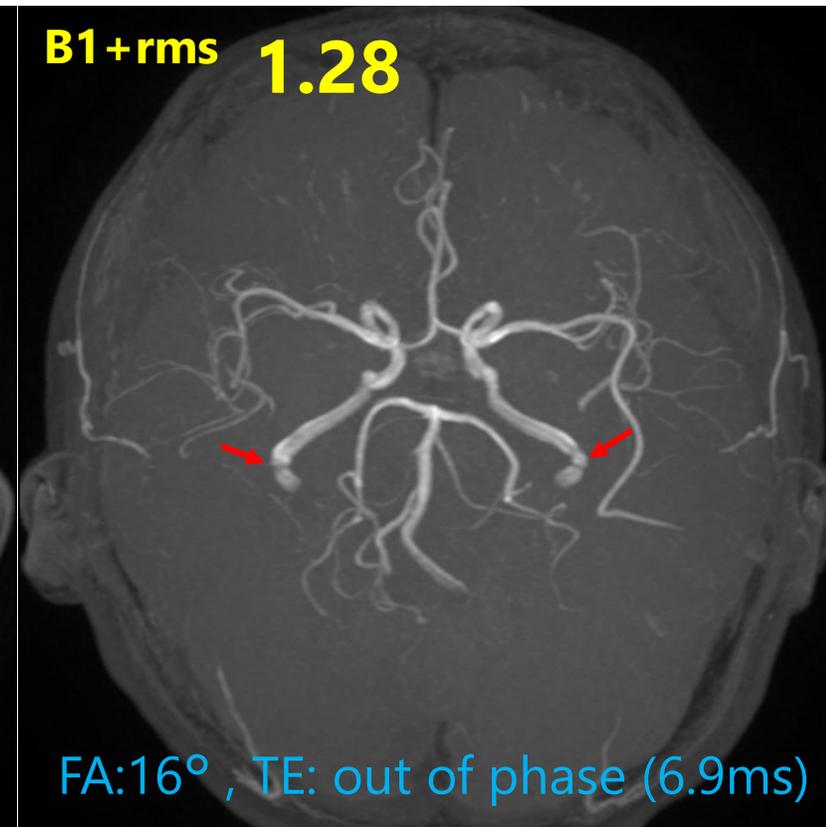
MT pulse **ON**, Fatsat ON



MT pulse **OFF**, Fatsat ON



MT pulse **OFF**, Fatsat **OFF**



MT pulseをOFFにすることで、 $B_1+rms$ を大幅に低減できる

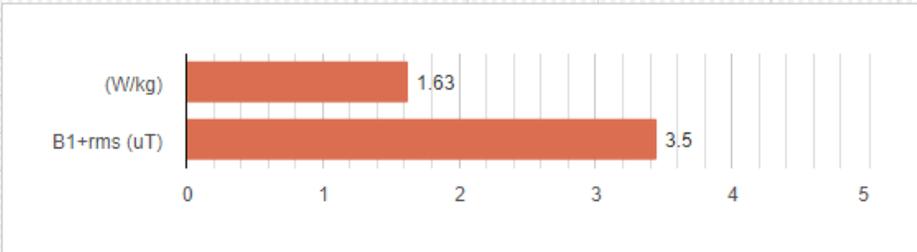
Dr Donald McRobbie

Medical physics and MRI

SAR-calc-V2.2-web

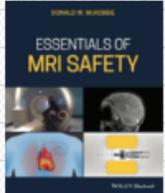
Sheet

	A	B	C	D	E	F	G
3	Patient height	1.8 m (in)	(71)	Frequency (MHz)		63.85	
4	Scan time (s)	(mins)	B1+rms (uT)			SAR (W/kg)	
5	102.4	1.71	3.5	3.2 FPO:b		1.63	
6	Sequence	TSE	max	TR (ms)		4000	3921.5
7	Echoes	15	15	TE/IES (ms)		99	11
8	Matrix	384	512	NSA		1	8
9	Flip angle	180	180	Slices		23	23
10	RF pulse type	Normal		HyperEchoes		off	3T only



For illustrative purposes only.  
 © Donald McRobbie, 2018  
 Updated 28/4/19  
[www.drdonaldmrobbie.com](http://www.drdonaldmrobbie.com)

More information:  
[Essentials of MRI Safety](#)  
 Chapter 5

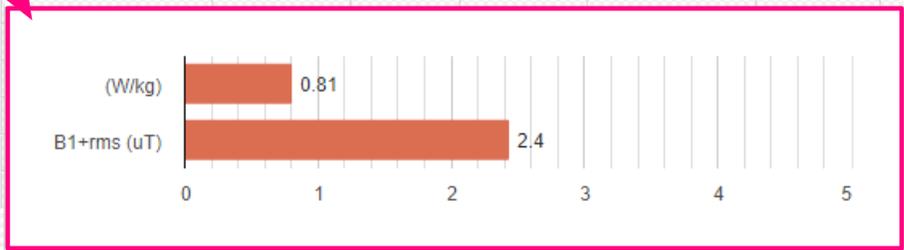


# SAR and B1+rms Calculator

SAR-calc-V2.2-web

Sheet

	A	B	C	D	E	F	G
2	Patient weight	80 kg (lb)	(176)	B0 (tesla)		1.5	
3	Patient height	1.8 m (in)	(71)	Frequency (MHz)		63.85	
4	Scan time (s)	(mins)	B1+rms (uT)			SAR (W/kg)	
5	204.8	3.41	2.4	3.2 FPO:b		0.81	
6	Sequence	TSE	max	TR (ms)		8000	3921.5
7	Echoes	15	31	TE/IES (ms)		99	11
8	Matrix	384	512	NSA		1	8
9	Flip angle	180	180	Slices		23	46
10	RF pulse type	Normal		HyperEchoes		off	3T only



For illustrative purposes only.  
 © Donald McRobbie, 2018  
 Updated 28/4/19

More information:  
[Essentials of MRI Safety](#)  
 Chapter 5



<https://drdonaldmrobbie.com/sar-and-b1rms-calculator/>

# MRCP

## □ 当院のプロトコール

2D(はslice厚4-5mm/0 gap で  
36slice程度が標準

DWI

3D MRCP

T2 SSFSE

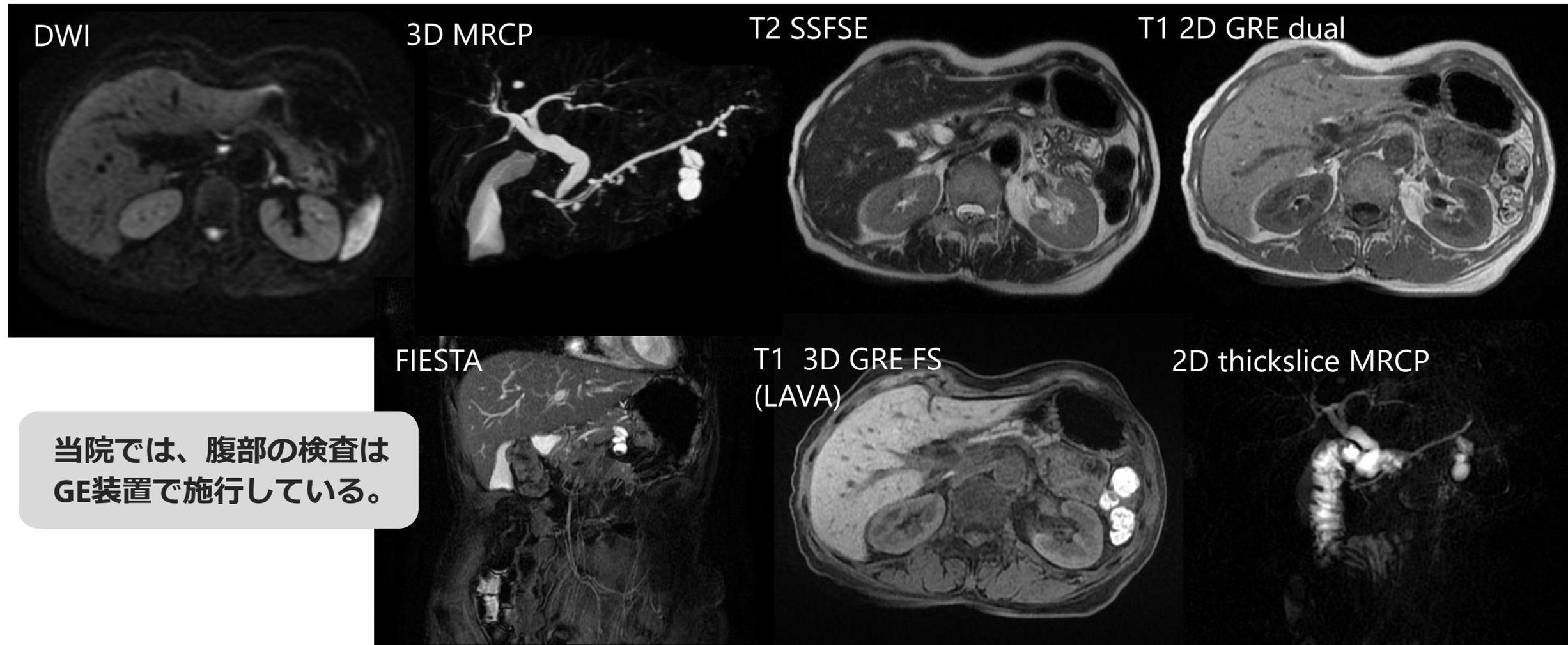
T1 2D GRE dual

FIESTA

T1 3D GRE FS  
(LAVA)

2D thickslice MRCP

当院では、腹部の検査は  
GE装置で施行している。



# Normal modeでのMRCP

## ▶ 2.0 W/kg

Sequence		1.5T		3T	
当院プロトコール		SAR	B <sub>1</sub> +rms	SAR	B <sub>1</sub> +rms
Loc	SSFSE	1.76	3.60	<b>3.50</b>	2.28
DWI Ax Resp	SE-EPI	0.06	0.68	0.28	0.61
3D MRCP Resp	FRFSE	0.52	1.96	1.34	1.42
T2 Ax SSFSE	SSFSE	1.76	3.60	<b>3.50</b>	2.29
T1 Ax 2D GRE dual*	SPGR	1.17	2.94	1.80	1.64
FIESTA Cor	FIESTA	1.77	3.60	<b>3.47</b>	2.27
T1 Ax 3D GRE FS	LAVA	0.42	1.76	1.83	1.66
2D thick slice MRCP	SSFSE	1.75	3.60	<b>3.48</b>	2.28

\*2acquisitionで撮像

表は体重60kg, slice数36, 呼吸数12回/minの場合

# Normal modeでのMRCP

## ▶ 2.0 W/kg

○ : 条件変更なしで撮像可

△ : 条件変更すれば撮像可

× : 現実的な条件での撮像不可

Sequence		1.5T	3T
当院プロトコール		SAR	SAR
Loc	SSFSE	○	△
DWI Ax Resp	SE-EPI	○	○
3D MRCP Resp	FRFSE	○	○
T2 Ax SSFSE	SSFSE	○	△
T1 Ax 2D GRE dual*	SPGR	○	○
FIESTA Cor	FIESTA	○	×
T1 Ax 3D GRE FS	LAVA	○	○
2D thick slice MRCP	SSFSE	○	△

\*2acquisitionで撮像

表は体重60kg, slice数36, 呼吸数12回/minの場合

## T2 SSFSE

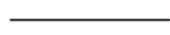
連続する180°pulseがSARの上昇に起因

- Tailored RF
- MART



Refocus FAを調整し、SARを低減

- VERSE



RF pulseの形を調整し、SARを低減

- TR



SSFSEでは次のsliceを励起するまでの間隔を意味する。  
通常はMinimum（最短）。これを任意に延長し、SARを低減。



撮像時間が延長するが、撮像sliceの分割することで調整。  
ただし、撮像回数が増え、患者の負担が大きくなる。

→ 呼吸同期法で負担軽減

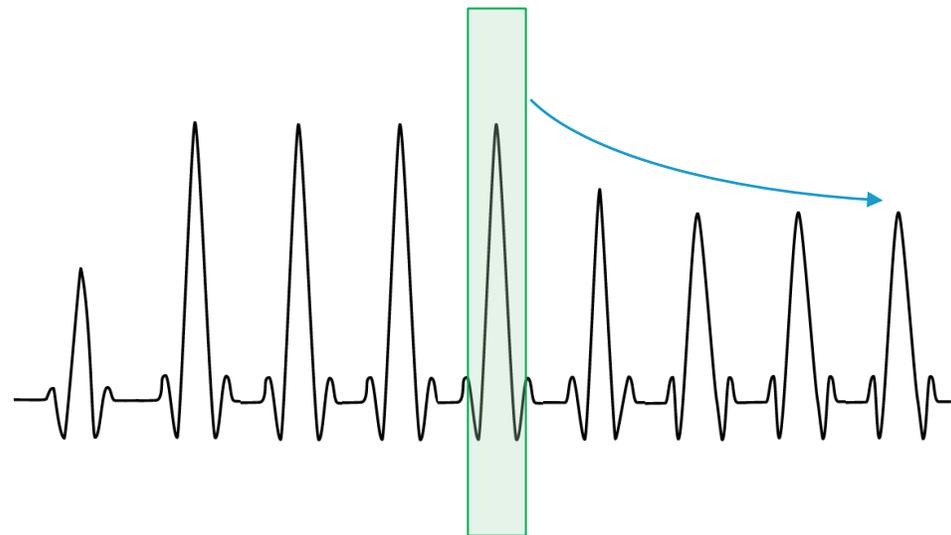
## ➤ MART

Modulated Angle Refocusing Train

概要

- ✓ 実効TE近傍から徐々にRefocus FAを下げることで、SARを低減する。

SSFSE  
+ MART



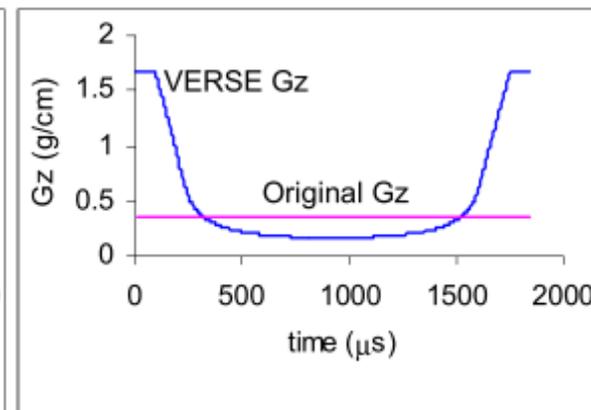
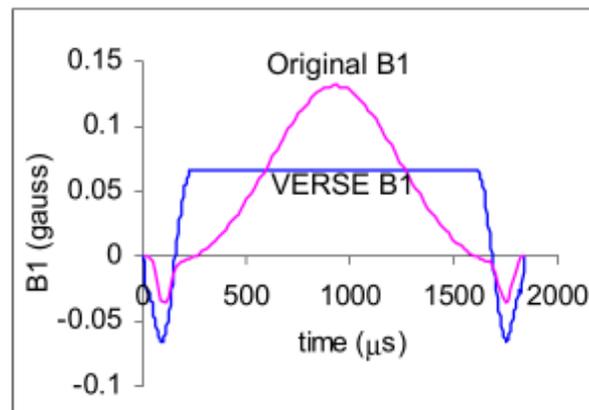
実効TE

## ➤ VERSE

Variable-rate Selective Excitation

概要

- ✓ SARが上昇しないようにRFおよびGradientの波形を最適化して印可する。
- ✓ 3Tのみ使用可能



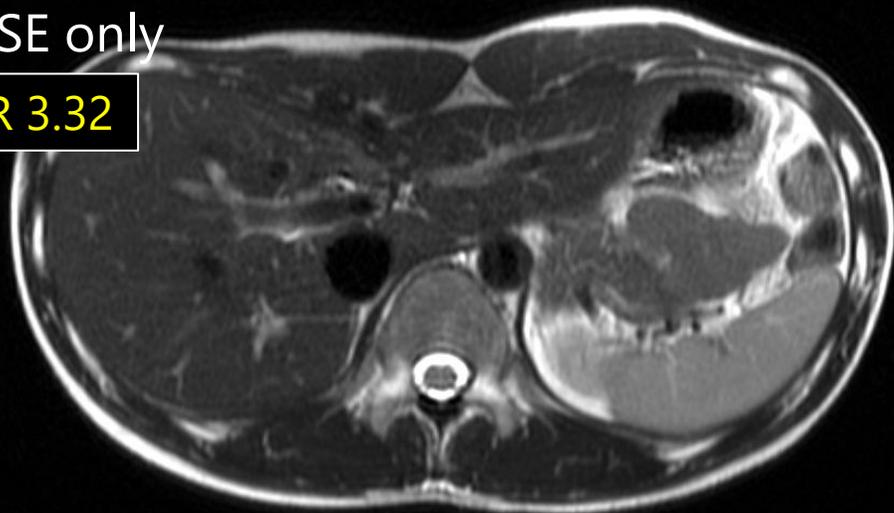
Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med. 11 (2003)

# SARの低減効果 (3T)

SSFSE (呼吸停止撮像)

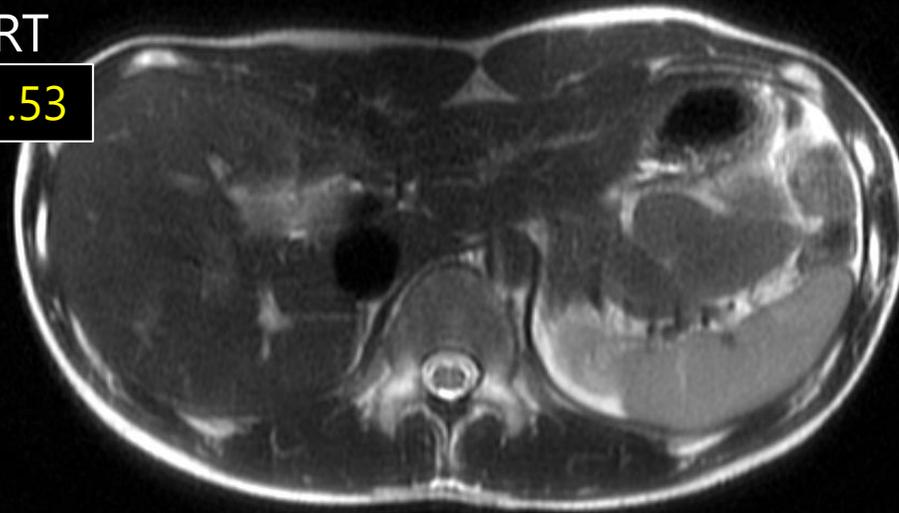
SSFSE only

SAR 3.32



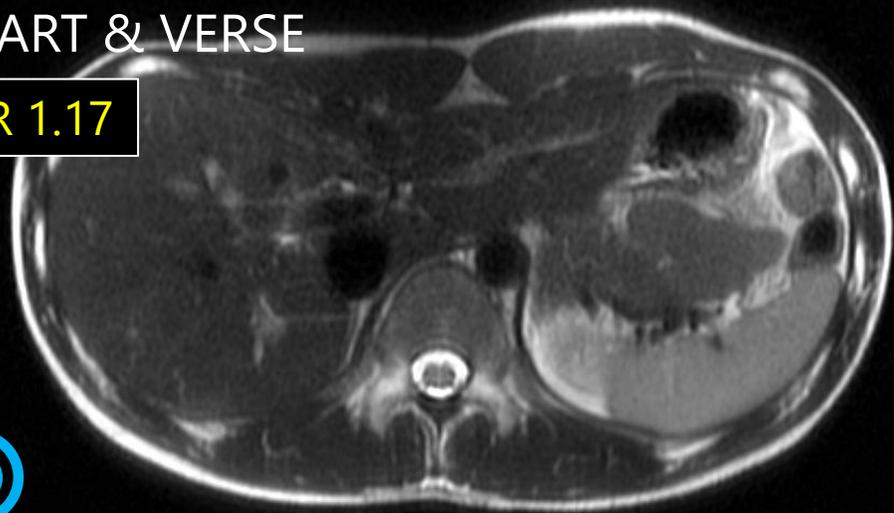
+MART

SAR 1.53



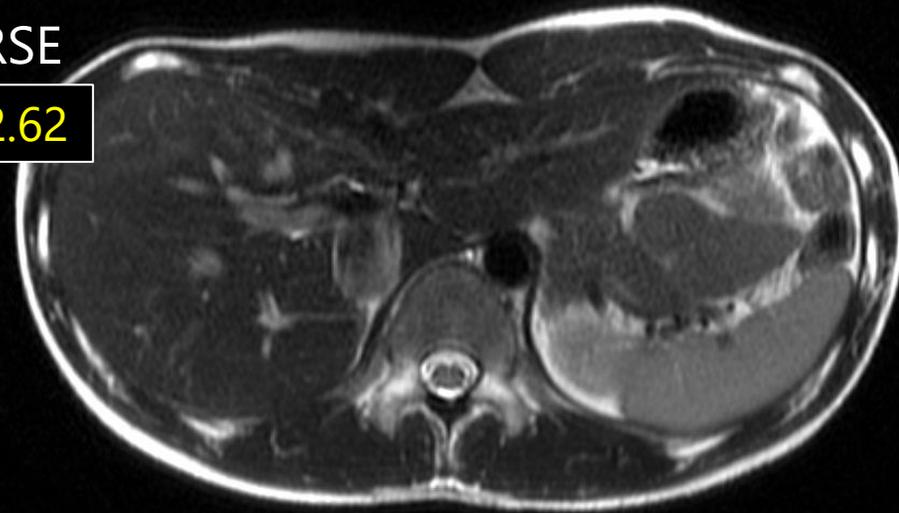
+MART & VERSE

SAR 1.17



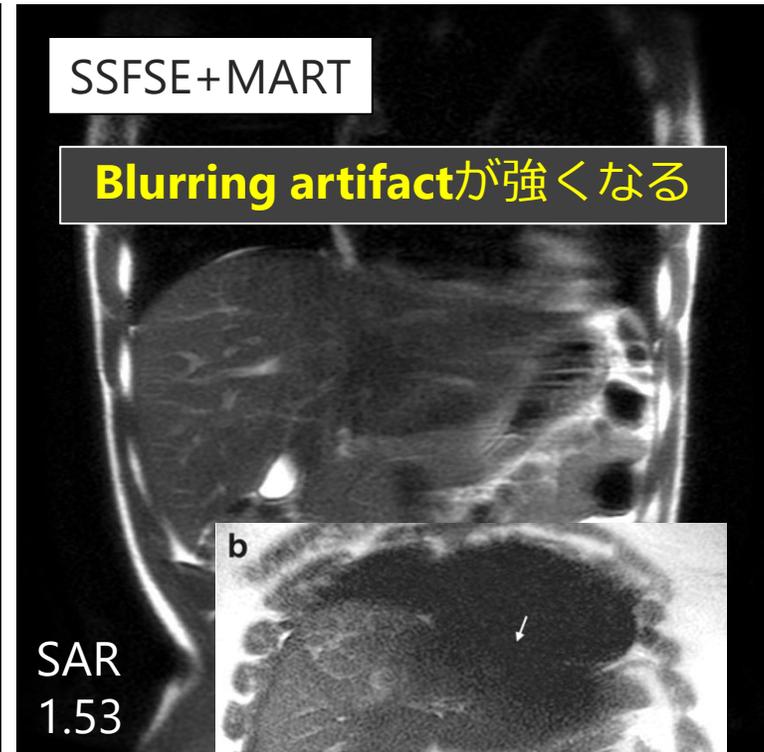
+VERSE

SAR 2.62



# MARTの画質 (3T)

SSFSE (呼吸停止撮像)



肝左葉の信号が低下する場合も

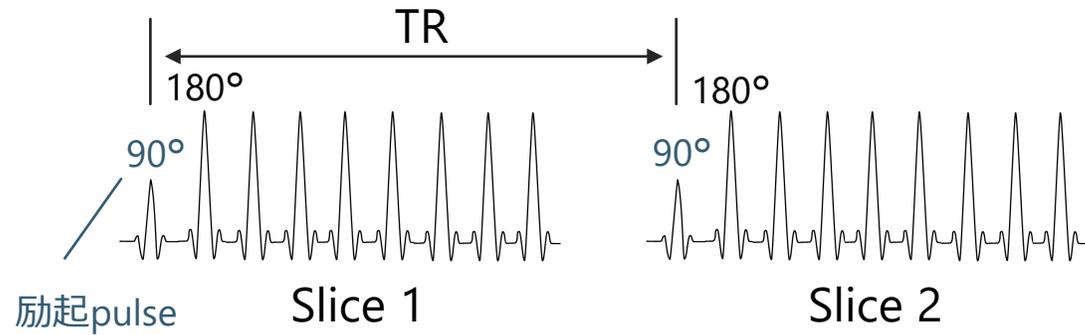
SARと画質を両立するには



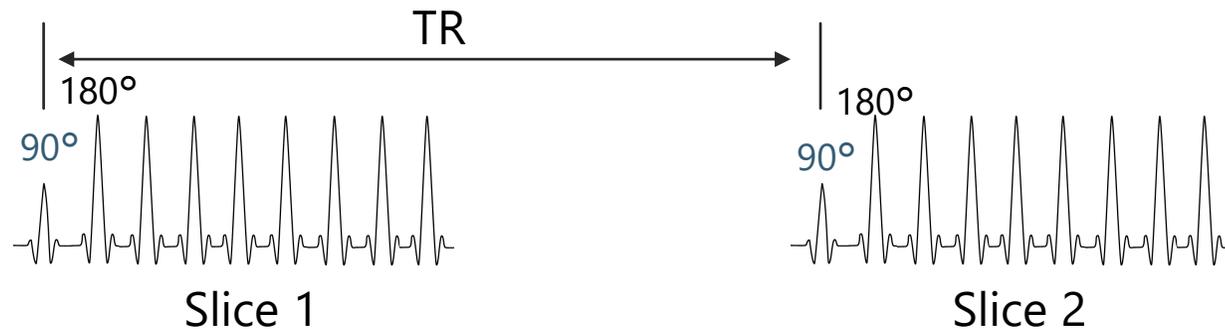
MARTやVERSEではなく、  
呼吸同期法を併用する

SSFSEの『TR』は **次のスライスを励起** するまでの間隔を指す

- SSFSE **Breath hold**



- SSFSE **Resp**



呼吸同期への変更



TR (単位時間) 当たりの  
RF pulseの数の減少



**SARの低減**

# 呼吸同期撮像

- T2 SSFSE
- 3D MRCP

呼吸同期の併用によりTRが必然的に長くなり、SARが低減。

**3T** details Respiratory Acceleration 1:45

# Resp Intervals: 1  
Trigger Point: 30  
Trigger Window: 50  
Resp Rate: 20  
Effective TR: 3000 msec  
WB-SAR: 2.30

**3T** details Respiratory Acceleration 3:30

# Resp Intervals: 2  
Trigger Point: 30  
Trigger Window: 50  
Resp Rate: 20  
Effective TR: 6000 msec  
WB-SAR: 0.77

実行TRを意識して呼吸数に応じたintervalの調整を行う

撮像時間は延長するが、最も簡便で効果的なSAR対策といえる

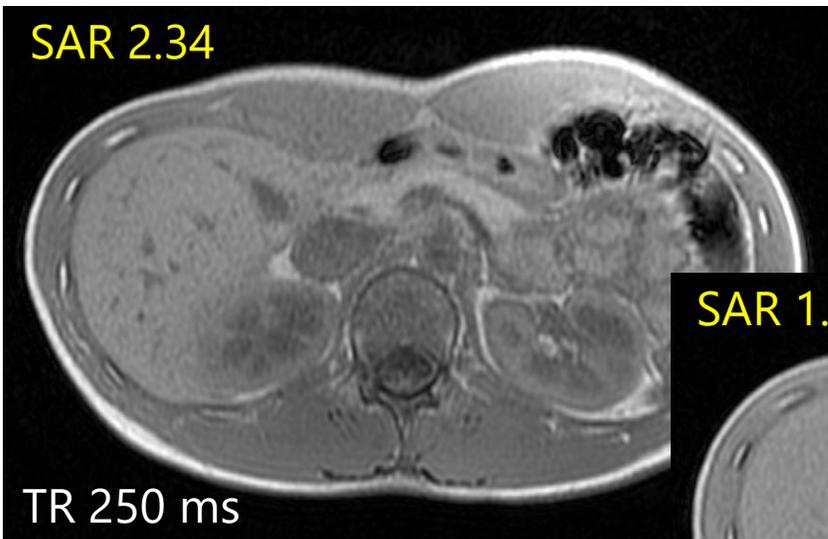
# T1 2D GRE dual (in phase/out of phase)

高いFAおよび短いTRでのマルチスライス撮像がSARの上昇に起因

- ✓ FAの2乗  $\propto$  SAR
- ✓ duty cycle  $\propto$  SAR

3T 2D GRE FA 60°

SAR 2.34



TR 250 ms

2D GRE FA 30°

SAR 1.29

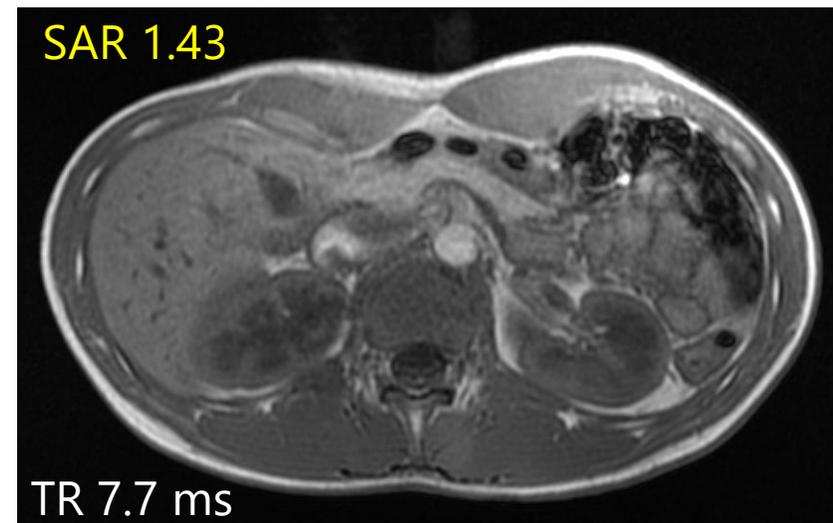


TR 250 ms

▶ 3D撮像の選択

3T 3D GRE FA 15°

SAR 1.43



TR 7.7 ms

コントラストを担保しつつ、SARを低減

脂肪抑制pulseとSAR

# T1 3D GRE Fatsat (LAVA)

	None	SPECIAL	ASPIR
SAR	1.78	1.94	1.83

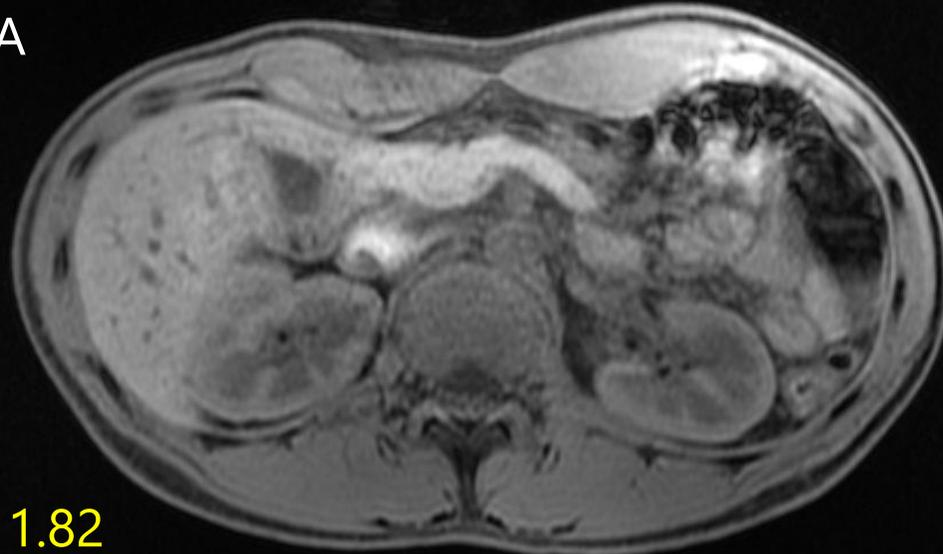
脂肪抑制pulseがSARの上昇に起因

✓ LAVA-Flexの選択

—— DIXON法であり、脂肪抑制pulseを使用しないためSARを低減できる。

3T

LAVA



SAR 1.82

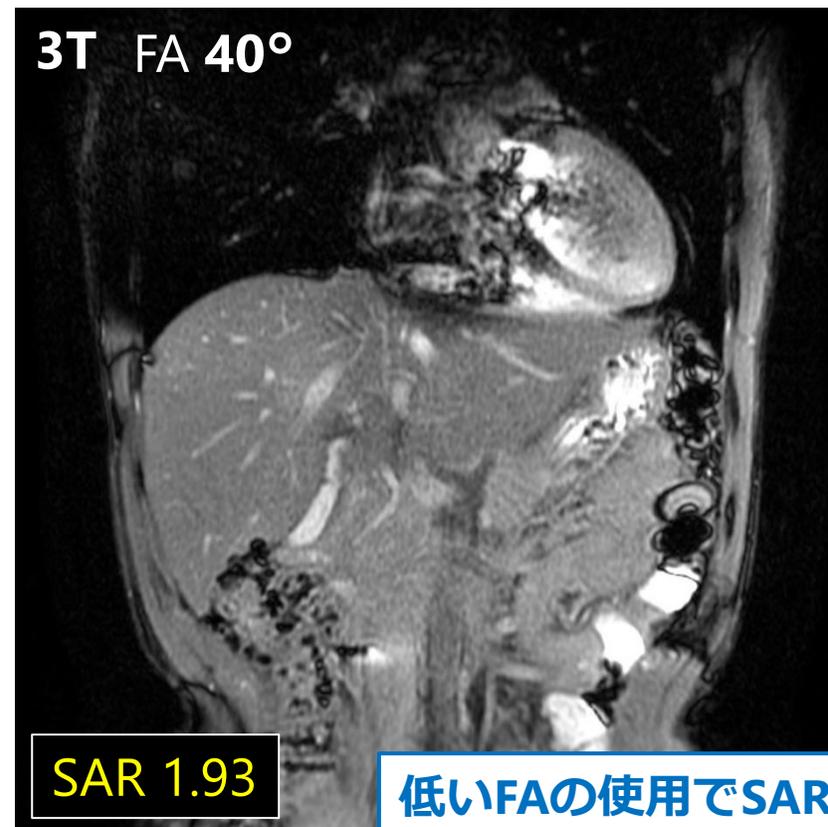
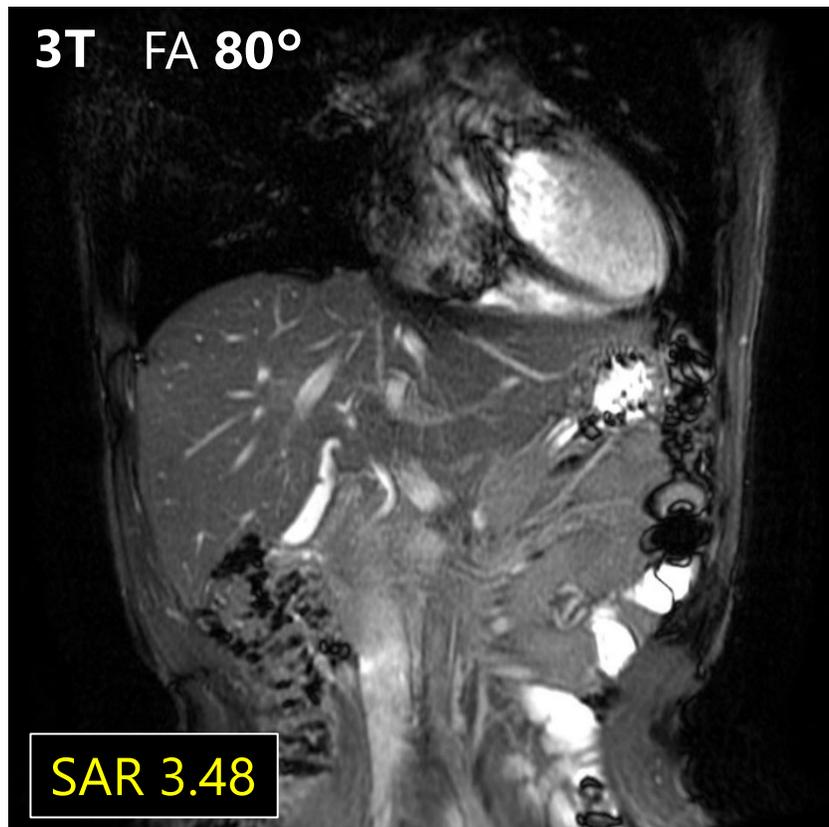
3T

LAVA-Flex



SAR 1.04

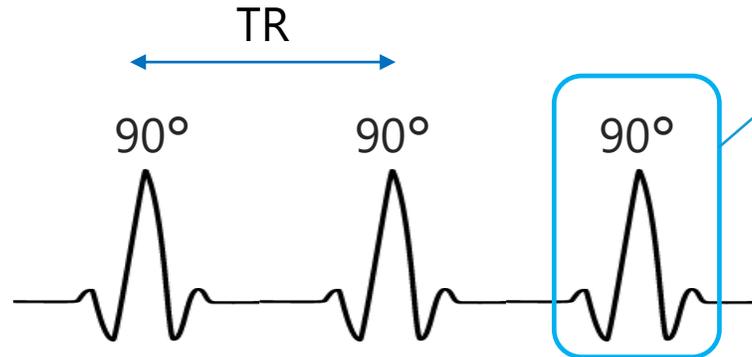
## FIESTA (2D)



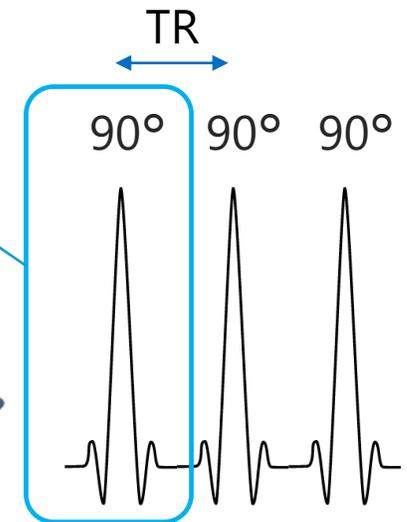
低いFAの使用でSARは低下するが  
コントラストが犠牲に。

# SSFPのSARが高いのは

例) FA 90°の場合

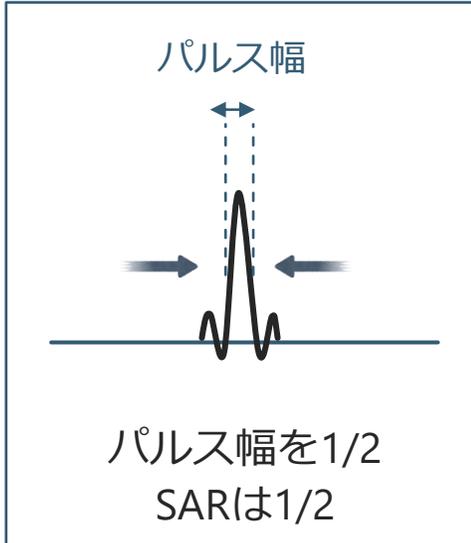


SSFPの90° pulseのSARは  
標準の90° pulseの2倍



標準の  
90° pulse

TRを短くするために  
パルス幅を短くする。



FAを90°に保つために  
強度（振幅）を上げる。



SAR = 1/2 × 4  
= 2倍

# FIESTAは呼吸同期に変更してもSAR、 $B_1$ +rmsが下がる

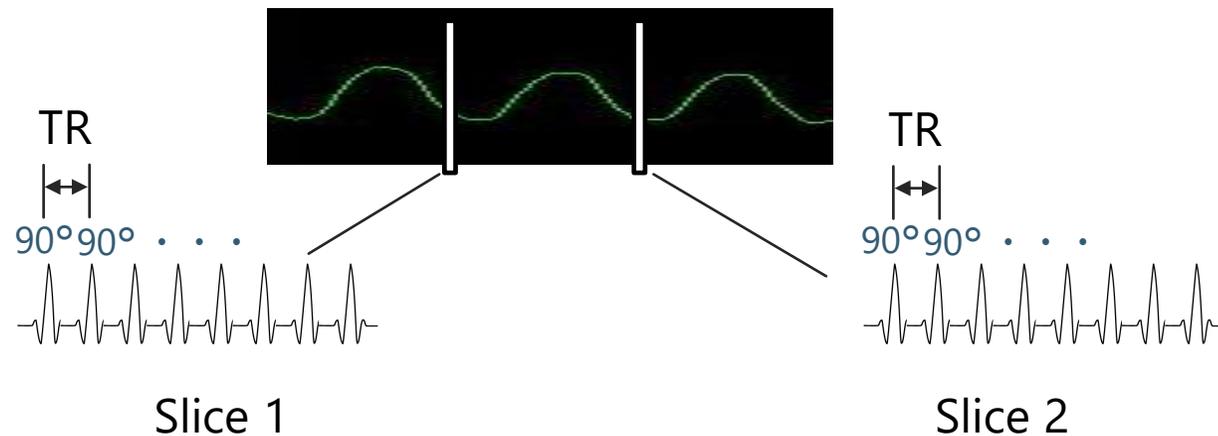
- **FIESTA**

WB-SAR: 1.62  $B_1$ +RMS: 3.60 $\mu$ T



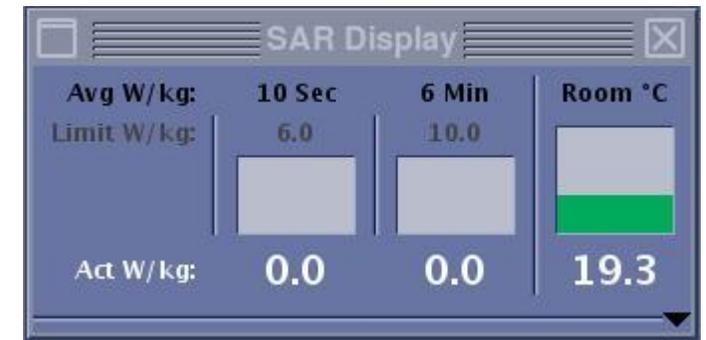
- **FIESTA Resp**

WB-SAR: 1.62  $B_1$ +RMS: 3.60 $\mu$ T



おそらくTRの定義が関係

FIESTAは呼吸同期に変更しても  
**TR当たりのRF pulseの数**は変わらない

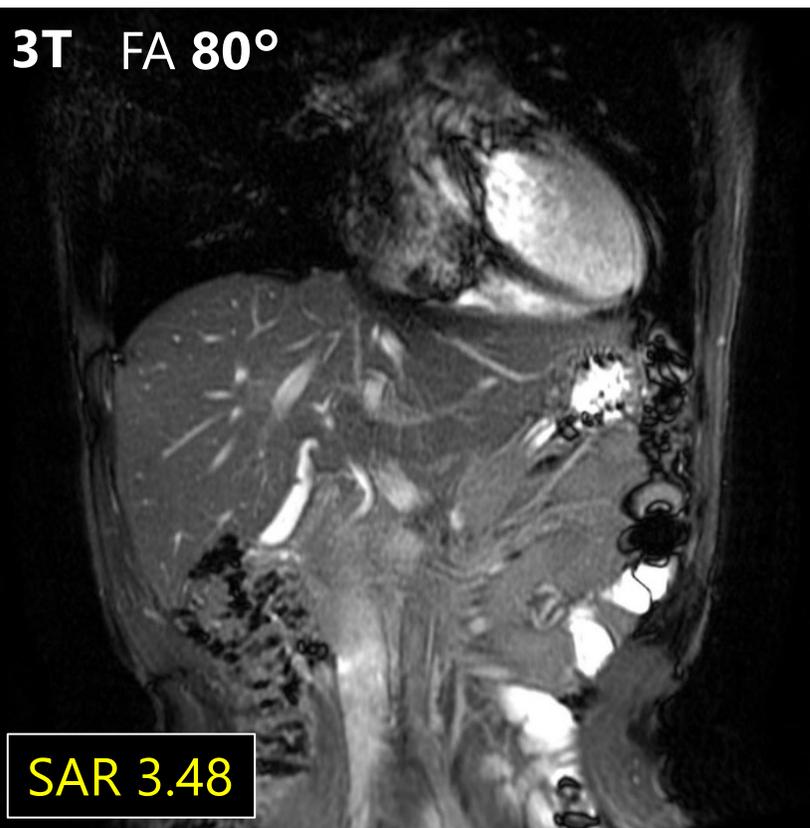


リアルタイムモニタだとSARは変わるかも？

## FIESTA (2D)

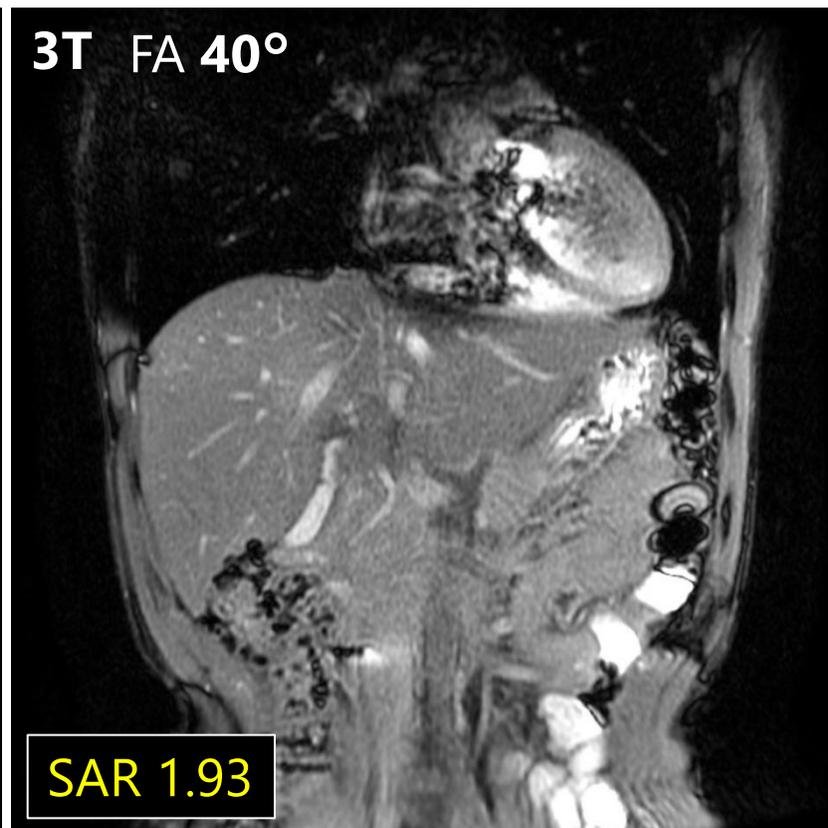
- 3Tでは、SARを低減しつつ同等の画質を得る事は困難。
- どうしても必要な場合は1.5Tで施行することを考慮。

3T FA 80°



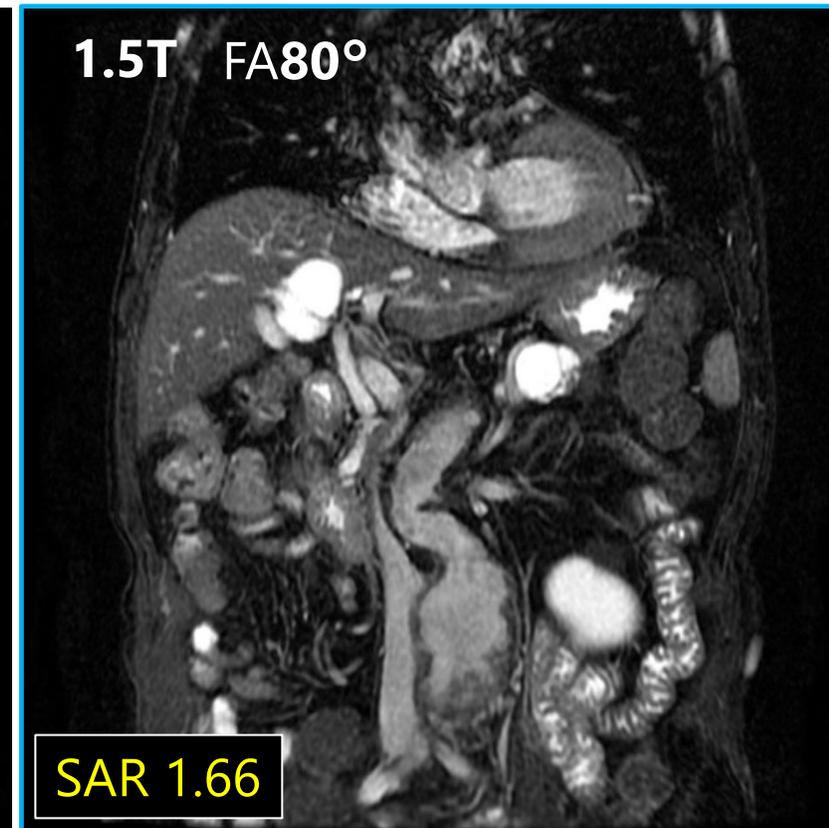
SAR 3.48

3T FA 40°



SAR 1.93

1.5T FA 80°



SAR 1.66

## まとめ

### MR Conditionalデバイス検査のポイント

- ✓ 使用装置が操作モードおよびSAR・B1+rmsをどのように管理できるかを理解する
- ✓ SAR・B1+rmsの値が大きいSequenceを把握する
- ✓ SAR・B1+rms、撮像条件、画質の関係を理解する
- ✓ 可能な範囲で制限のない場合と同等の検査を目指す
- ✓ 腹部の検査は可能であれば1.5Tで実施できると良い