

企画 1

今からでも大丈夫！！

「パルスシーケンス」

パルスシーケンス と 画像コントラスト



● 公立大学法人

横浜市立大学附属 市民総合医療センター 放射線部

出川 輝浩

Agenda



Pulse Sequence Diagram

Spin Echo法のPSD

Spin Echo法のコントラスト

一手間加えたコントラスト

Pulse Sequence Diagram

Pulse Sequence Diagramって何？

Diagram: 路線図、図表、一覧図

♪ オーケストラの楽譜(Musical Score)みたいなもの



très expressif

pp Fl. solo

Ob. 2^o

VI. II

pp

pp Cl. o

Hr. 1^o (bouché)

The image shows a musical score for a symphony orchestra. It features four staves: Flute solo (Fl. solo), Oboe 2nd (Ob. 2^o), Violin II (VI. II), and Clarinet o (Cl. o). The music is marked *très expressif* and *pp* (pianissimo). The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings. The Flute solo part has a long melodic line with a slur. The Oboe 2nd part has a long note with a slur. The Violin II part has a long note with a slur. The Clarinet o part has a long note with a slur. The Horn 1st part (Hr. 1^o (bouché)) has a long note with a slur.

Pulse Sequence Diagramって何？

MRの場合は、主役が5人

Radio **F**requency pulse(ラジオ波) : 90°パルス、180°パルス担当

Gslice select : 傾斜磁場 スライス位置担当

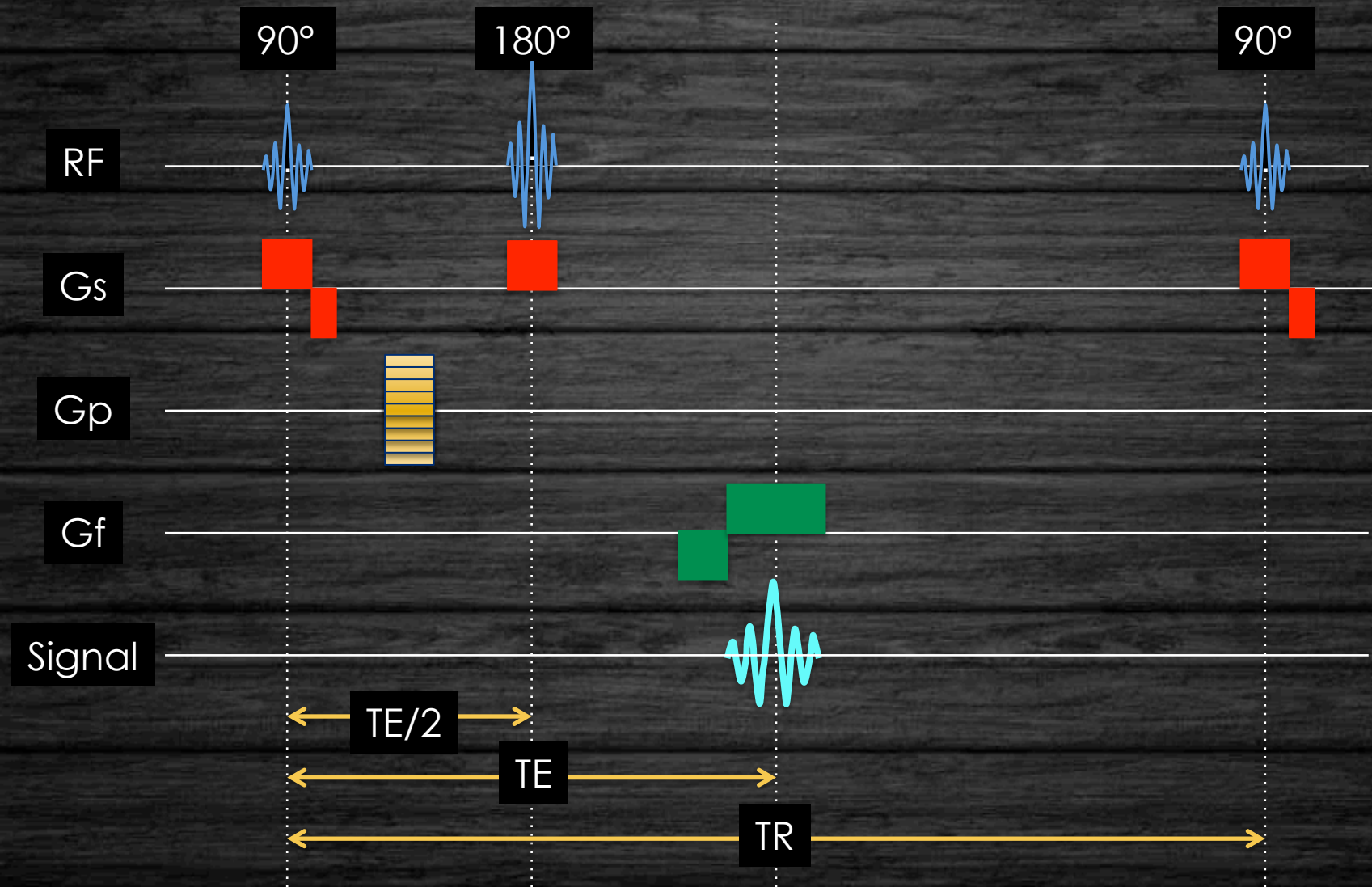
Gphase encode : 傾斜磁場 位相変換担当

Gfrequency encode : 傾斜磁場 周波数変換担当

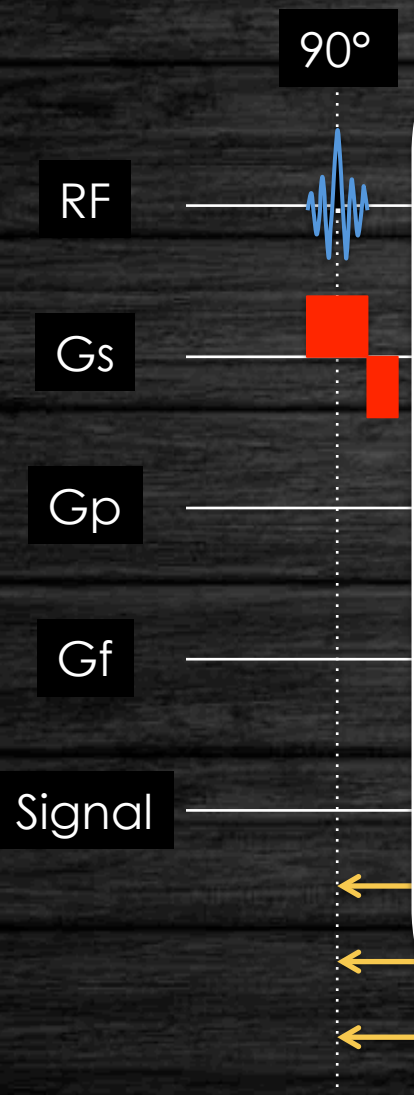
Signal (MR信号) : Free Induction Decay , Gradient Recalled Echo ,
Spin Echo , Stimulated Echo エコー担当

PSD of Spin Echo sequences

P_{ulse} S_{equences} D_{iagram} of Spin Echo method



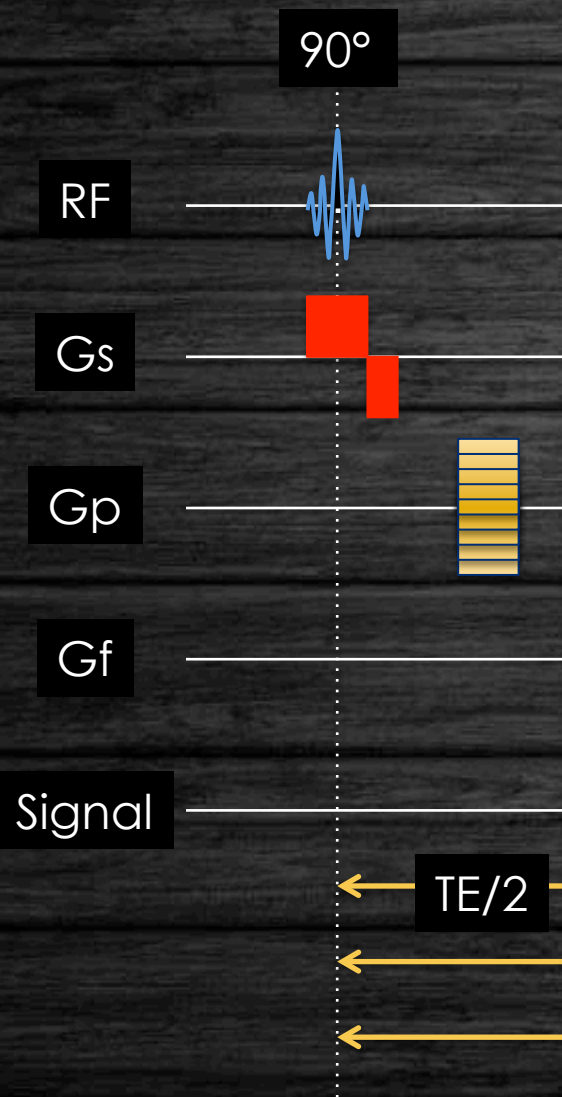
PSD of SE



最初に
90°パルスを印加して、
プロトンを励起して信号を取り出す

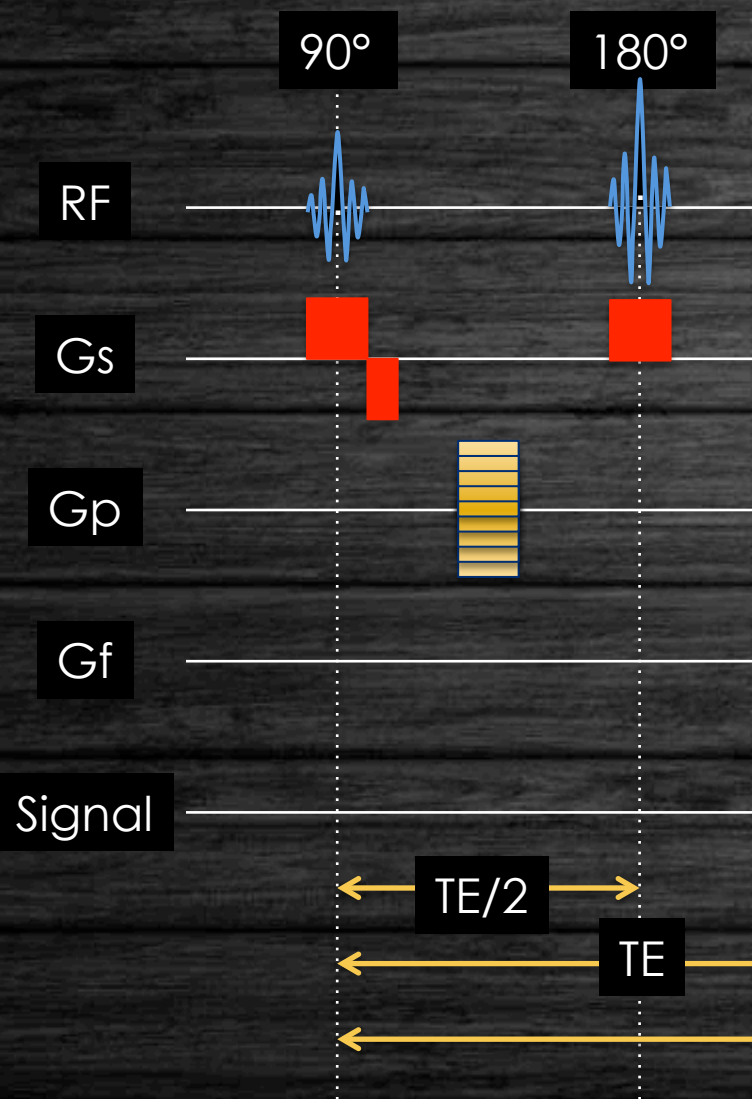
同時に、
2D画像のスライス位置を決めるために
傾斜磁場 G_s を印加する。

PSD of SE



次に
スライス面内の信号を振り分ける
傾斜磁場 G_p の磁場勾配強度を変えて、
何度も何度も振り分ける。

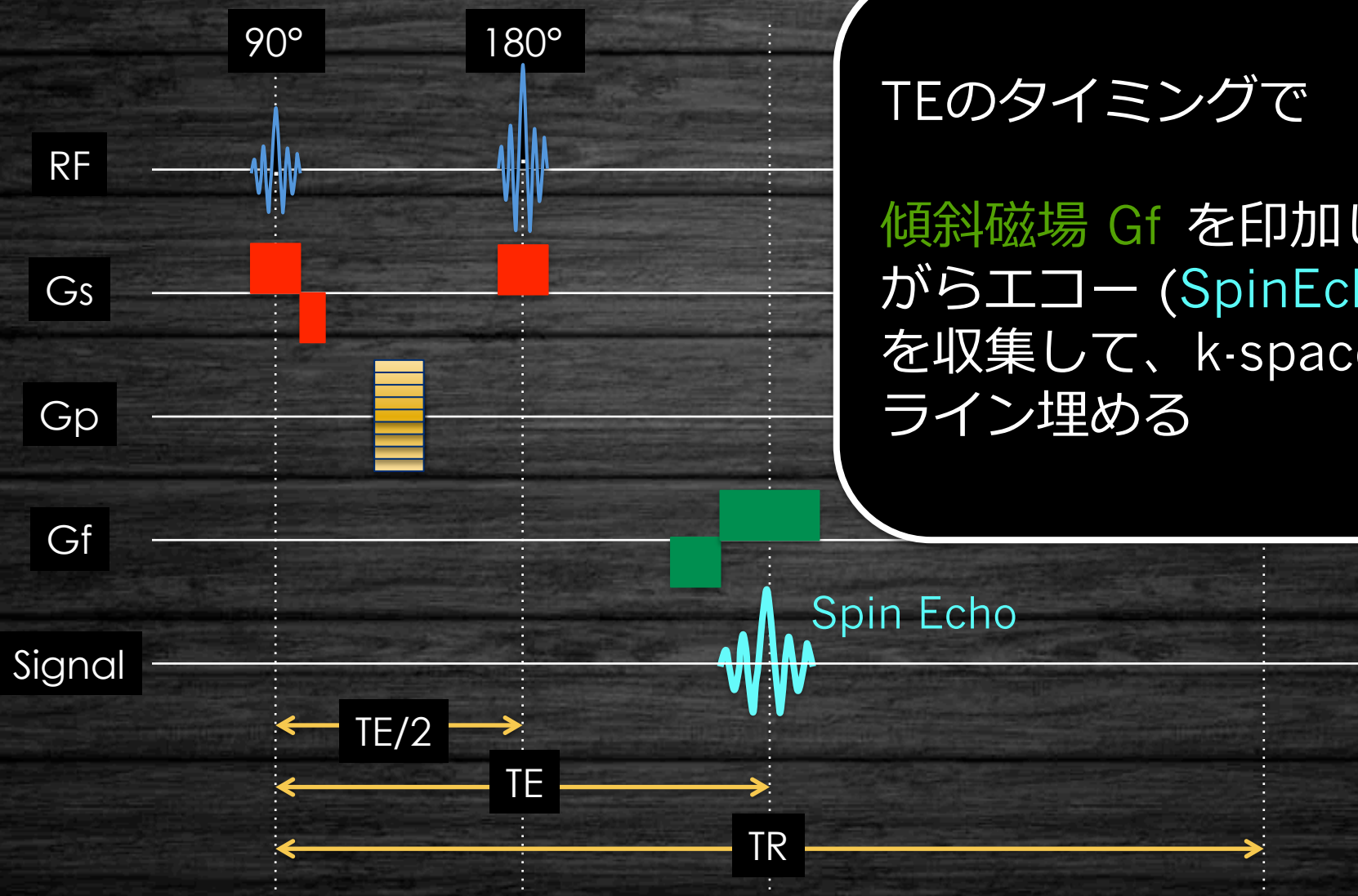
PSD of SE



TE/2のタイミングで
180°パルスを印加

- ・ スピンを180°倒し 時間的に変動しない磁場の不均一性を相殺
- ・ k-space上で計測位置を原点中心に180°回転させる

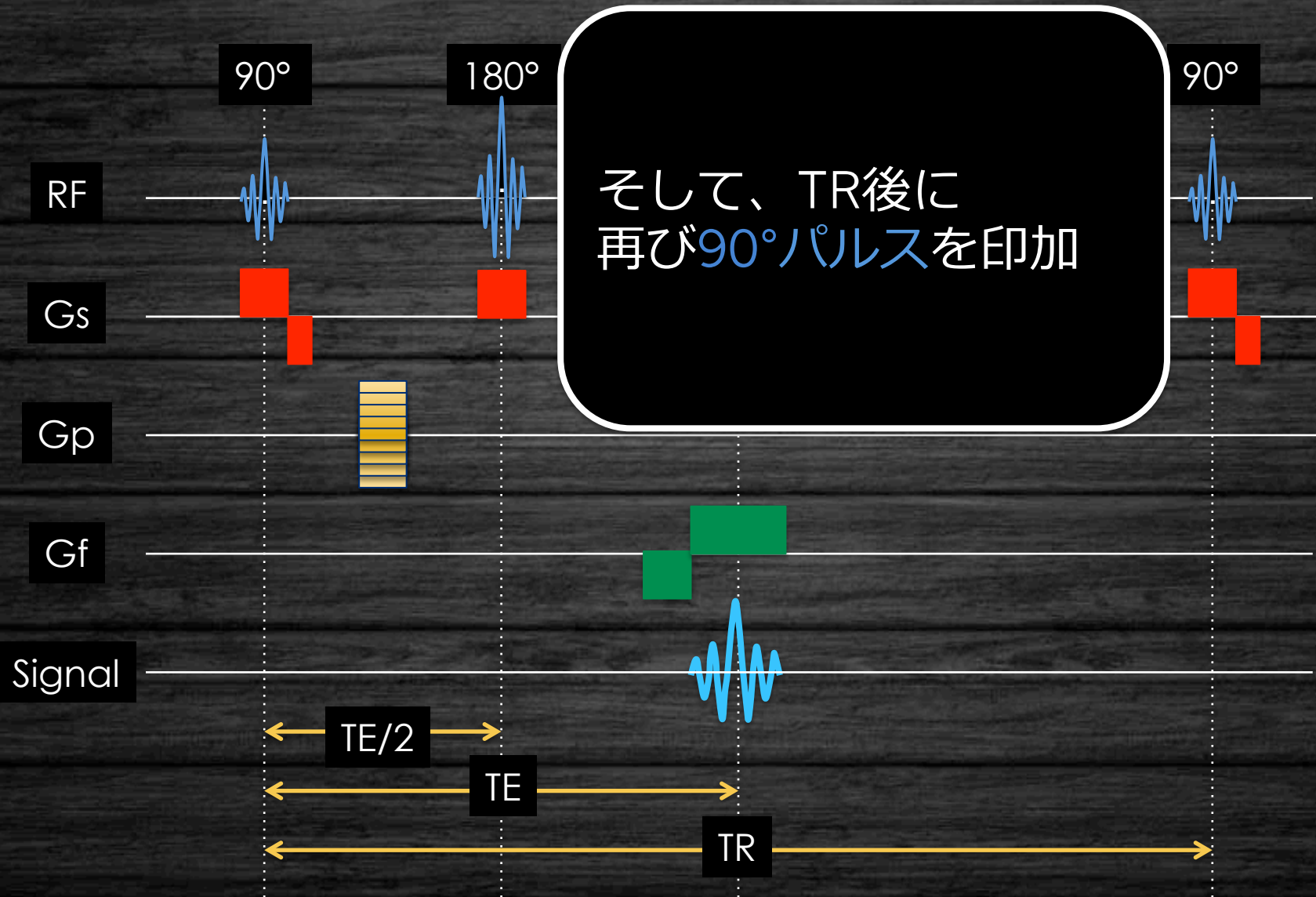
PSD of SE



TEのタイミングで

傾斜磁場 G_f を印加しながらエコー (Spin Echo) を収集して、k-spaceを1ライン埋める

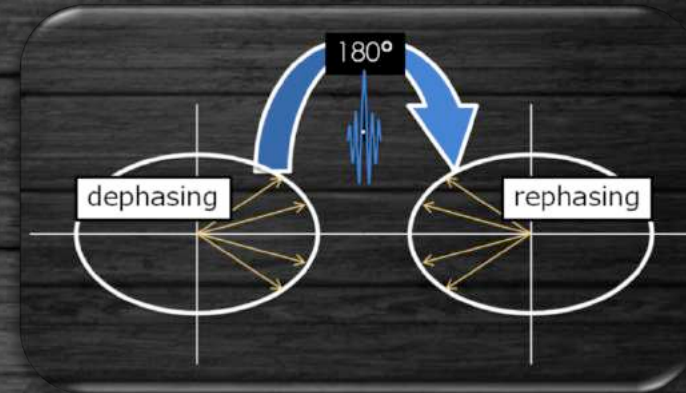
PSD of SE



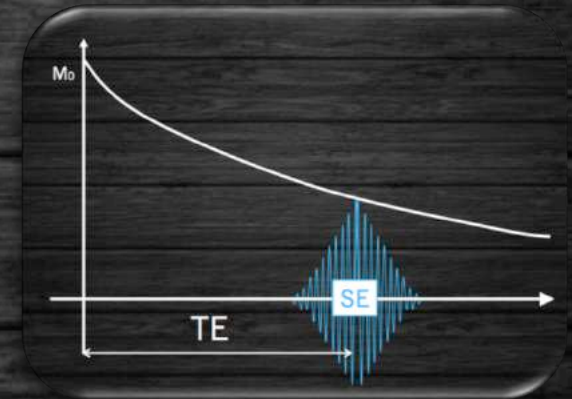
Contrast of Spin Echo sequences

Spin Echo Sequenceの特徴

☑ 時間的に変動しない
磁場の不均一を排除



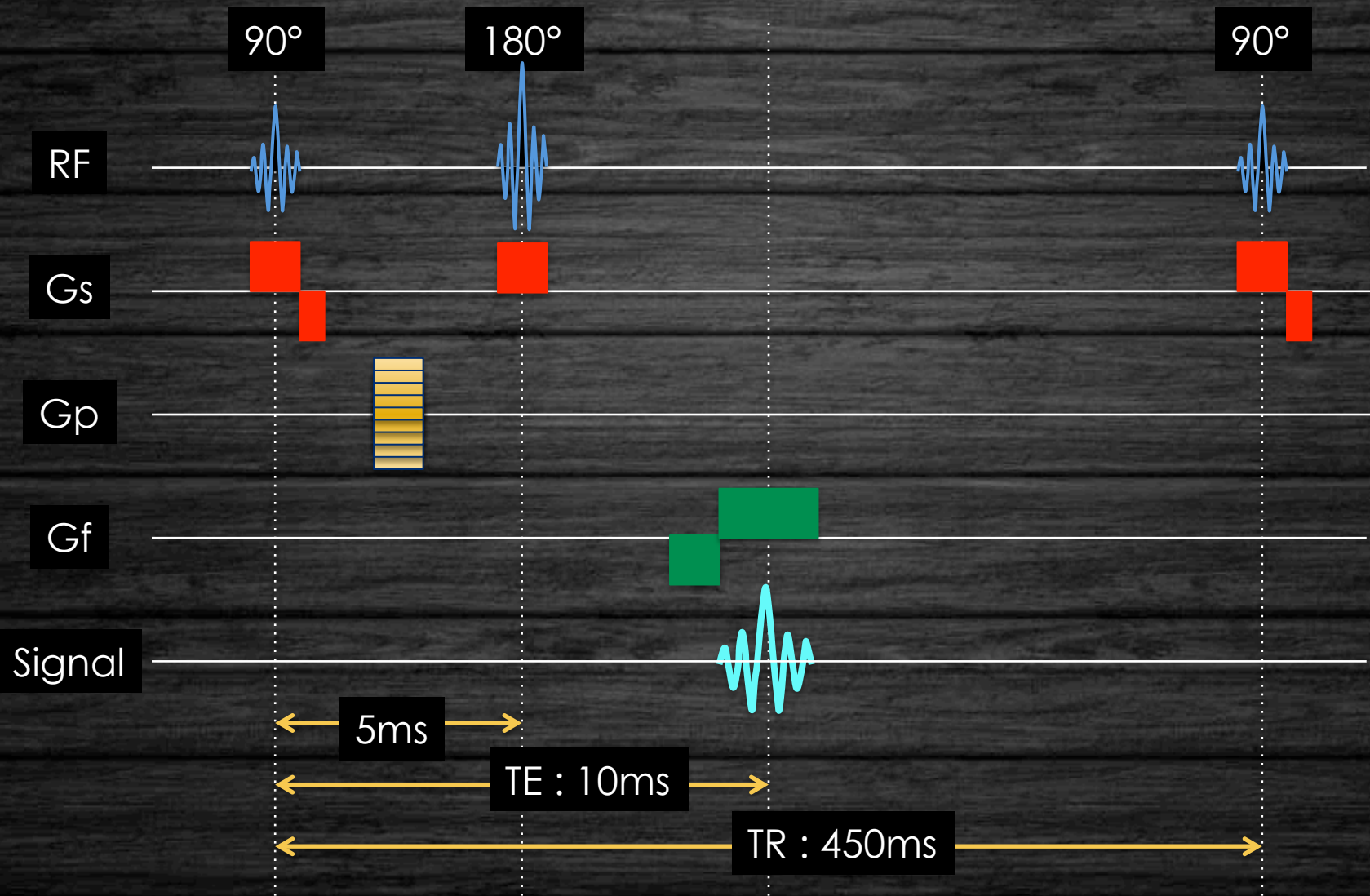
☑ 同じTEのSEを取得するため、
SNRが高く、画像が綺麗



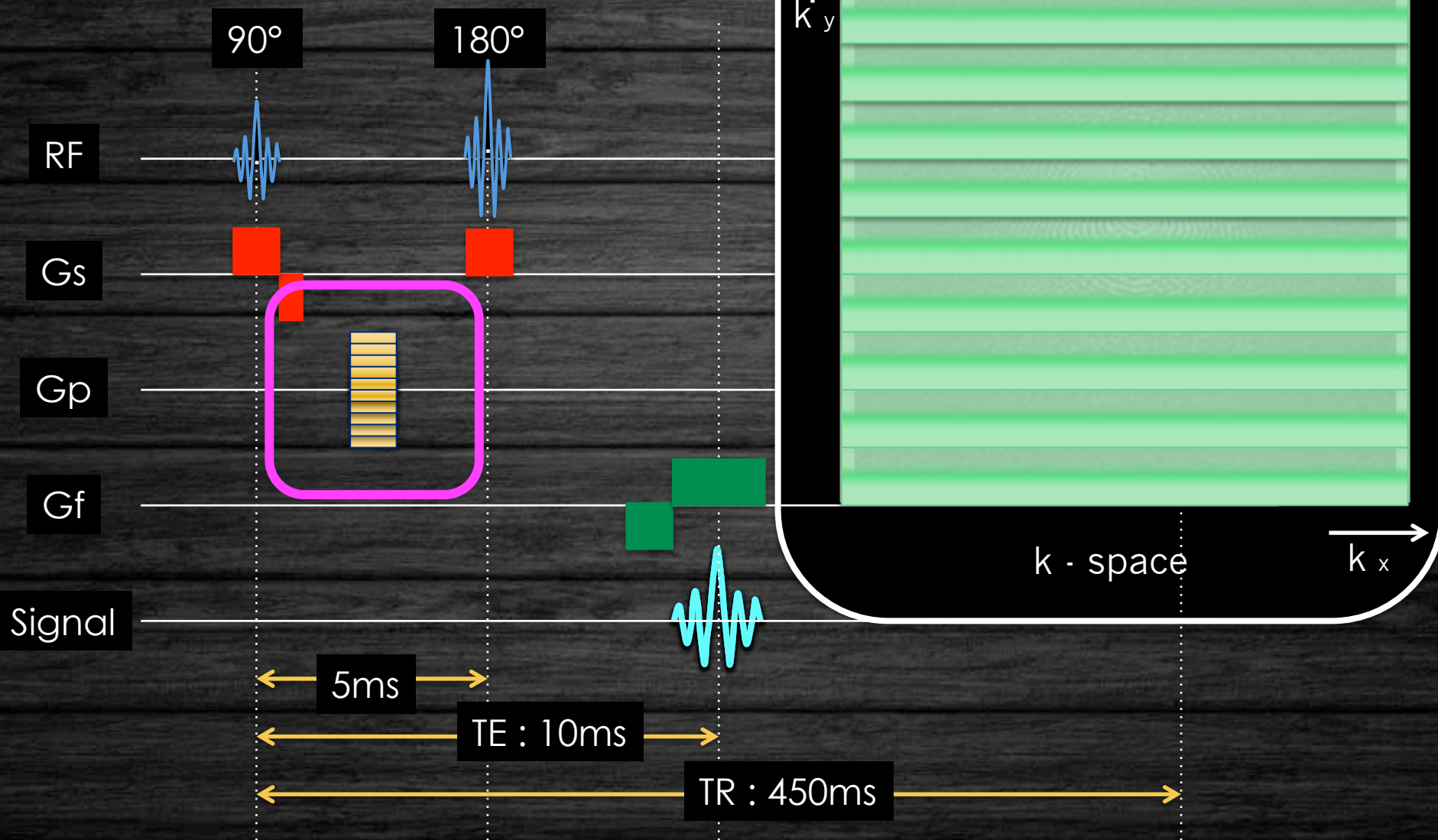
☑ 撮像時間が長い

- FSEはETLが存在
- GREはTRが短い

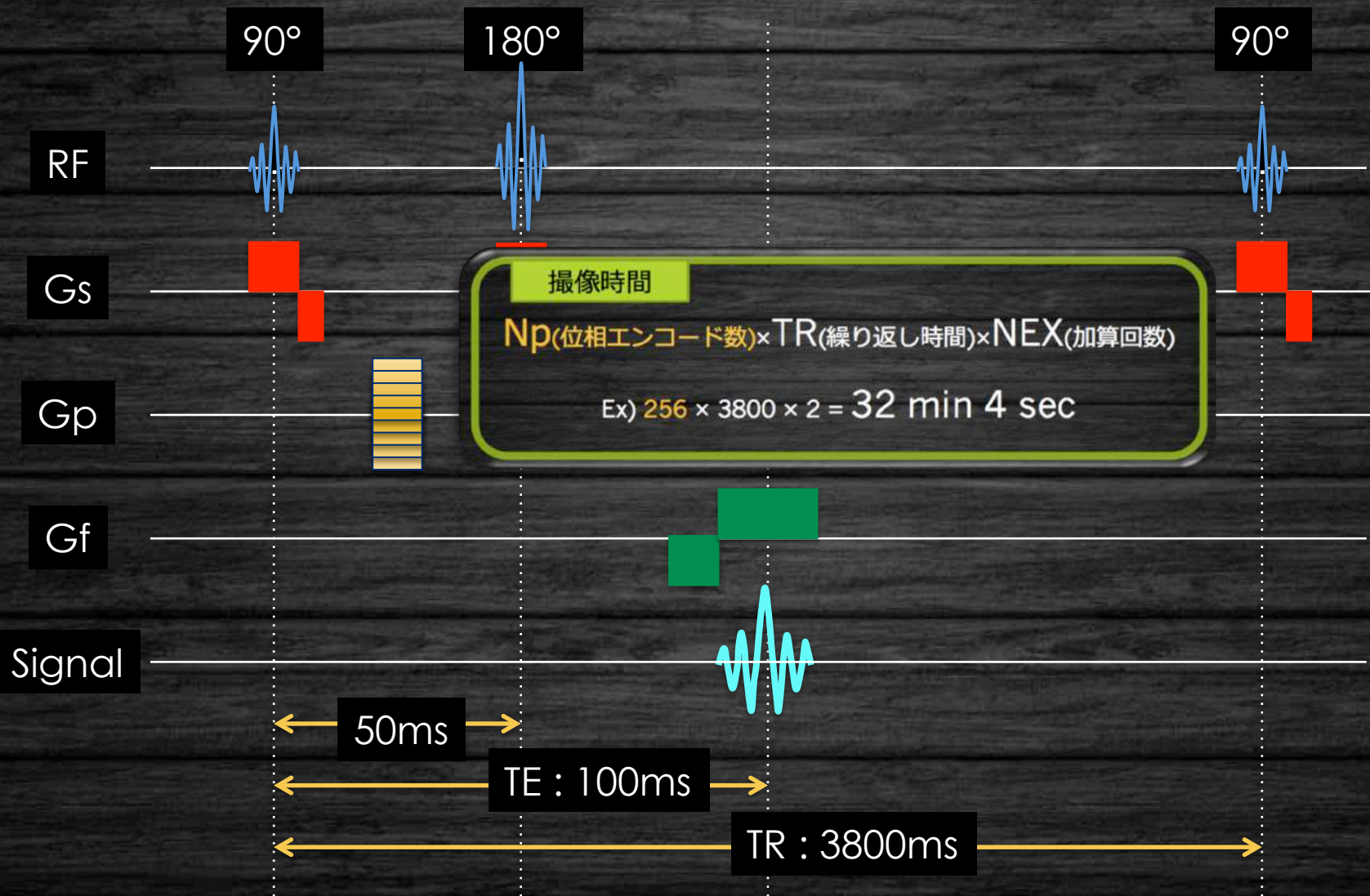
T1WI@SE - PSD



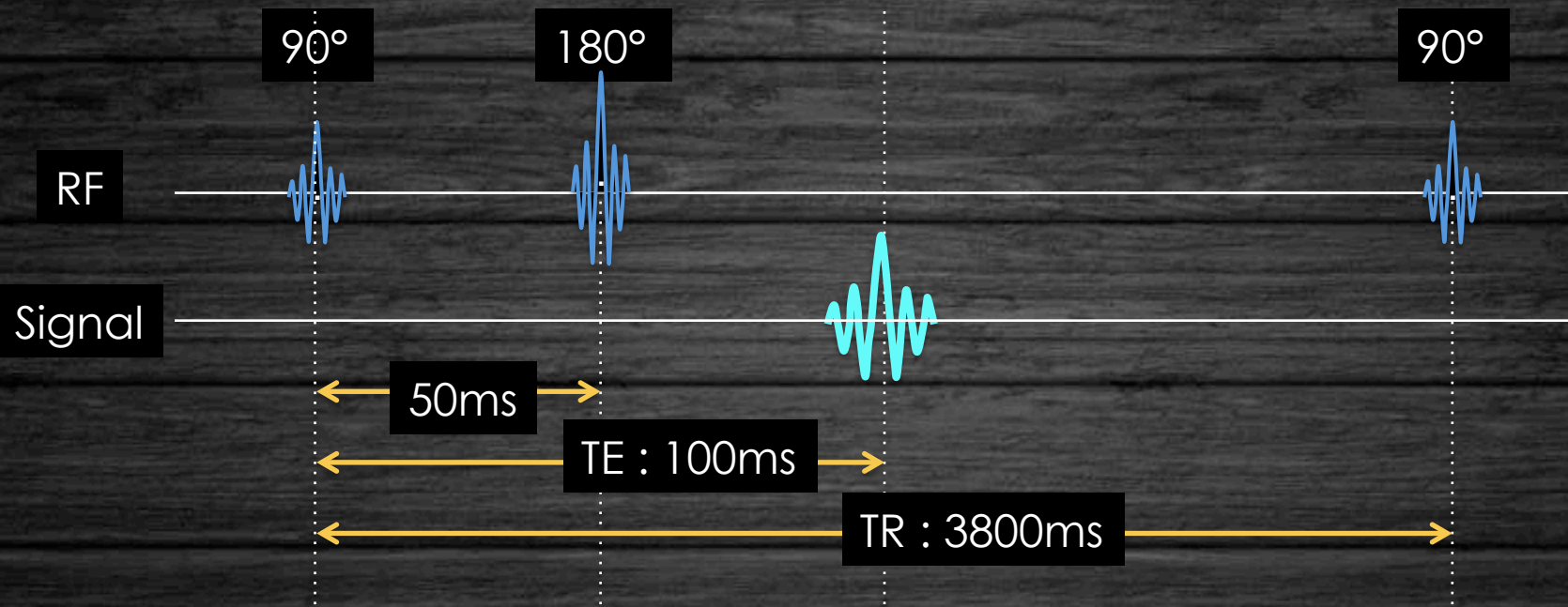
T1WI@SE



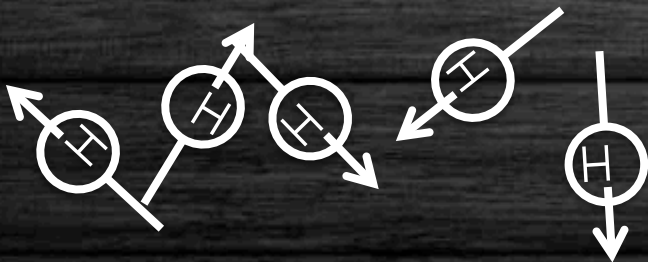
T2WI@SE



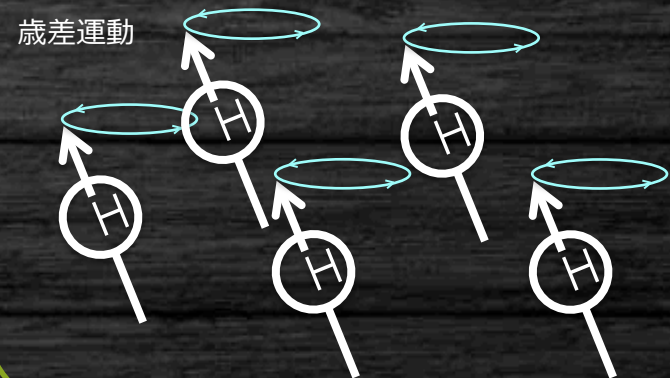
緩和過程 (T2WI@SE)



通常のスピン状態

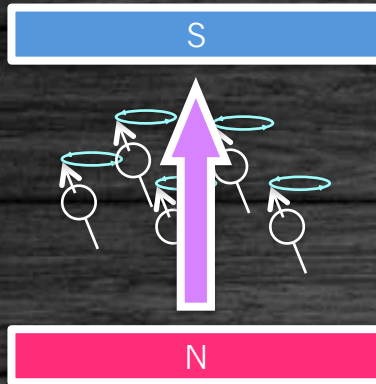


静磁場中に置くと



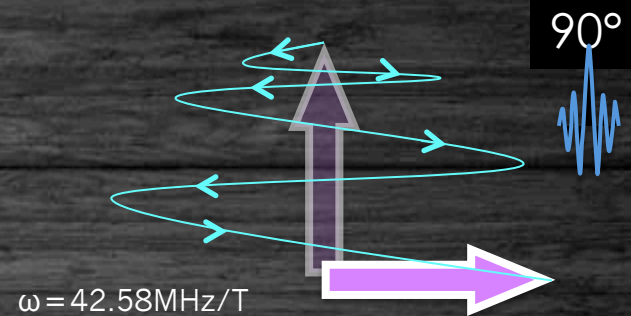
緩和過程

巨視的磁化ベクトル



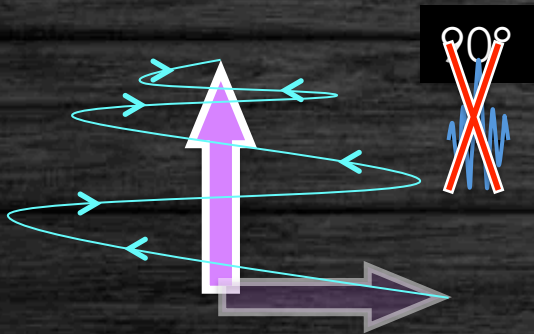
磁化ベクトルが元の状態
に戻っていく過程

RF(90°)パルス

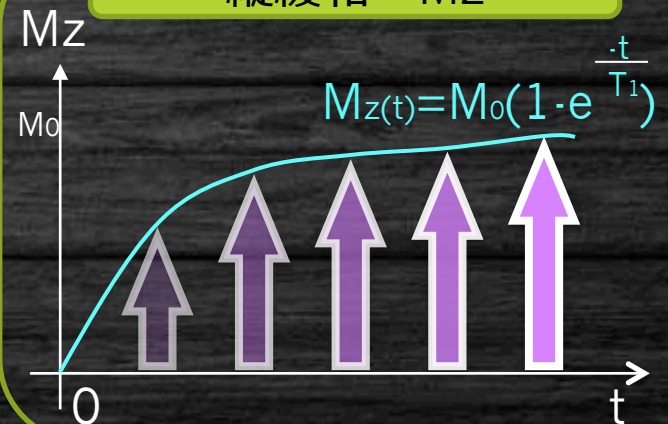


スピン-格子緩和、
T1緩和

緩和



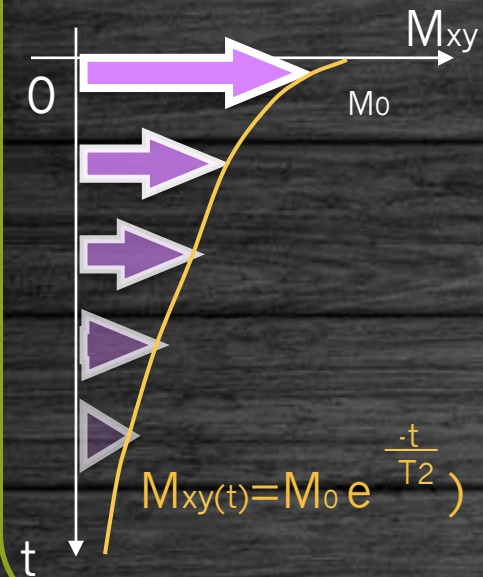
縦緩和 Mz



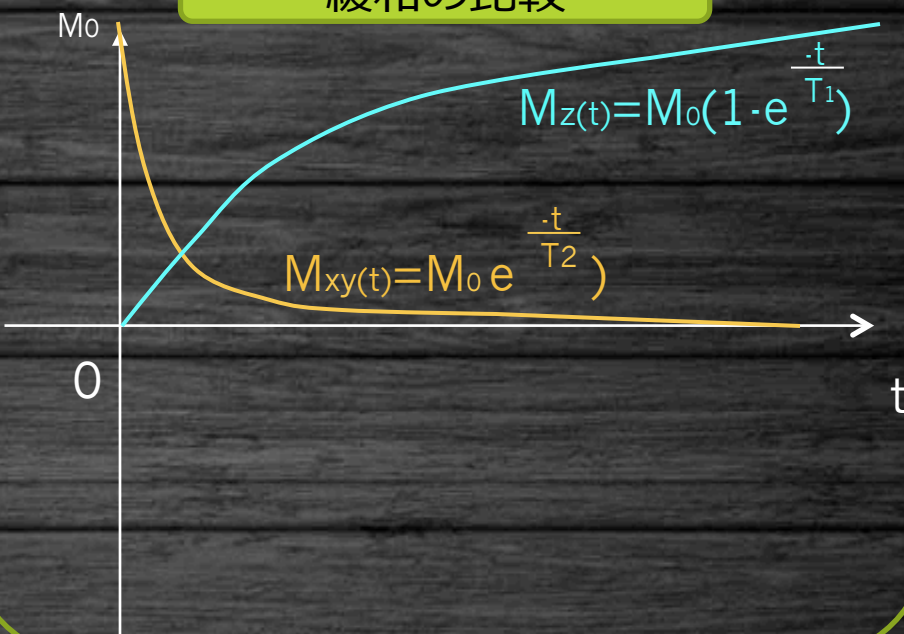
横緩和 M_{xy}

スピン
-スピン緩和

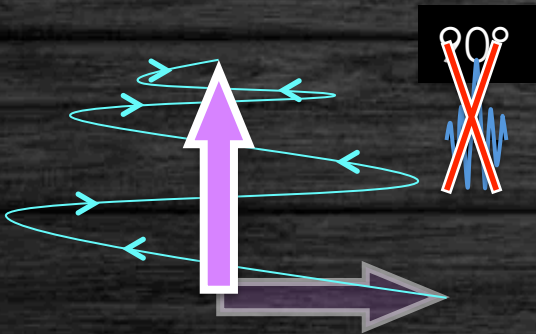
T2緩和



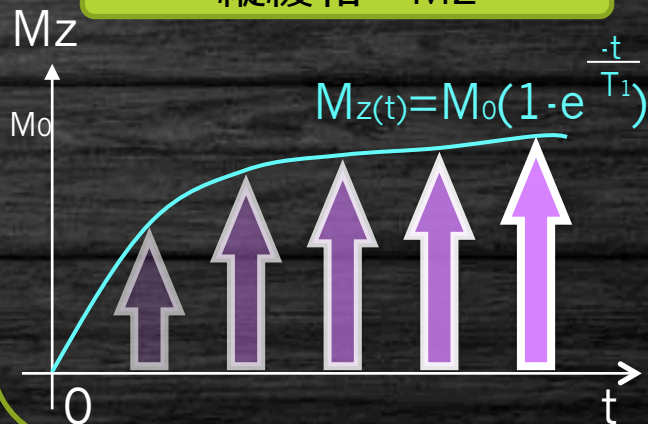
緩和の比較



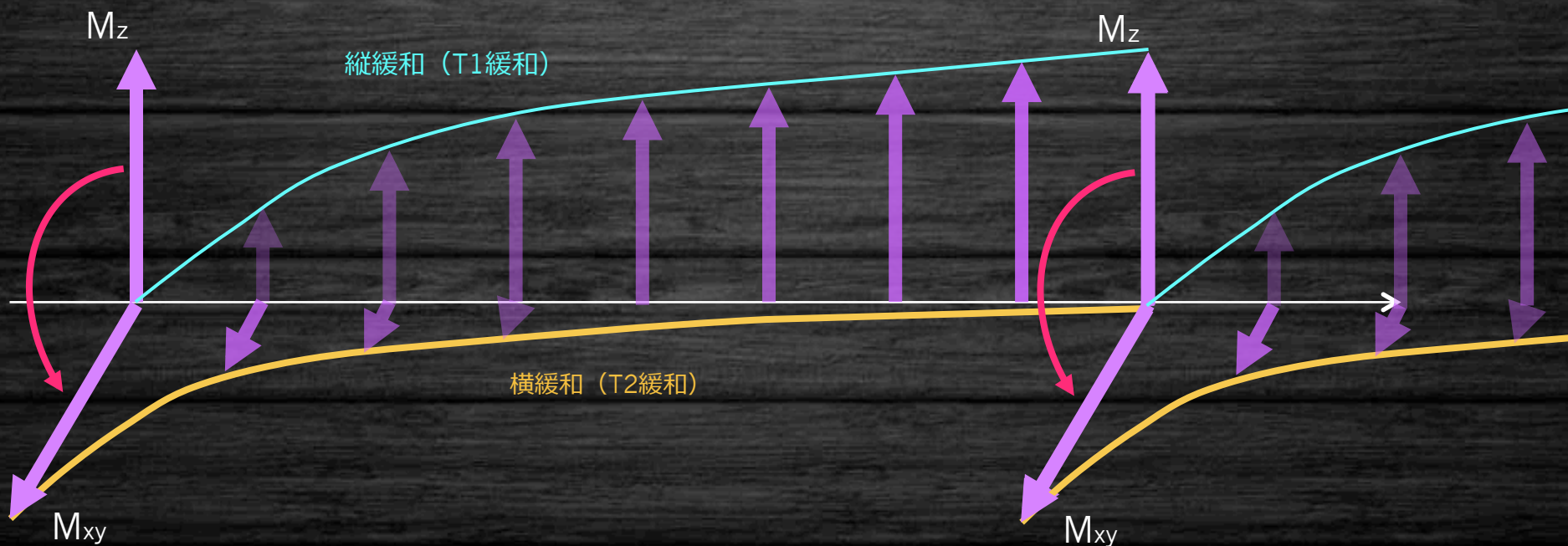
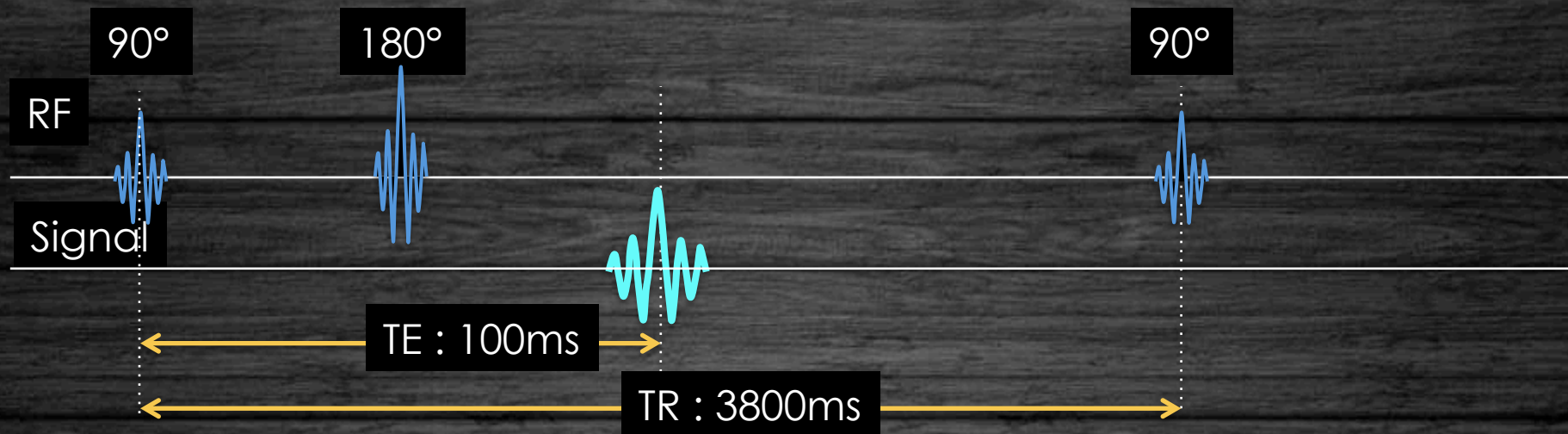
緩和



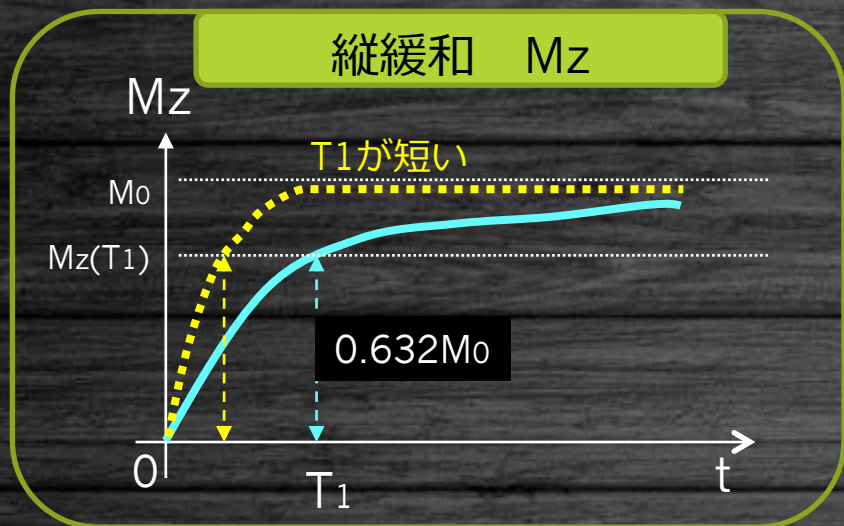
縦緩和 M_z



縦緩和と横緩和 (T2WI@SE)

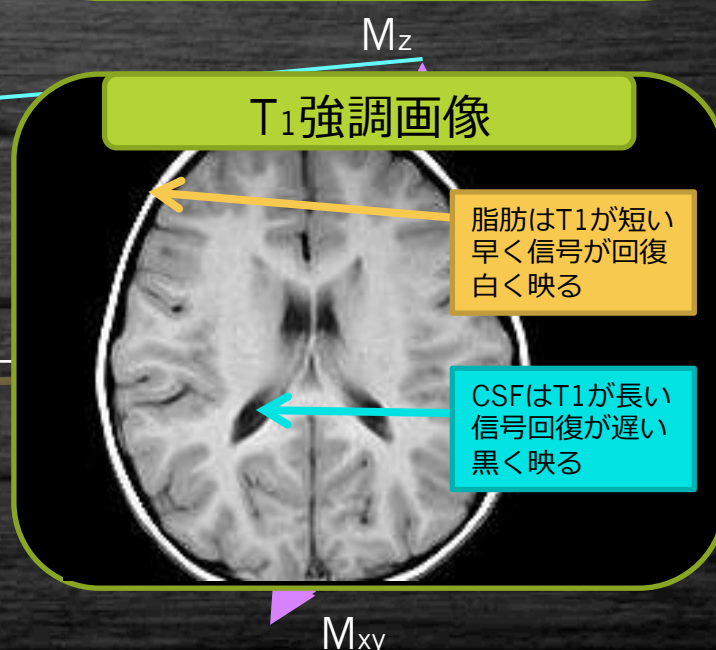
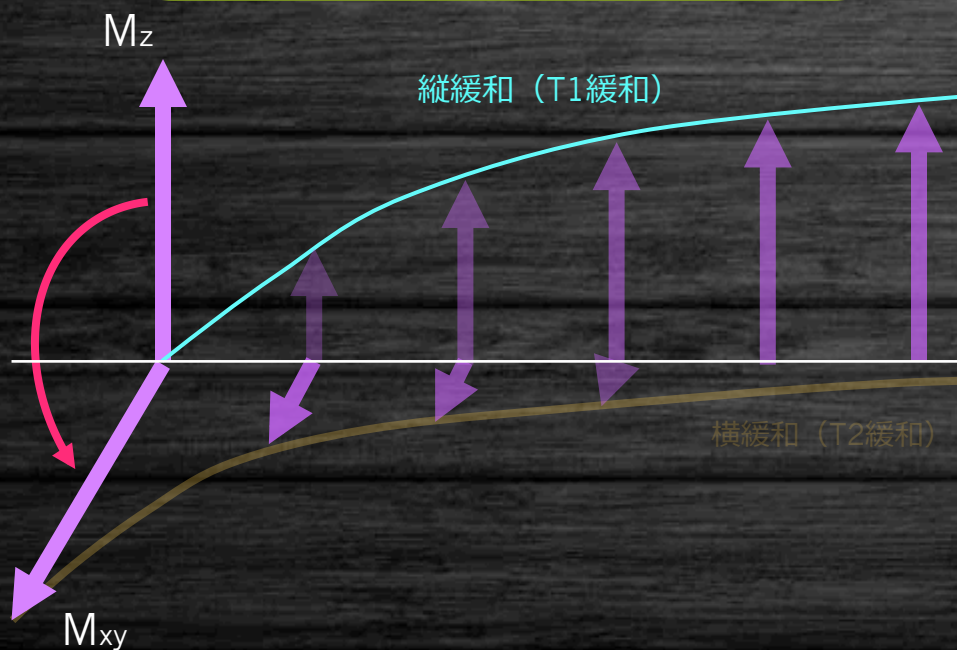


T₁=M_zが63.2%まで回復する時間

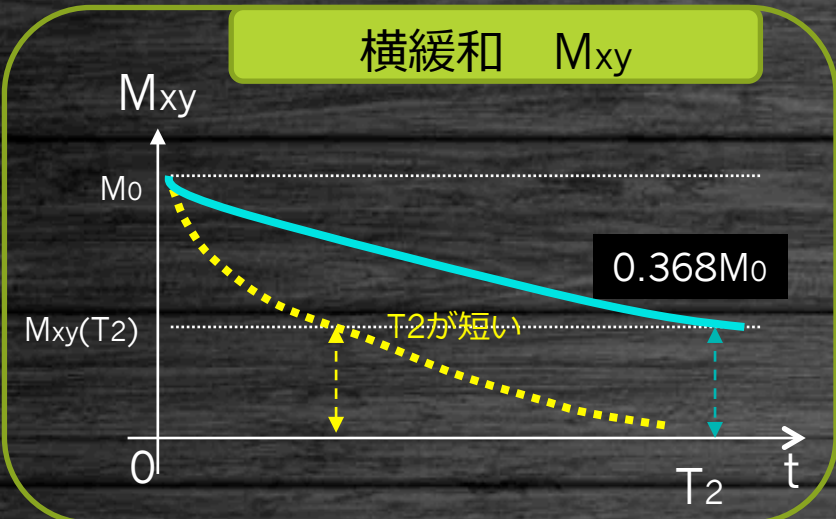


T₁(ms) [1.5T]

脂肪	260
白質	790
灰白質	920
CSF	> 3000

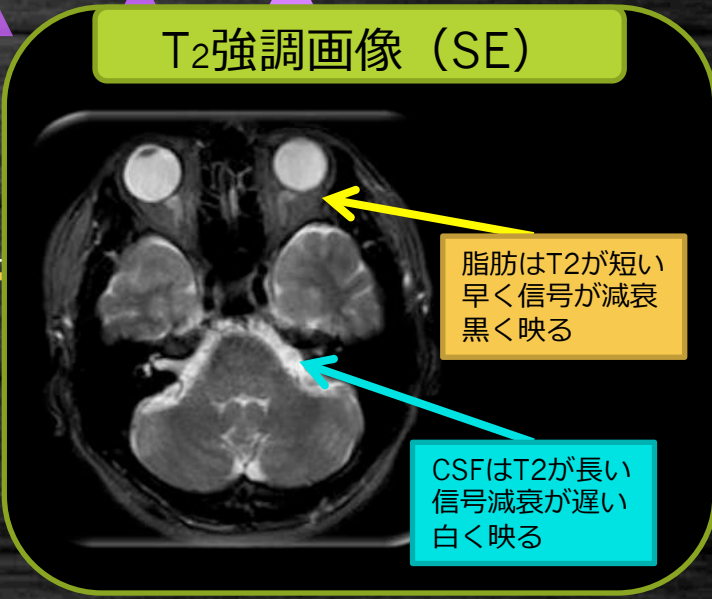
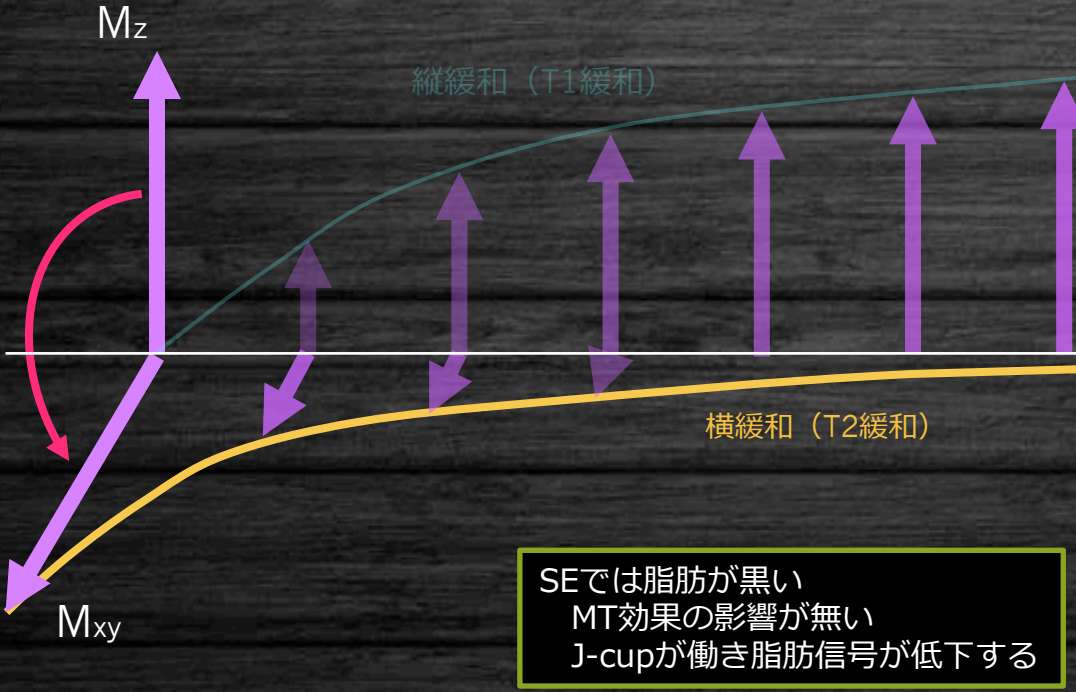


T₂=M_{xy}が36.8%まで減衰する時間



T₂(ms) [1.5T]

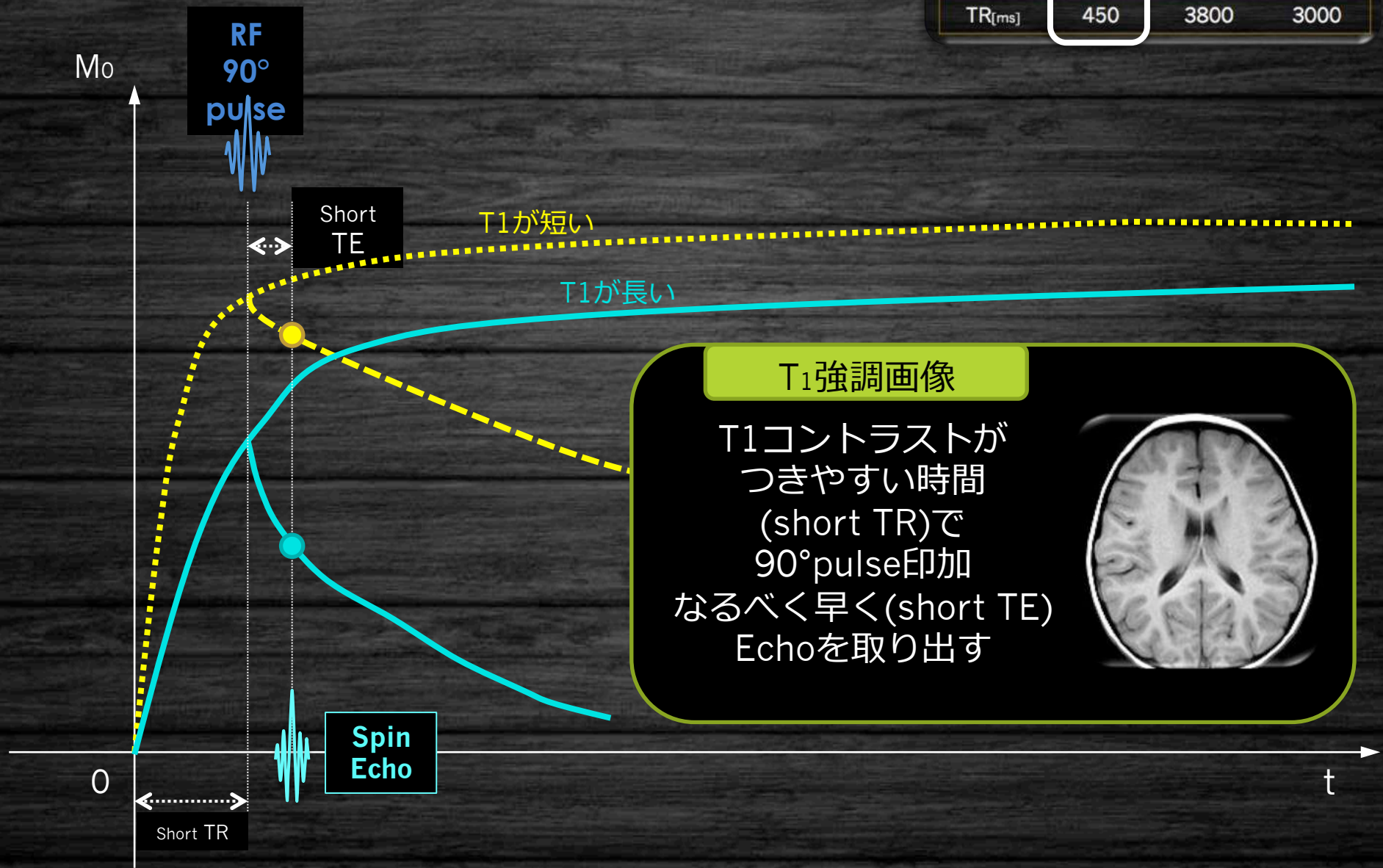
脂肪	84
白質	92
灰白質	100
CSF	>2000



SEでは脂肪が黒い
MT効果の影響が無い
J-cupが働き脂肪信号が低下する

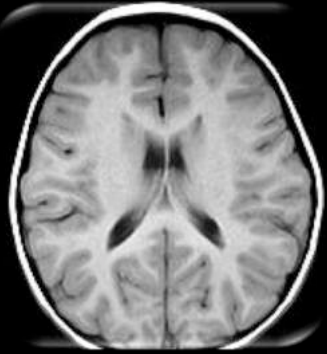
縦緩和と横緩和は同時に起る

	T1WI	T2WI	PDWI
TE _[ms]	10	100	20
TR _[ms]	450	3800	3000



T₁強調画像

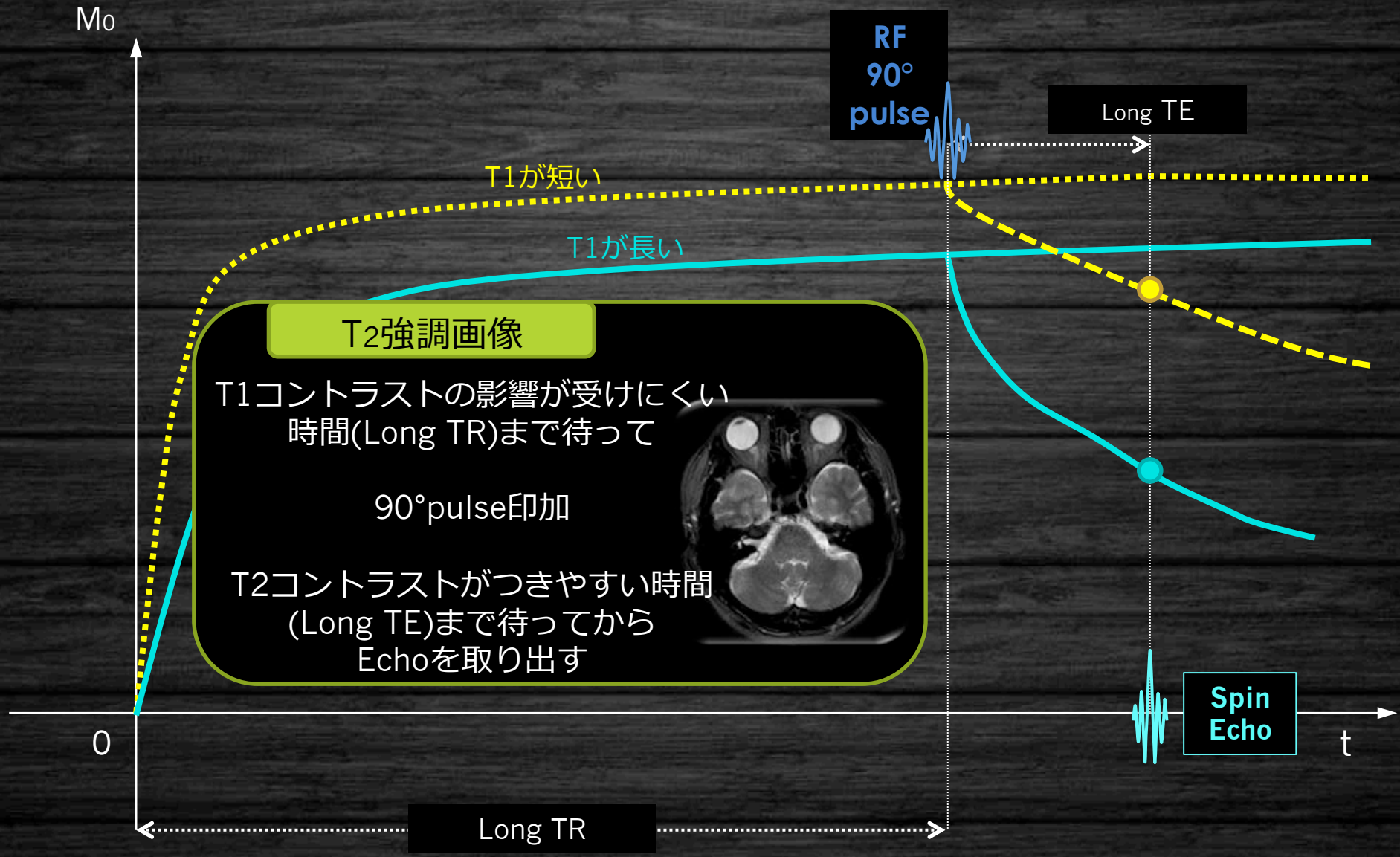
T₁コントラストが
つきやすい時間
(short TR)で
90°pulse印加
なるべく早く(short TE)
Echoを取り出す



縦緩和

と横緩和は同時に起る

	T1WI	T2WI	PDWI
TE _[ms]	10	100	20
TR _[ms]	450	3800	3000

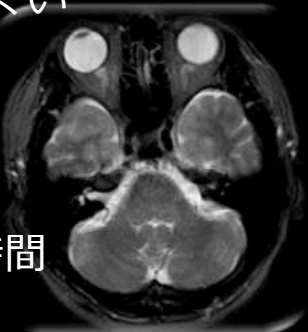


T2強調画像

T1コントラストの影響が受けにくい
時間(Long TR)まで待って

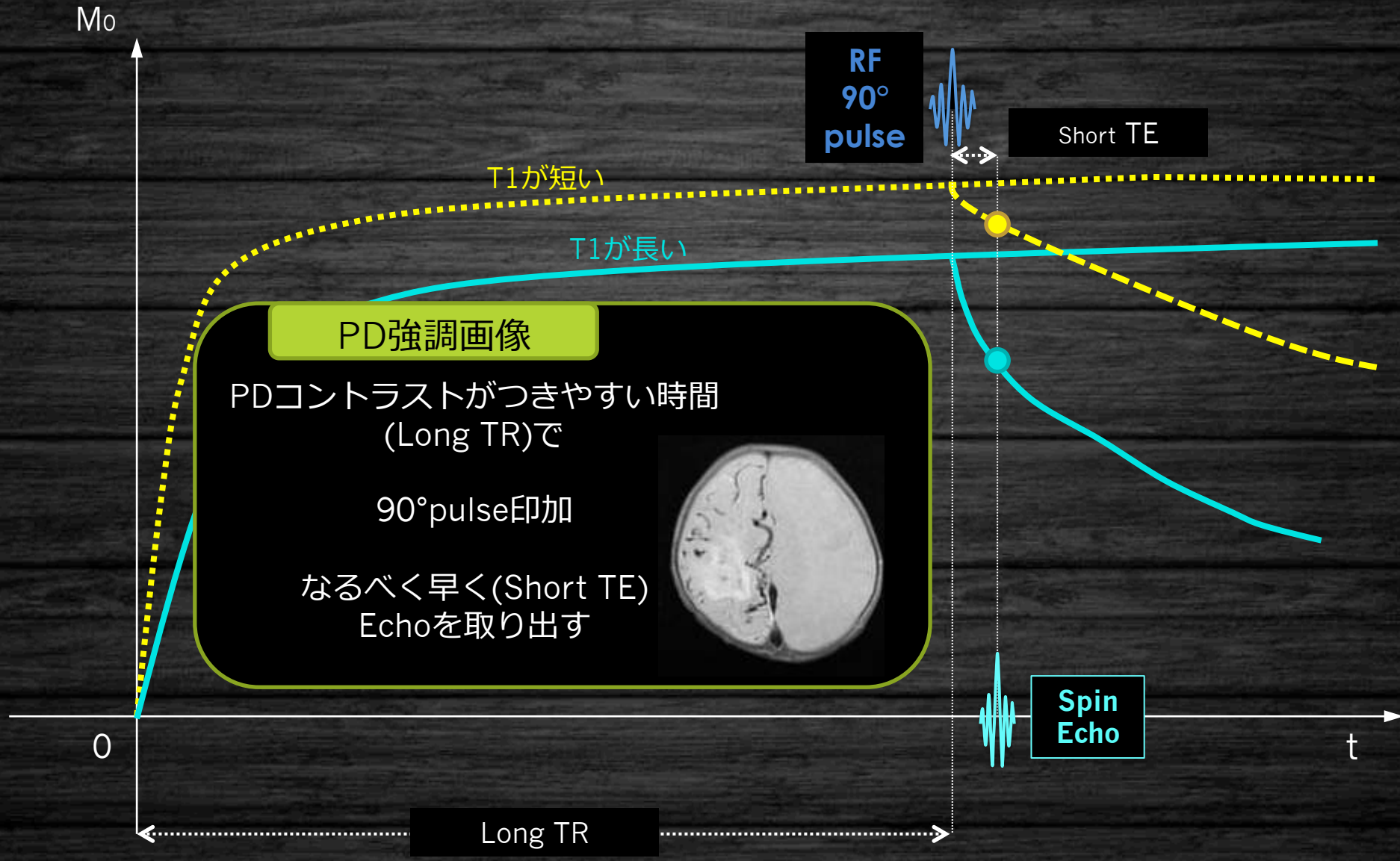
90°pulse印加

T2コントラストがつきやすい時間
(Long TE)まで待ってから
Echoを取り出す



縦緩和と横緩和は同時に起る

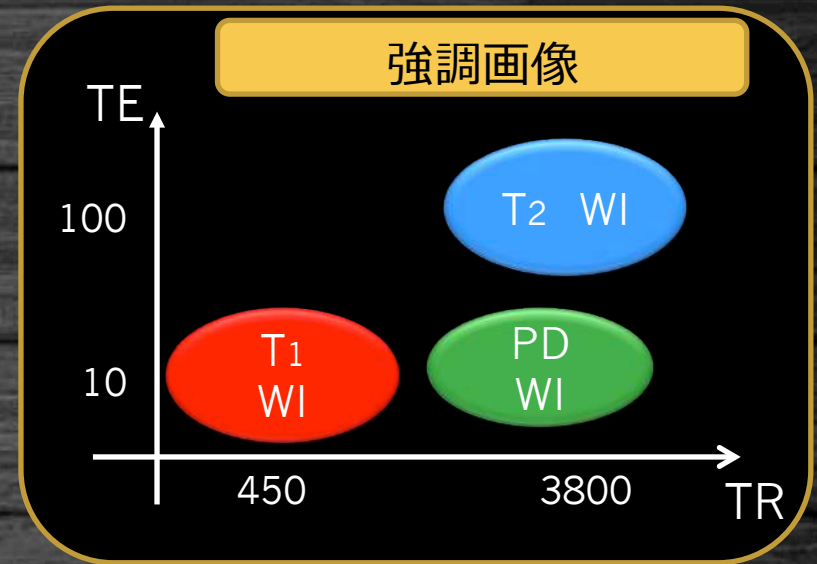
	T1WI	T2WI	PDWI
TE _[ms]	10	100	20
TR _[ms]	450	3800	3000



簡単にマトメルと

Spin Echo法のコントラストは、

TRと**TE**を調整する事により、
強調画像を造りだす！！



TR→∞のとき

TE→0のとき

$$M \propto PD \times \left(1 - e^{-\frac{TR}{T_1}}\right) \times e^{-\frac{TE}{T_2}}$$

1

1

Arranging the contrast

FR-FSE RESTORE

水を無理やり白くする

○ FR-FSE(Fast Recovery FSE) , RESTORE

T2WIはLong TR

これは、縦磁化が完全に回復する事で、
T1の影響を少なくするため

撮像時間

$Np(\text{位相エンコード数}) \times TR(\text{繰り返し時間}) \times NEX(\text{加算回数})$

Ex) $256 \times 3800 \times 2 = 32 \text{ min } 4 \text{ sec}$



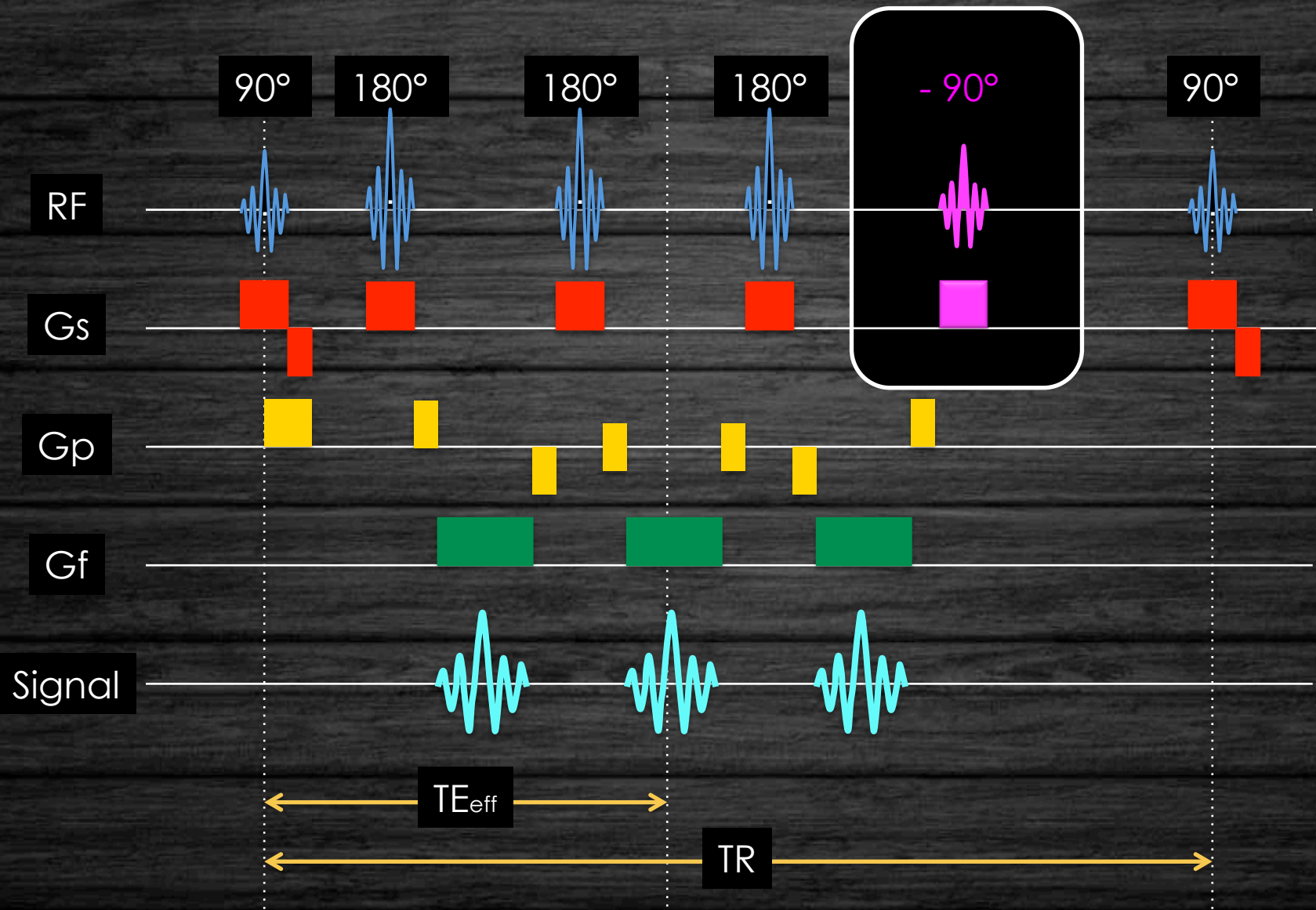
RESTOREパルスで

“強制的に横磁化を縦磁化に戻す”

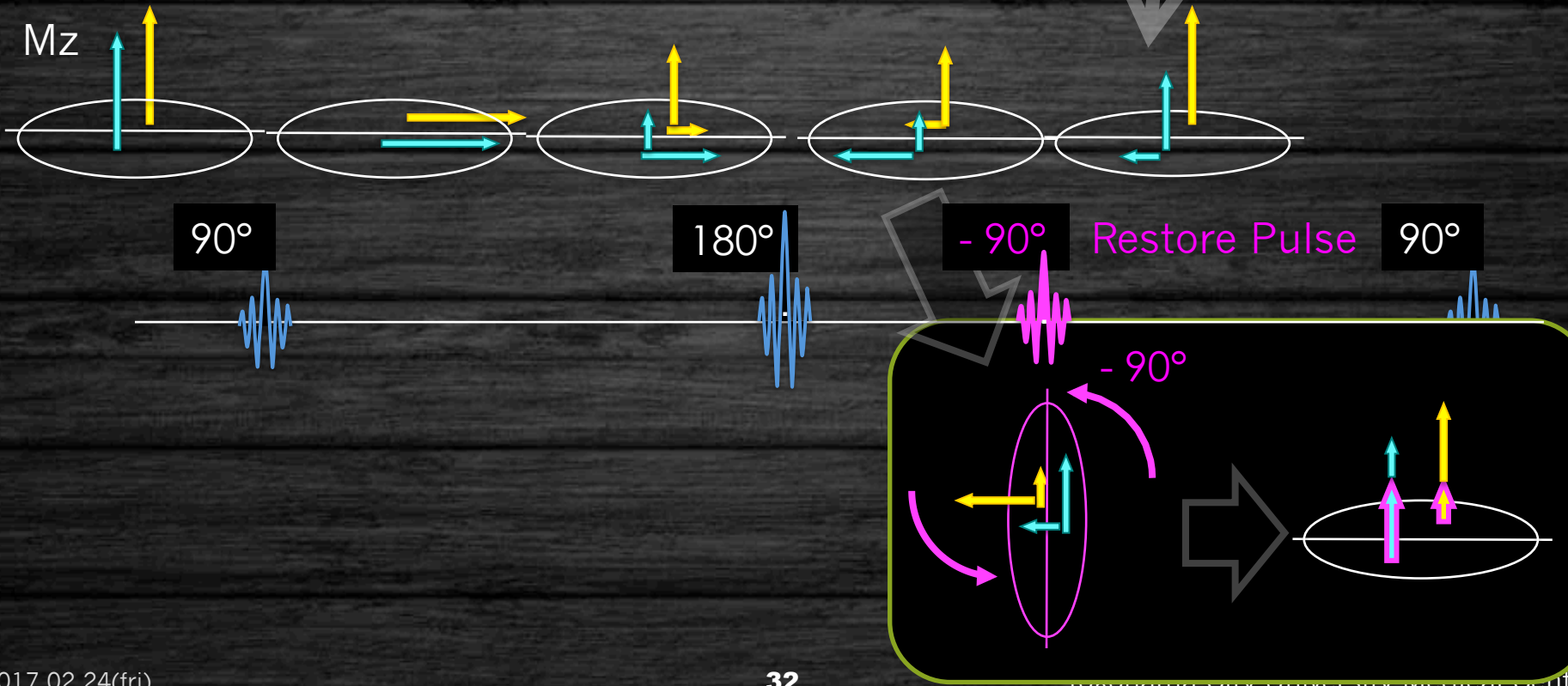
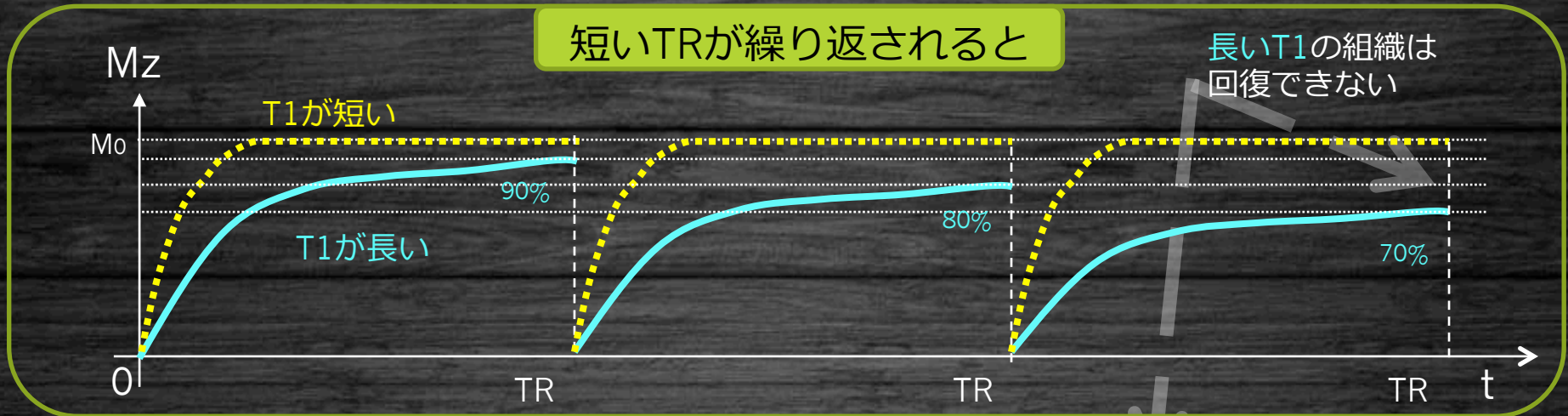
→TRを短縮しても、水が白い

→撮像時間が短くなる

TSE with RESTORE PSD



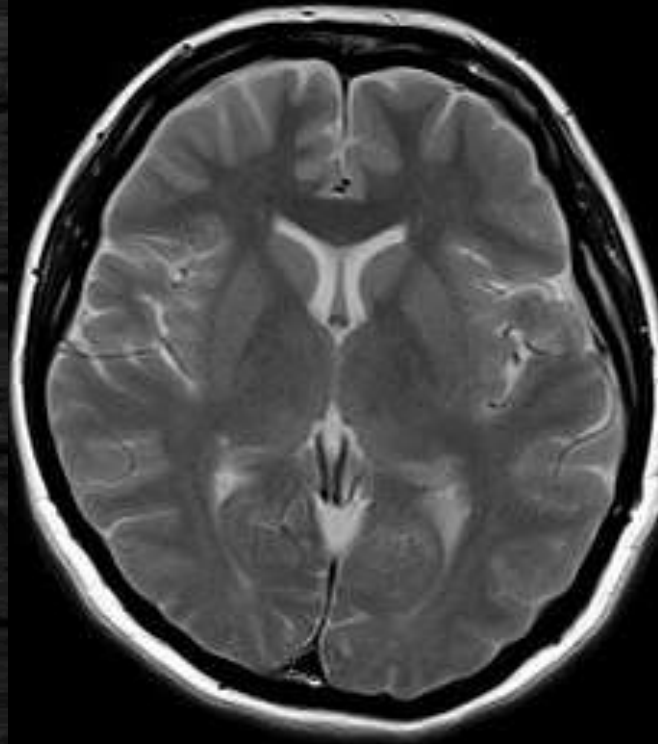
TRと縦磁化量の関係



水を無理やり白くする

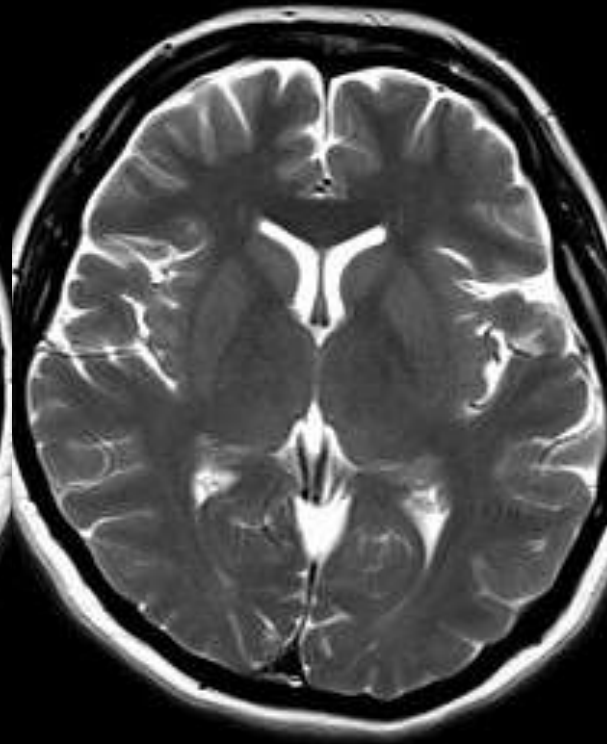
○ FR-FSE (Fast Recovery FSE) , RESTORE

TR 2000_{ms}



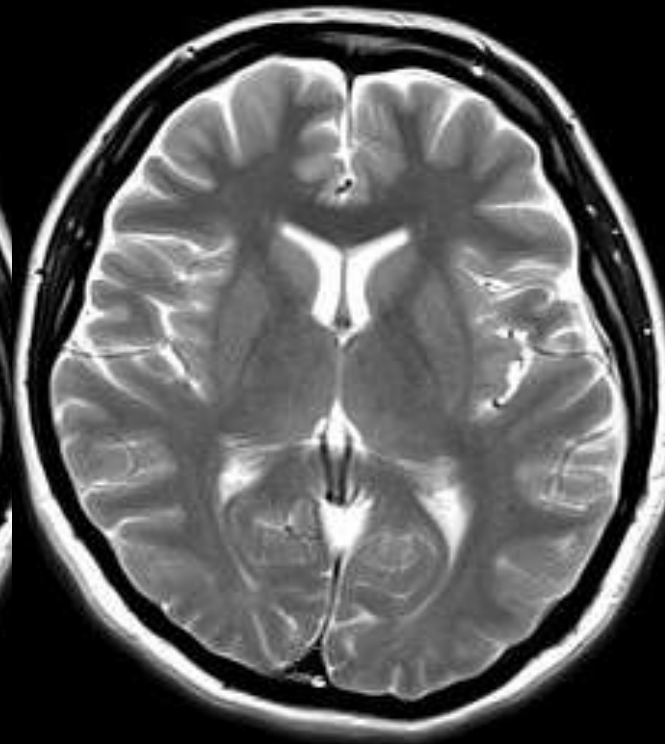
TSE

TR 2000_{ms}



TSE with RESTORE

TR 4000_{ms}

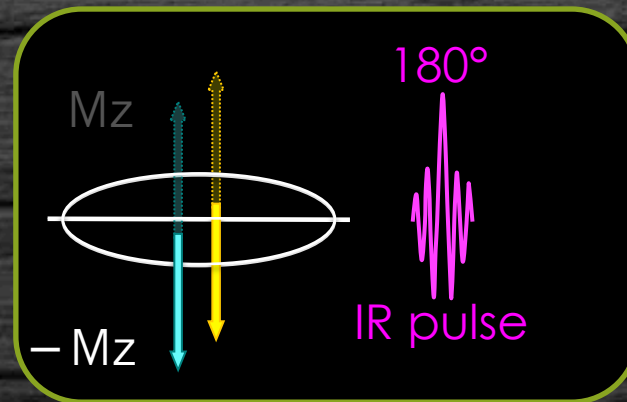


TSE

STIR FLAIR

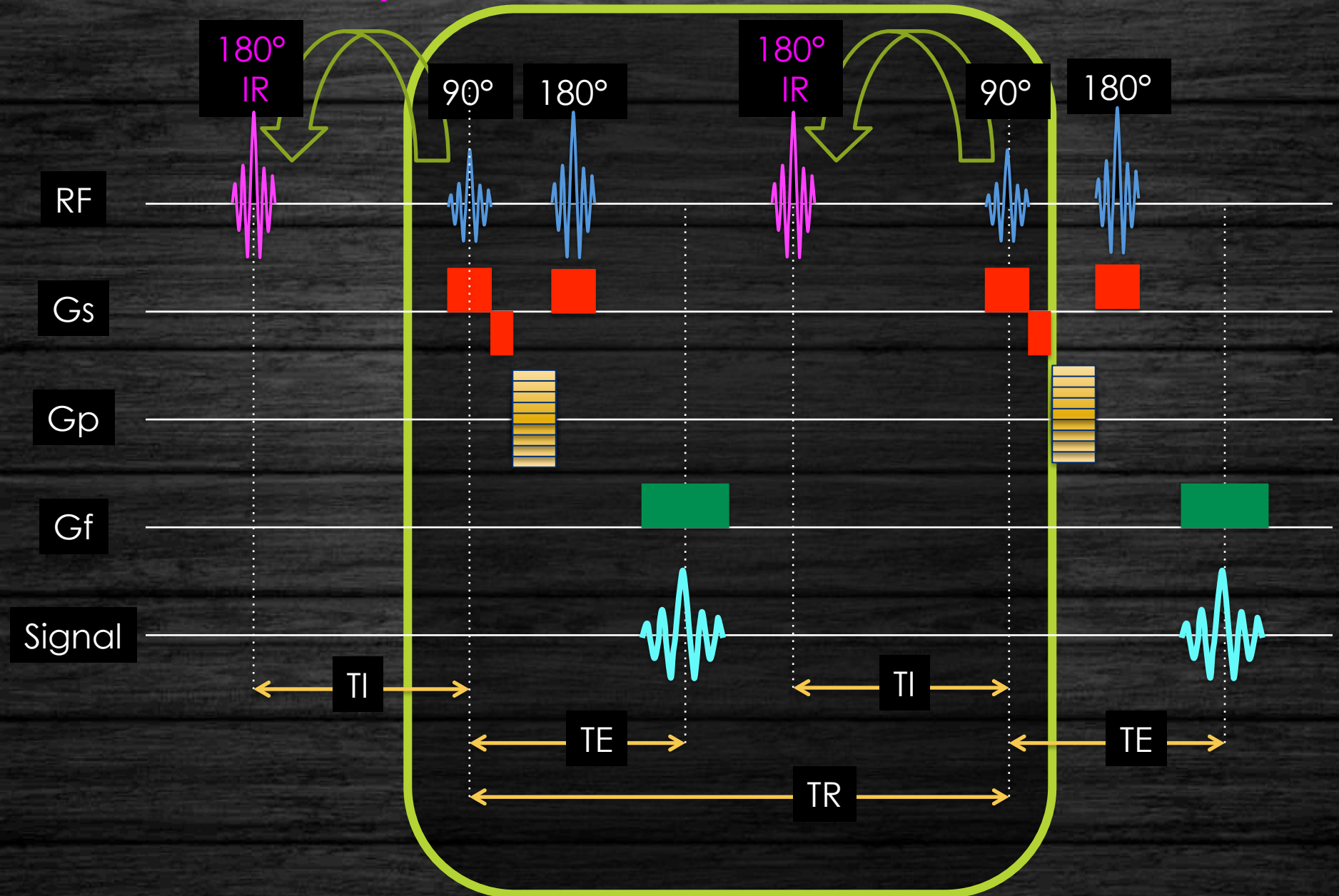
ある信号を"0"にする

- **STIR** (Short TI Inversion Recovery)
→**脂肪**の信号を"0"にする。
- **FLAIR** (FLuid Attenuated Inversion Recovery)
→**水**の信号を"0"にする。

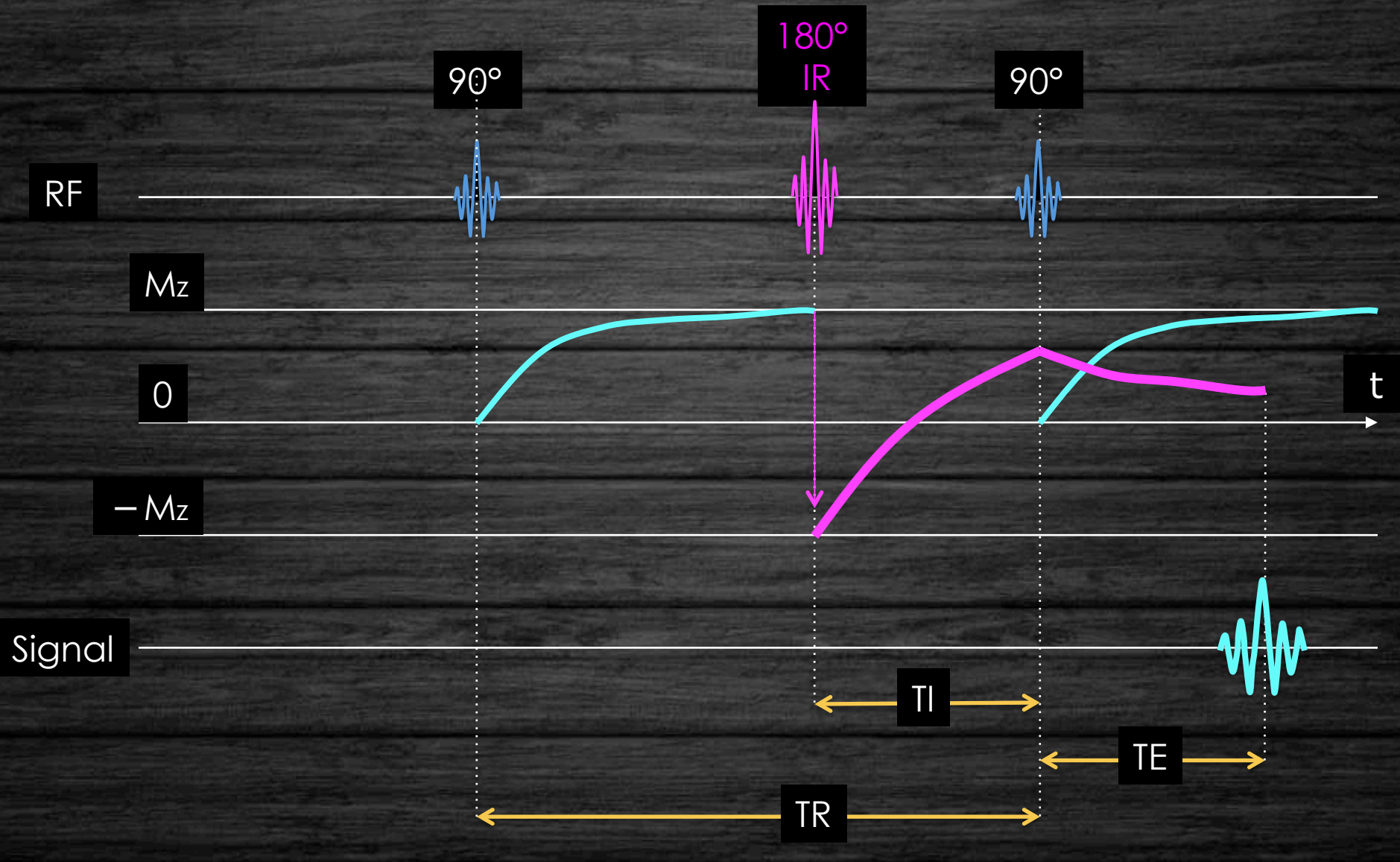


IR pulse :
反転回復パルスと呼ばれ、 M_z 方向にある磁化を 180° 反転させて、 $-M_z$ 方向に反転させるpreパルス。

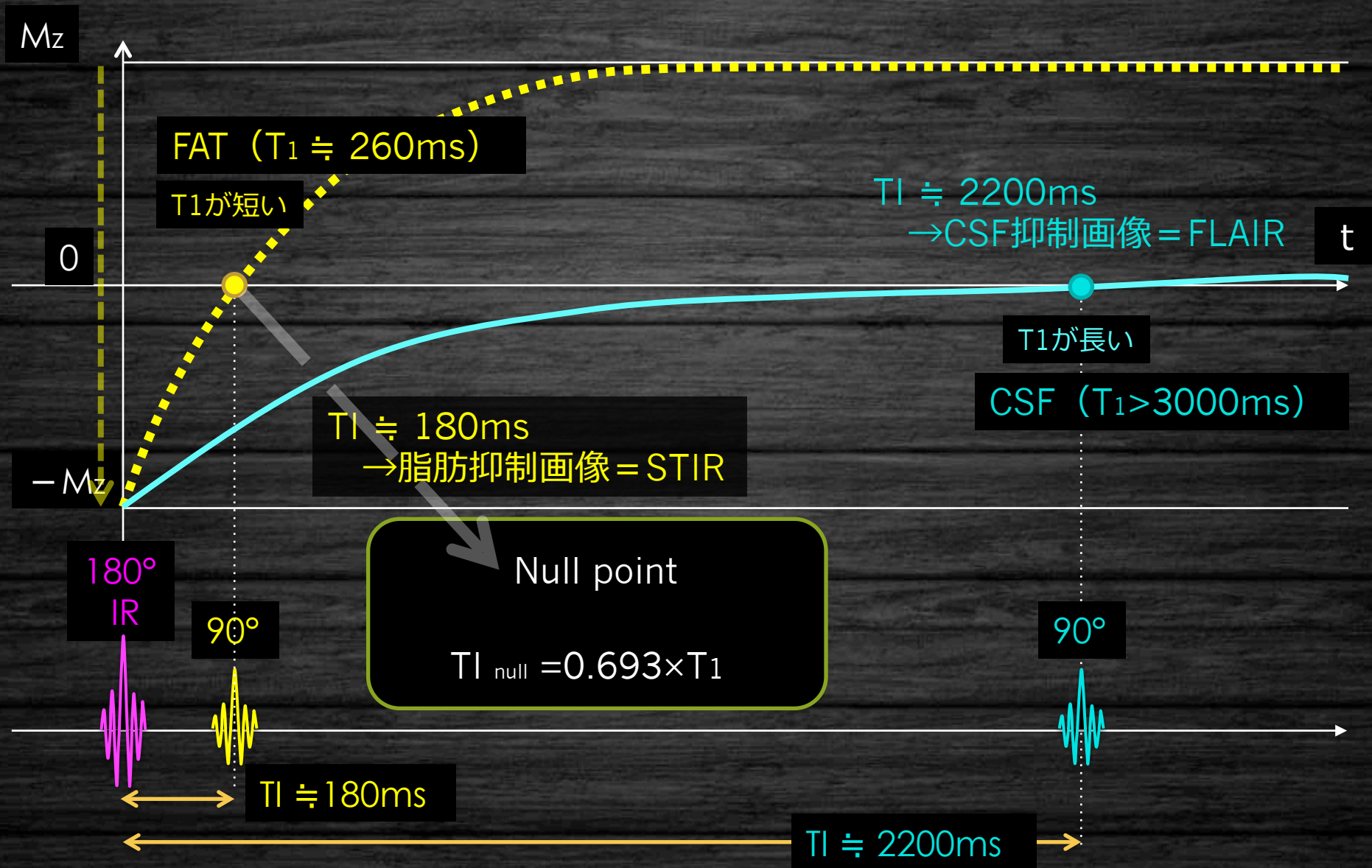
PSD of IR pulse



PSD of IR pulse Sequence



PSD of IR pulse

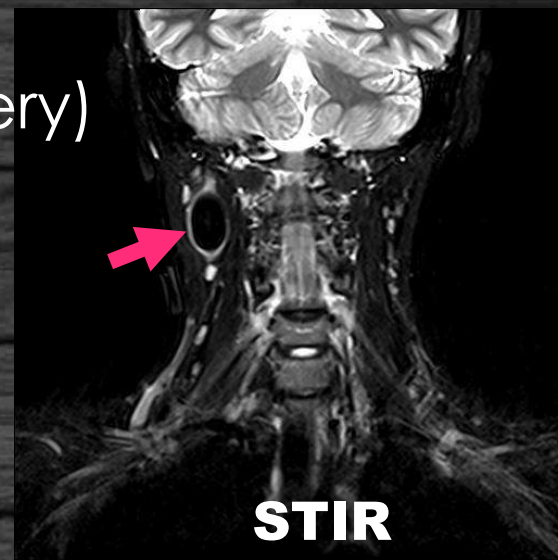
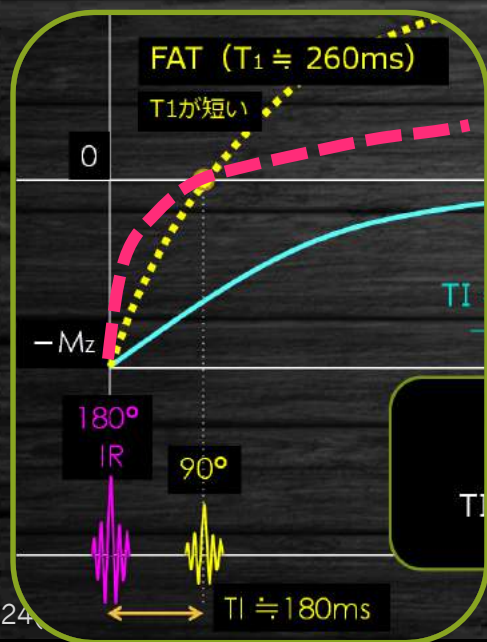


とある信号も"0"になる

- **STIR** (Short TI Inversion Recovery)
→脂肪の信号を"0"にする。



T1値の差を利用した
非選択性反転パルス法による
脂肪抑制法(IR法)は
『脂肪と同じT1回復を示す組織も
抑制される』



Double IR

WAIR

IR + IR

脳（白質）を消す

○ WAIR(White matter Attenuated IR)

IR pulseを2回用いたシーケンスの手法。

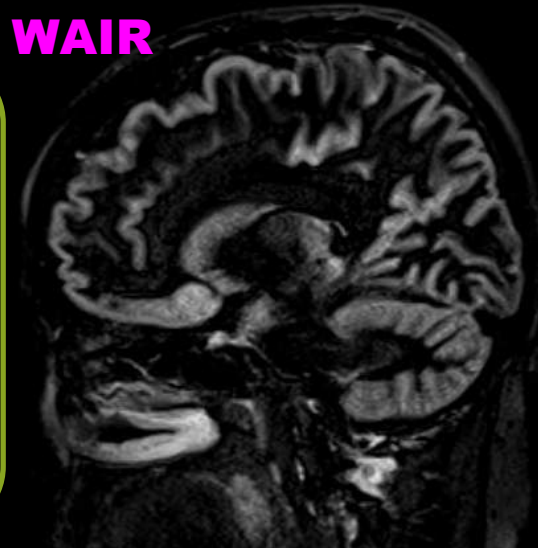
脳脊髄液(CSF)と白質(WM)を同時に抑制する。

TI₁ ≙ 3000msとTI₂ ≙ 450msで
CSFとWMを抑制

FLAIR



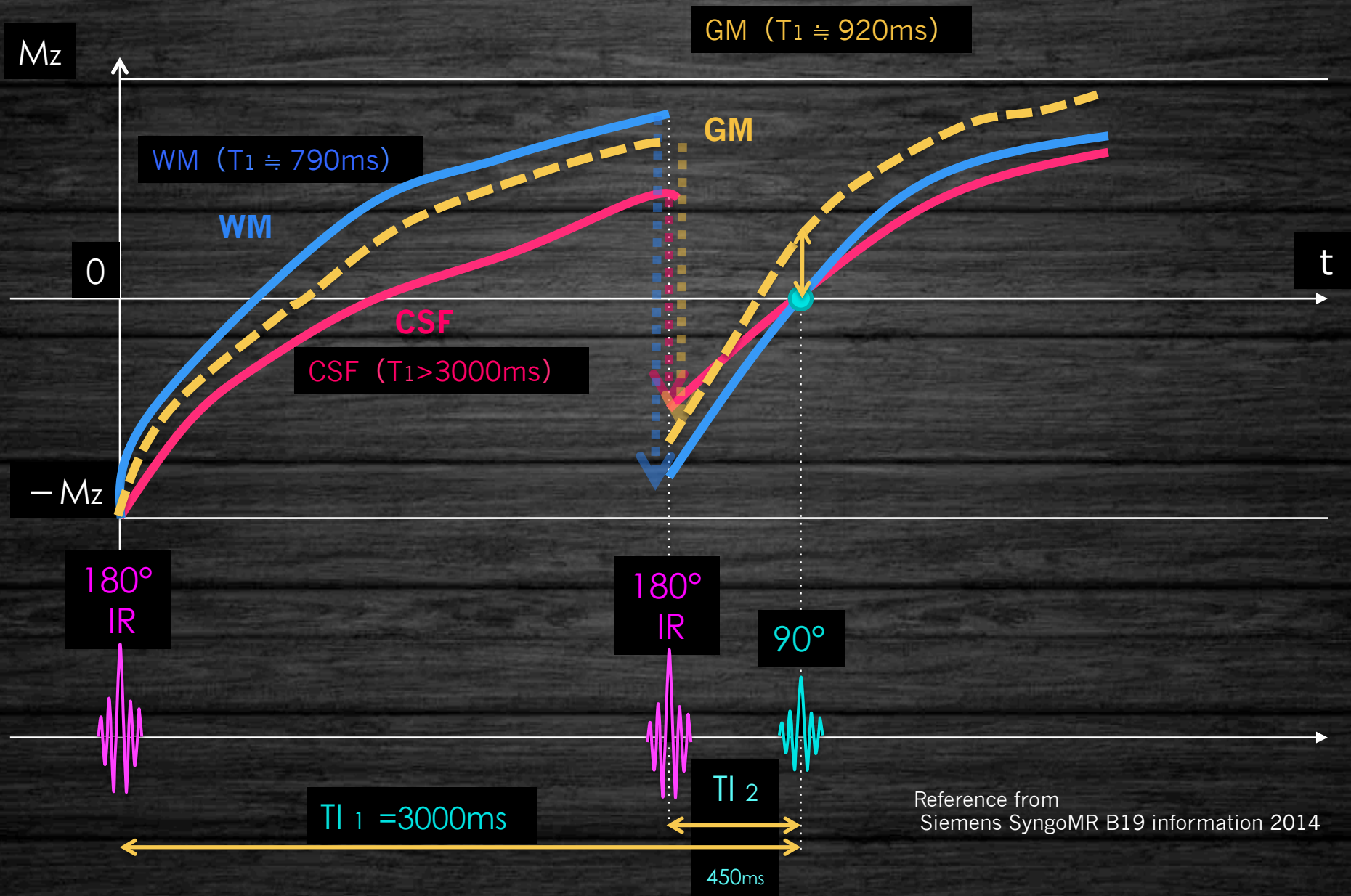
WAIR



SPACE 3D
DIR

TR : 7500msec
TE : 245msec
TI₁ : 3000msec
TI₂ : 450msec

PSD of WAIR



Silicon image

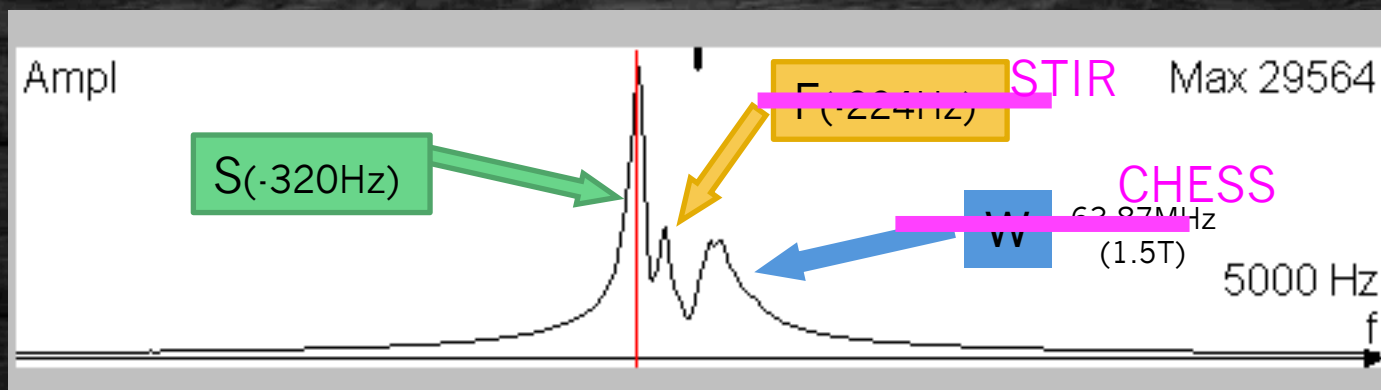
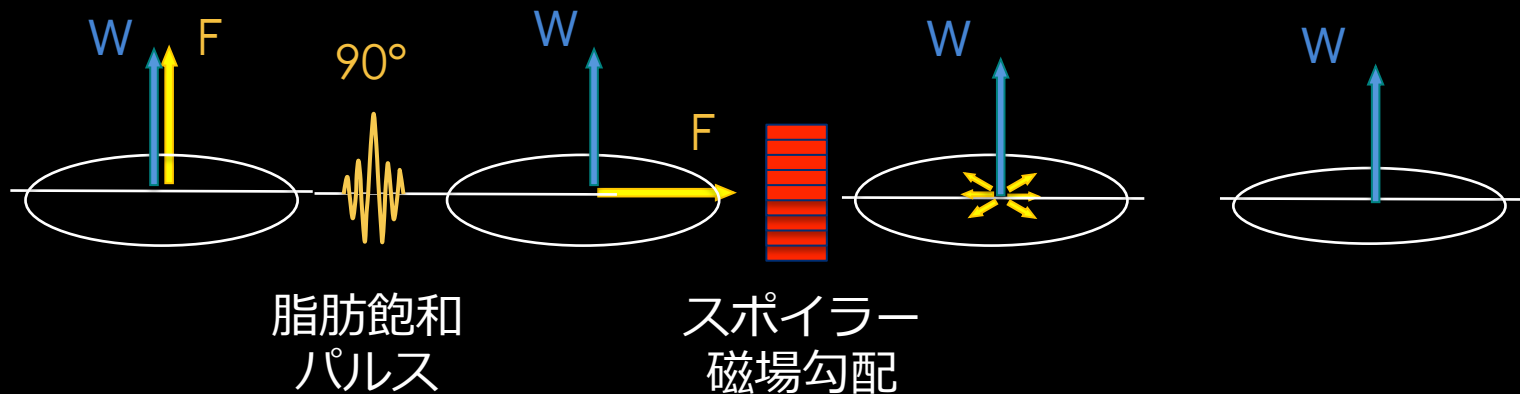
IR + CHESS

Siliconを取り出すには (水と脂肪を消す)

(1) STIRで脂肪抑制

(2) CHESS(chemical shift selective)パルスで水抑制

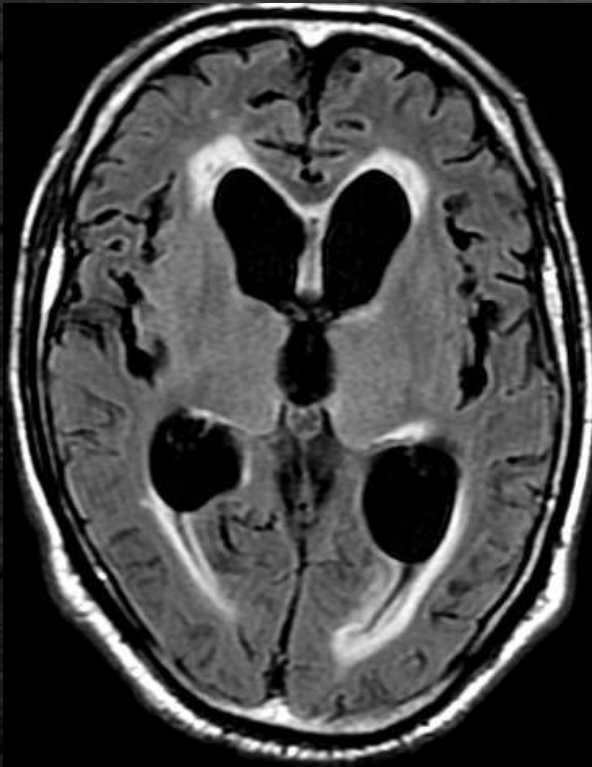
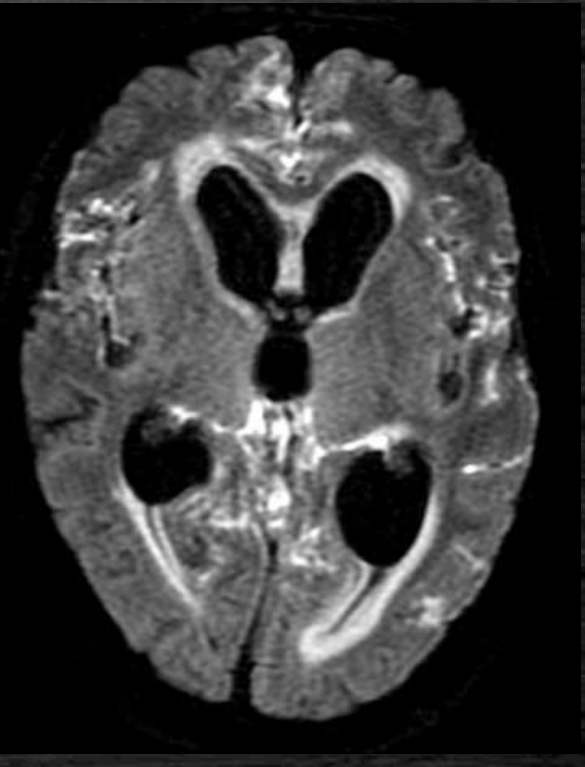
CHESS 脂肪飽和法



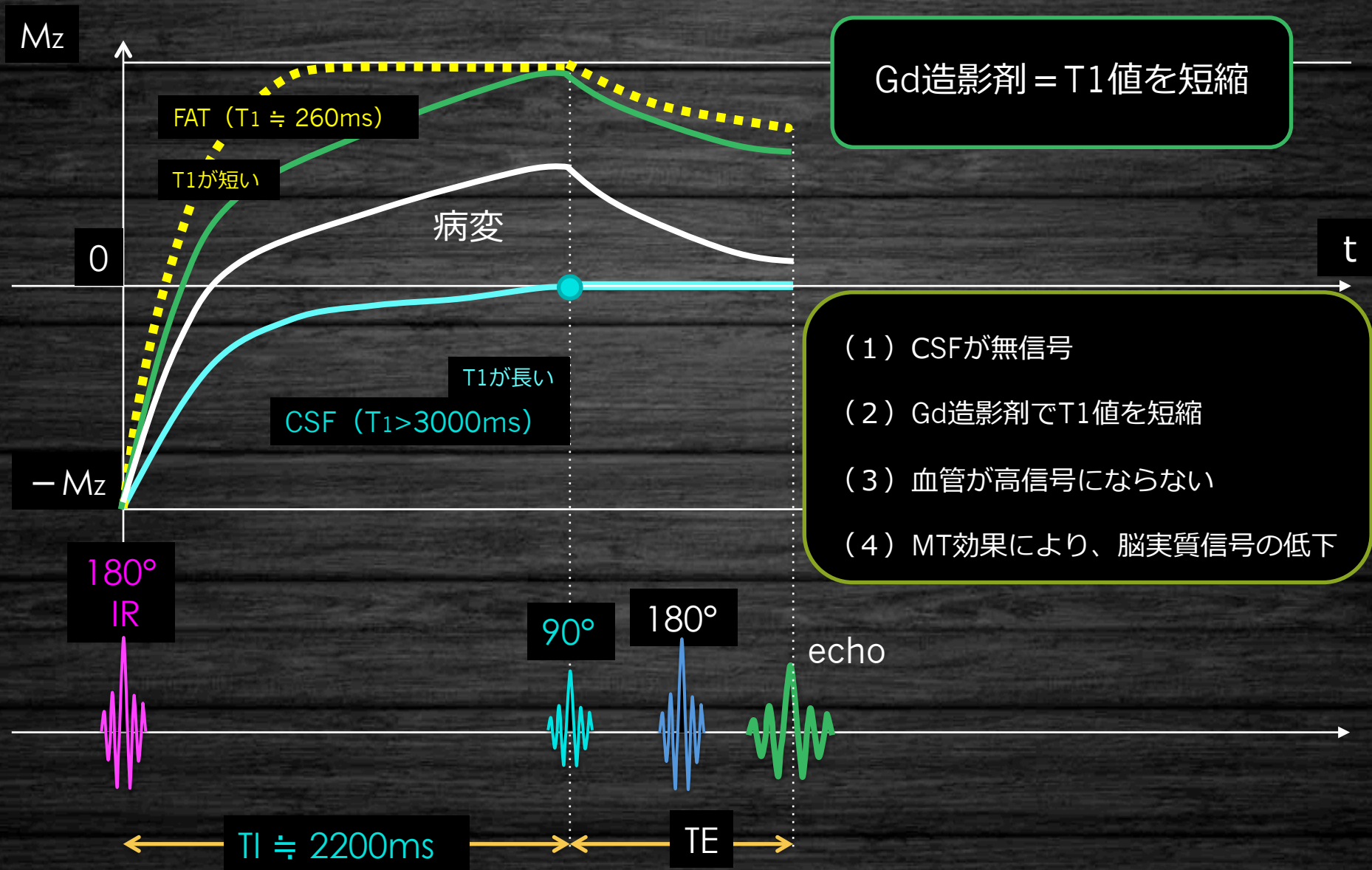
FLAIR+CE

IR + CHESS

FLAIRで水を消し、F/Sで脂肪を消す 更に、造影剤で髄膜病変を明瞭に

FLAIR**FLAIR +CE****3D-CUBE
FLAIR with F/S
+CE**

PSD of FLAIR+CE



Agenda

- ☑ Pulse Sequence Diagram

RF、Gs、Gp、Gf、S



- ☑ Spin Echo法のPSD

90° 180°
TE, TR

- ☑ Spin Echo法のコントラスト

縦緩和、T1、横緩和、T2

- ☑ 一手間加えたコントラスト

FR-FSE, STIR, FLAIR, CHES

参考資料

- 決定版 MRI完全解説 . 秀潤社 . : 荒木力
- 心から納得・理解できる MRI原理とMRS
医療科学社 、今西好正
- MRI 自由自在 . MEDICAL VIEW : 高原太郎