

第25回 神奈川MRI研究会  
今からでも大丈夫!! MRI入門part2

テーマ「脂肪抑制法の基礎」

# 周波数選択的脂肪抑制法の基礎

東海大学医学部附属病院 放射線技術科  
渋川 周平

E-mail:shibu@tokai-u.jp

# 本日の内容

---

- 周波数選択とは？
- CHESS
- Spec IR
- SPAIR

# 周波数選択的脂肪抑制とは？

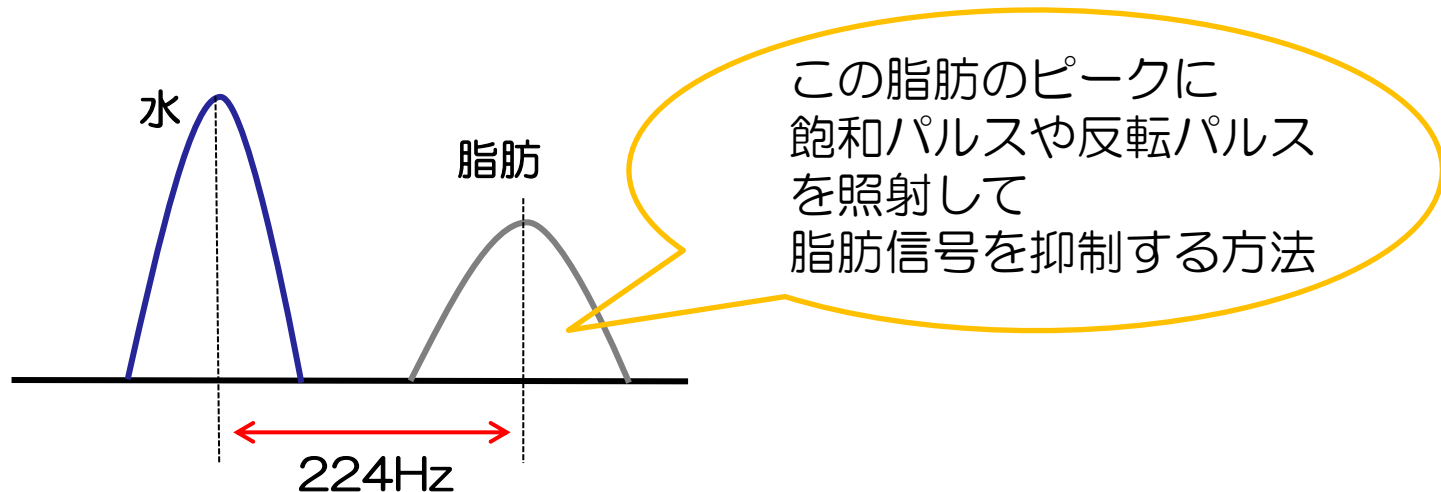
- 周波数選択的脂肪抑制法とは水と脂肪の化学シフトを利用した脂肪抑制法である。
- 水と脂肪は共鳴周波数が3.5ppmずれている。
- ppmは100万分の1という意味であり，1.5Tの装置で周波数(Hz)を考えると．．．

$$42.58(\text{MHz}/\text{T}) \times 1.5(\text{T}) = 63.87(\text{MHz})$$

63.87MHzに対して100万分の3.5ずれているので

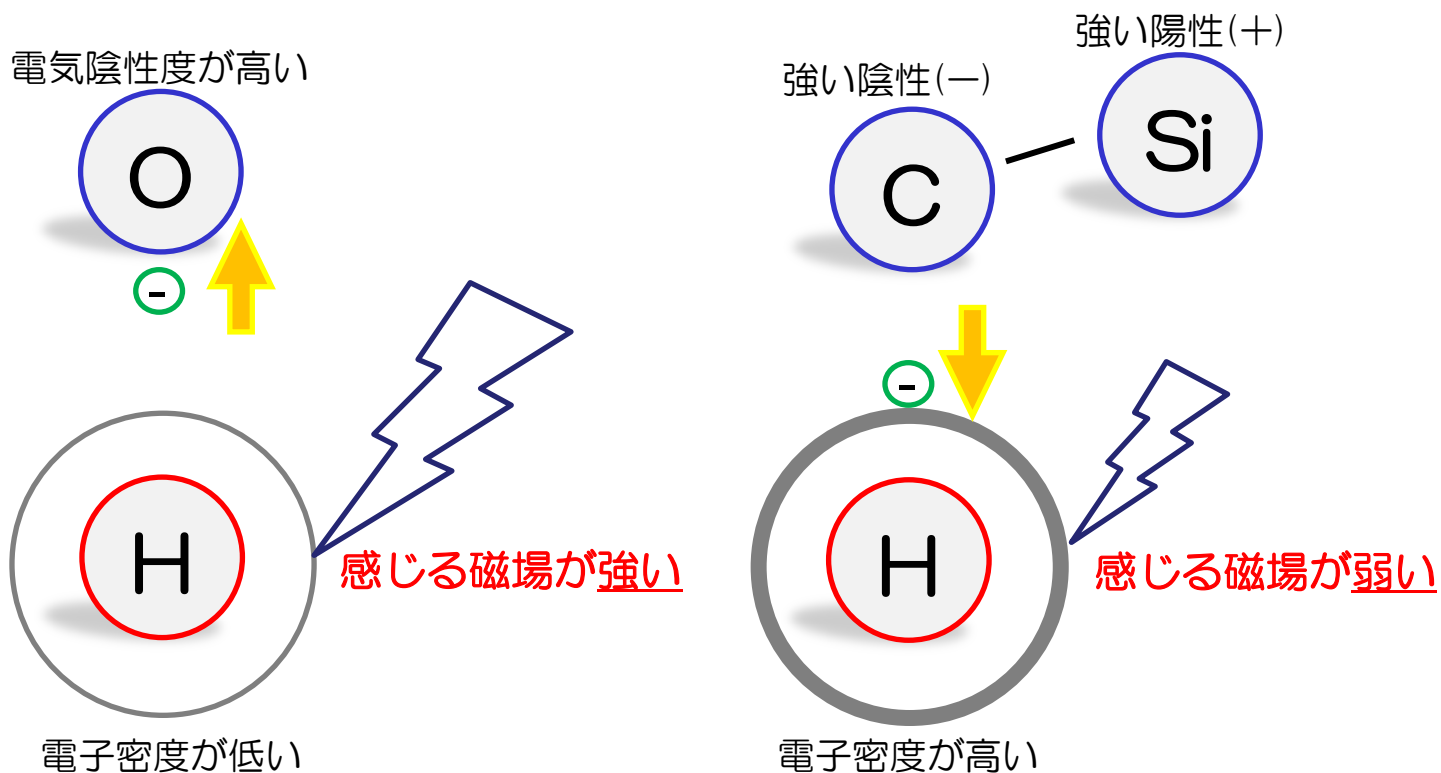
$$63.87(\text{MHz}) \times 3.5(\text{ppm}) = 224\text{Hz}$$

**つまり224Hzずれている！**



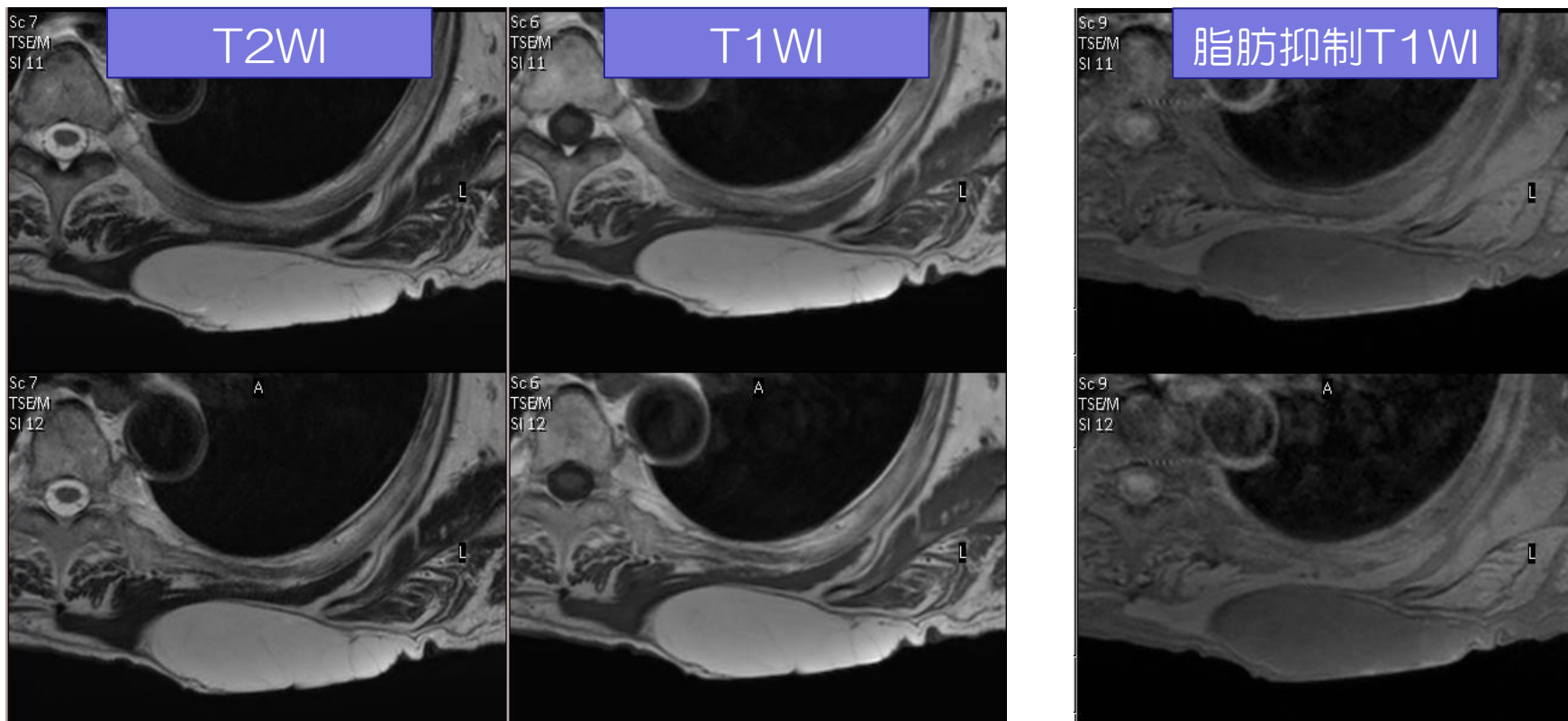
# なぜ周波数が異なるのか？

- そもそも化学シフトは $^1\text{H}$ (プロトン)を囲む電子の密度が異なることが原因である。
- 例えば電子を引き付ける力の強い(電気陰性度の高い)酸素(O)と結合している水の $^1\text{H}$ は電子密度が希薄になり磁場が脱遮蔽される。またテトラメチルシランは電子密度が高く、磁気遮蔽される。



# 周波数選択的のメリット 臨床

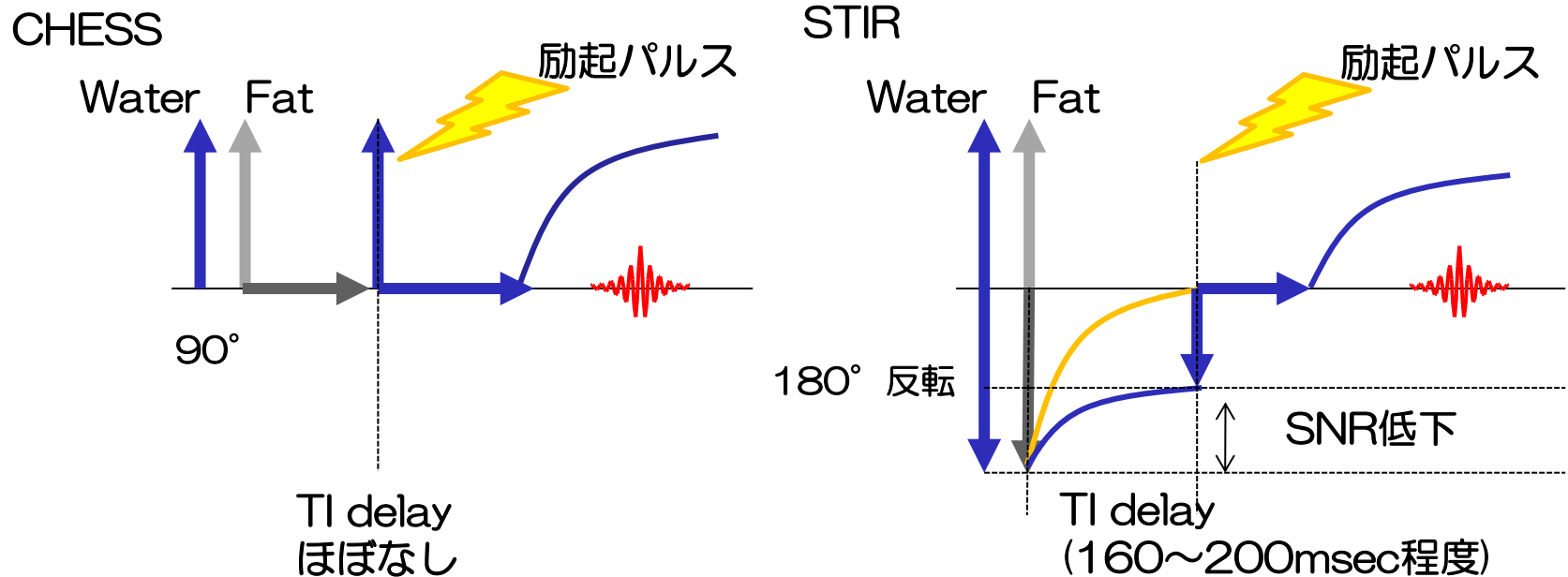
- STIRとは異なり，T1値の影響を受けないため，造影剤を使用する前後に利用できる。
- 脂肪の同定に利用できる。  
(脂肪腫 類比嚢腫etc…)



背部にある腫瘍。脂肪腫を疑われている。T2WI，T1WIともに高信号。

# 周波数選択的のメリット 撮像

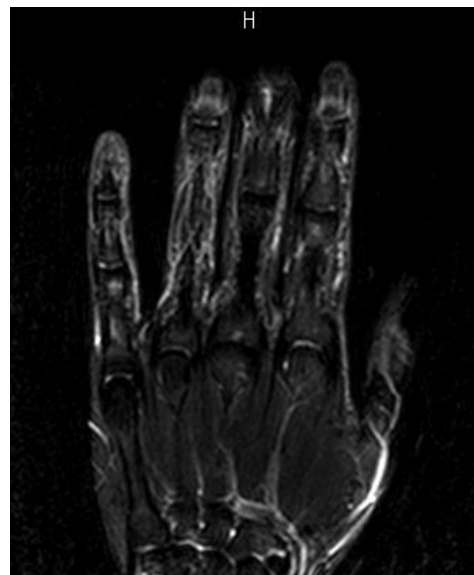
- 脂肪のプロトンのみ抑制するためSNRが高い。
- STIRと異なり，TI(time inversion) delayが短い  
ため撮像時間が短い。



STIRでは水の縦磁化も小さくなってしまふ。そのためSNRの低下を招く。  
また、CHESに比較してTI delayが長い。  
SNRを保持することも考慮すれば、STIRは撮像が長くなることがわかる。

# 周波数選択的のデメリット

- $B_0$  (静磁場) の不均一に弱く, 脂肪抑制不良が起こる.
- 手や肘などオフセンターの撮像や頸部など空気を含む部位では脂肪抑制としてSTIRを選択することが多い.



STIR



CHESS (SPIR)

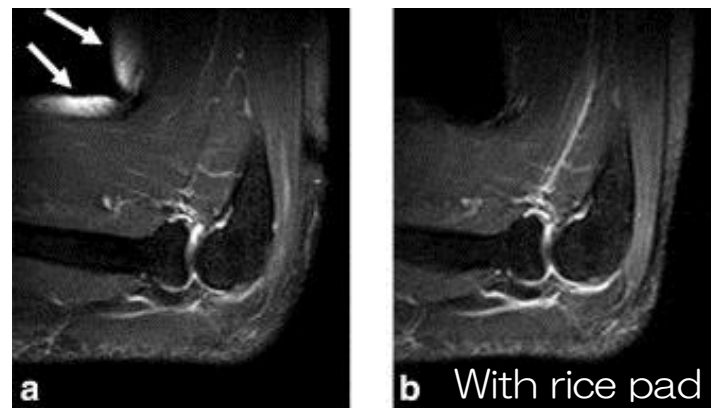
黄色矢印は $B_0$ 不均一による脂肪抑制不良.

# 脂肪抑制不良を改善する

- 前述したような場合にはシムコイル等で $B_0$ シミングを調整する方法や補償材を用いることで脂肪抑制不良を改善することも可能である.
- 補償材は比較的高価であるため、代用として米を用いる方法なども報告されている\*.



神戸バイオメディクス社製  
スキャンサポートパッド



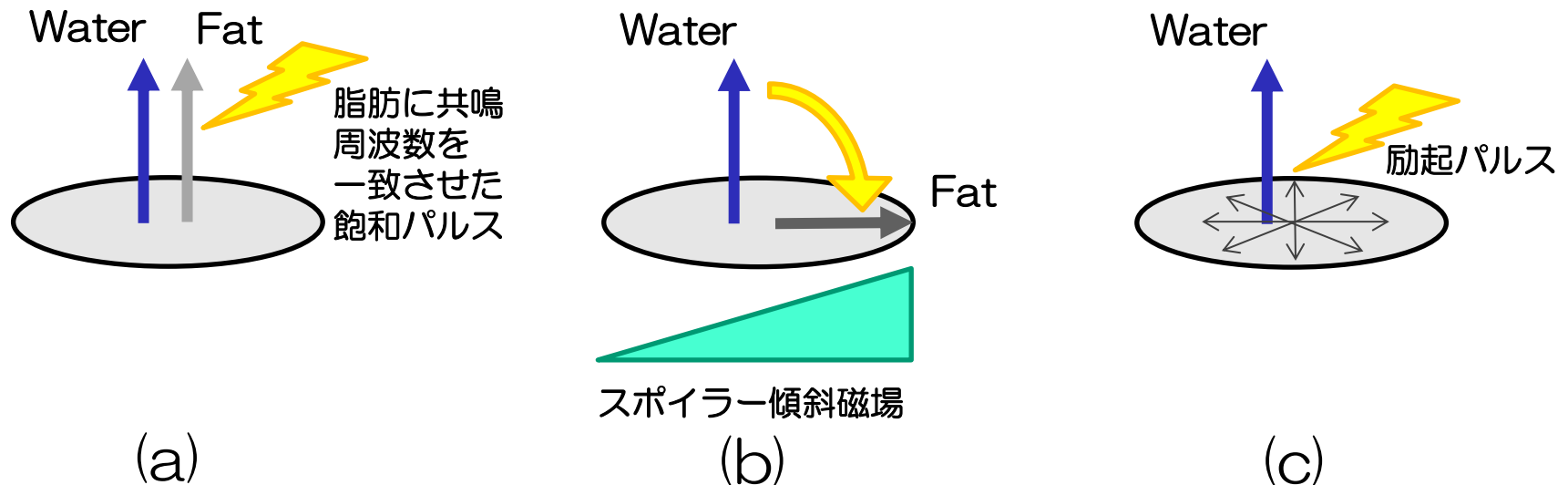
米を利用した場合(論文より引用)

\*Susumu Moriya, et al. Improved CHESS imaging with the use of rice pads. Journal of MRI. 2010 June 31(6) 1504-1507



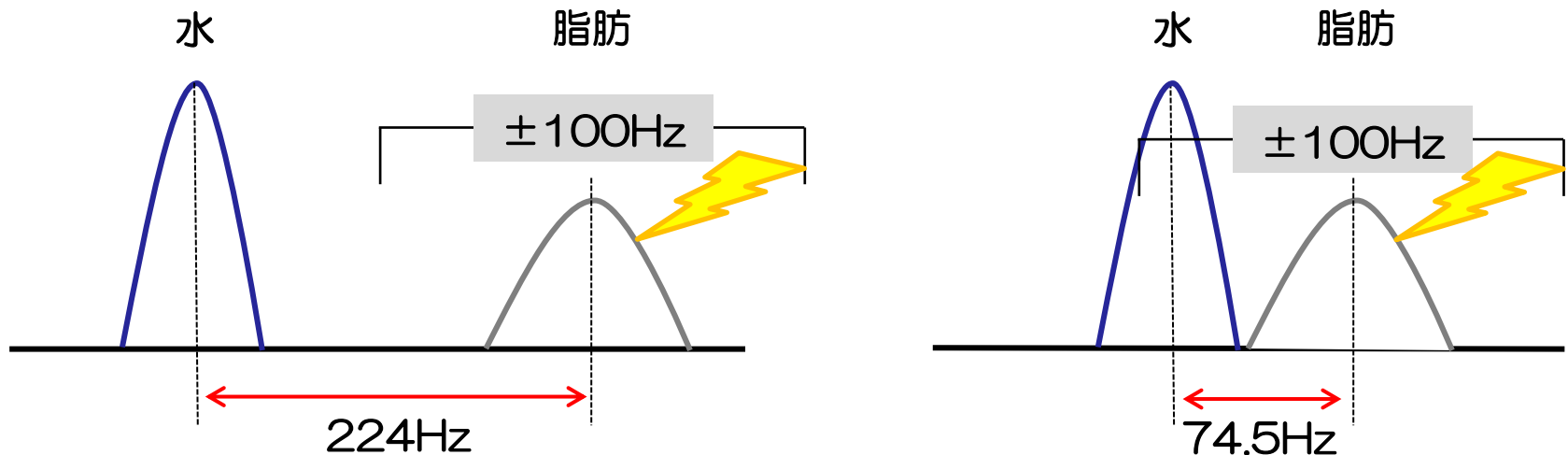
# CHESS(chemical shift selective)※

- まず、水から224Hz離れた脂肪の共鳴周波数(1.5T)に合わせた狭いバンド幅の飽和パルス(90°パルス)を照射する(a).
- 脂肪に飽和パルスを照射すると縦磁化が消失し、横磁化が発生する(b).
- スポイラー傾斜磁場を印加し、脂肪の横磁化を分散させることで脂肪は次の励起パルスに反応しない(c).



# CHESSが有利なのは高磁場？

- 「脂肪の共鳴周波数に合わせた狭いバンド幅の飽和パルス照射する」
- 1.5T装置ではおよそ $\pm 100\text{Hz}$ 程度のバンド幅を利用している。
- もし、0.5T装置で $\pm 100\text{Hz}$ のバンド幅で照射を行うと...  
水と脂肪の化学シフトは  
 $42.58(\text{MHz}/\text{T}) \times 0.5(\text{T}) \times 3.5(\text{ppm}) = 74.5(\text{Hz})$



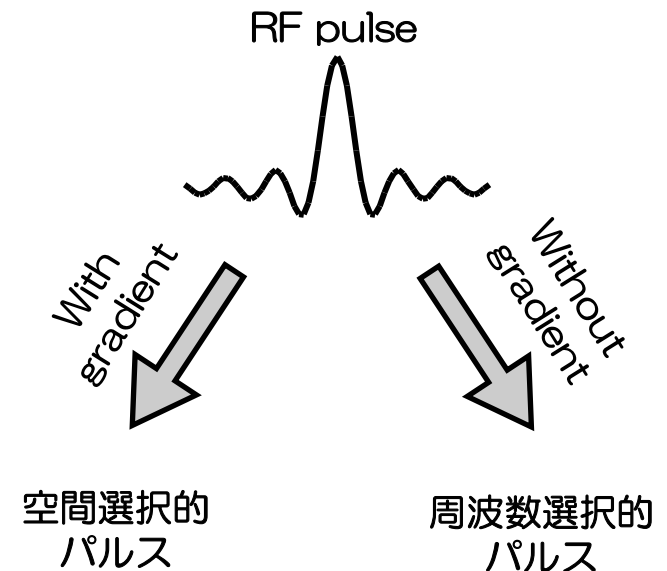
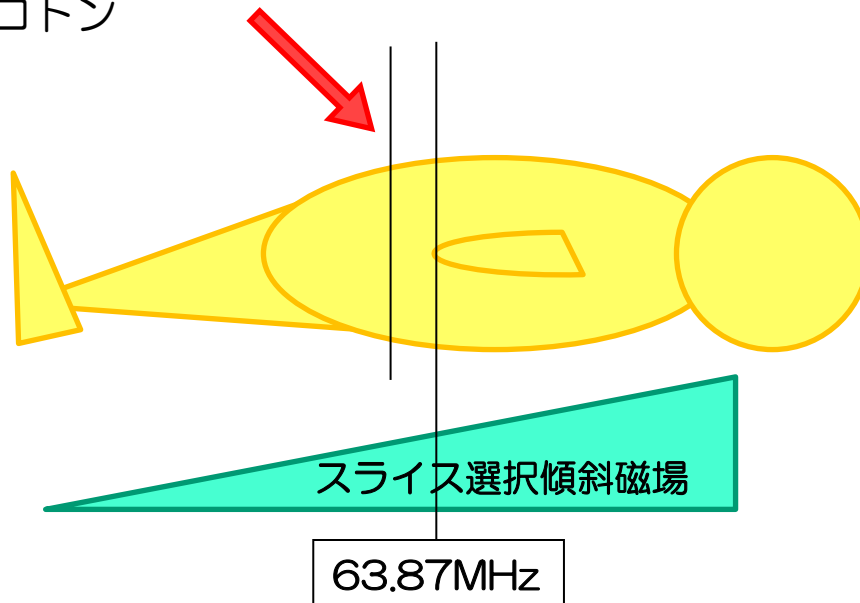
脂肪だけでなく水も飽和パルスが照射されてしまう！

そのため、**化学シフトの大きい高磁場装置が有利**である！

# CHESSは「non slice selective pulse」

- CHESS法をはじめとする化学シフトを利用した脂肪抑制法は「non slice selective pulse」である。
- 仮に傾斜磁場をかけてslice selectiveにCHESSパルスを照射しようとした場合、傾斜磁場によって220Hzずれた共鳴周波数の水のプロトンがCHESSパルスによって励起されてしまう。

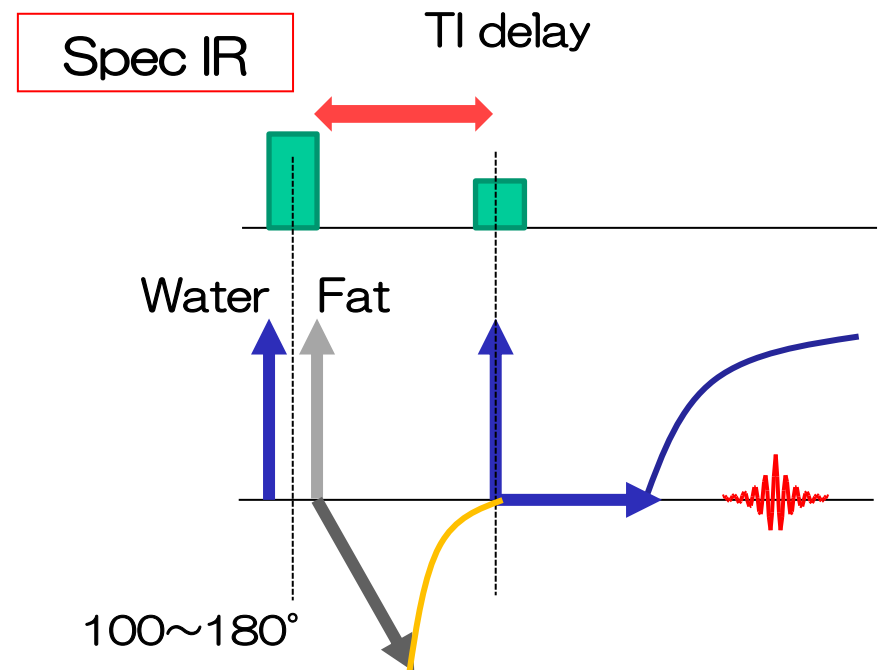
傾斜磁場によって63.87MHz  
よりも220Hzずれた共鳴周波数  
の水のプロトン



# Spec IR (Spectral IR)

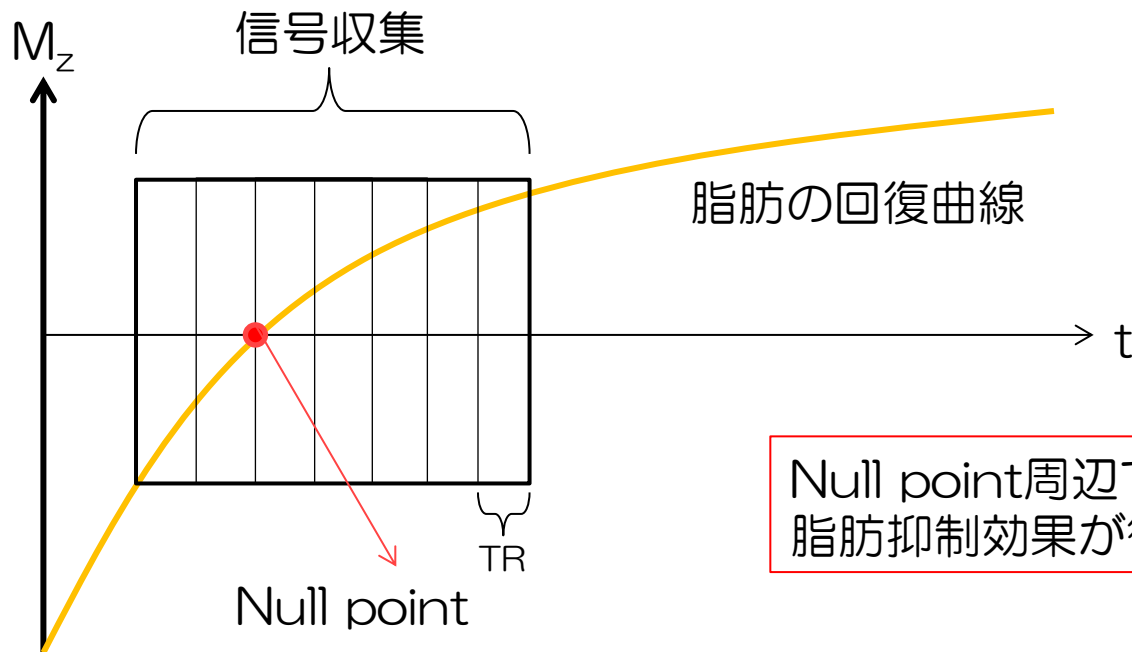
- CHESSとSTIRを組み合わせた方法をSpec IRという。
- メーカー各社によってSPIR (Philips) やSPECIAL (GE) と呼び方が異なるが、いずれも $90^\circ$  よりも大きなFAを用いていることが特徴である。また、メーカーによってはFAが変動するタイプもある。

使用するFAにもよるが、CHESSに比較してSTIR同様にnull pointまで待つ時間が必要となる。そのため、CHESSに比較して撮像時間の延長がわずかに生じる。しかし、STIRのようなSNRの低下は起こらない。



# Spec IRのメリット

- Spec IRの有利な点として、CHESSでは飽和パルス照射直後に脂肪抑制効果があるが、Spec IRでは脂肪の縦磁化が反転してからnull pointの前後に脂肪抑制効果が期待できる。
- つまり、脂肪抑制効果が長いため、より多くの信号収集が可能となる。(例 造影ダイナミックなどで利用)



# CHESSと比較して 〈実験による検証〉

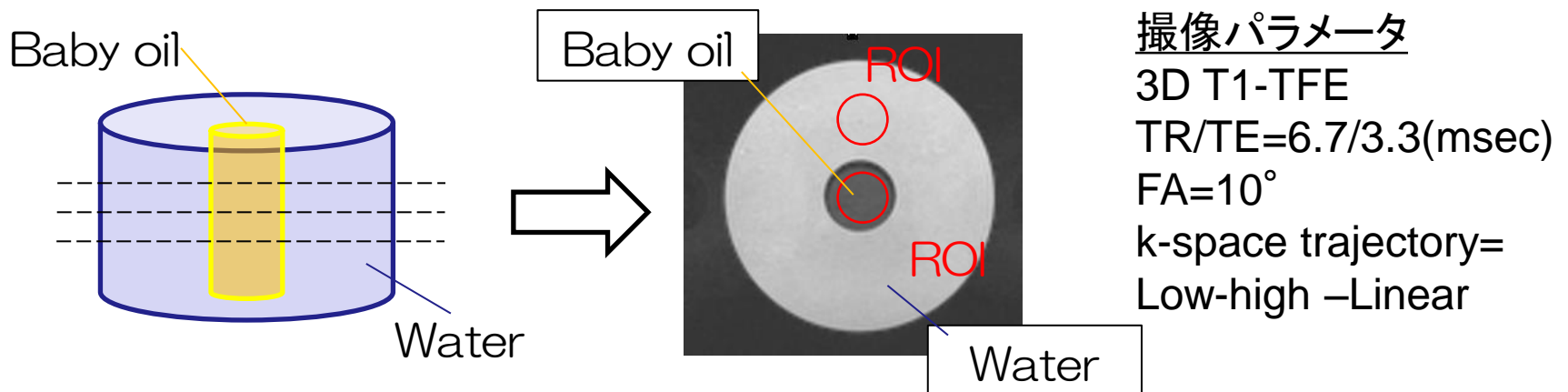
- 実際にCHESS\*とSpec IRで脂肪抑制効果がどの程度違うのか、撮像して検証をおこなった。

## 方法

ボトルファントムに水とベビーオイルを入れて、3D-TFE(腹部ダイナミック等に利用するシーケンス)にて撮像した。

SPIRのFAを $90^\circ$  と $100^\circ$  に設定し、TFE factorを2,5,10と変化させたときの水とベビーオイルの信号を測定し、コントラスト比(CR)を比較した。

$$\bullet CR = (S_{\text{water}} - S_{\text{fat}}) / (S_{\text{water}} + S_{\text{fat}})$$



\*あくまでSPIRのFAを $90^\circ$  にした仮想CHESS

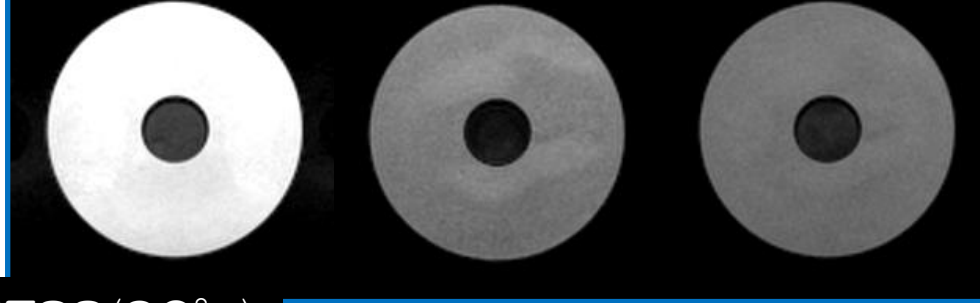
# CHESSと比較して 〈結果〉

Factor 2

Factor 5

Factor 10

SPIR(100°)

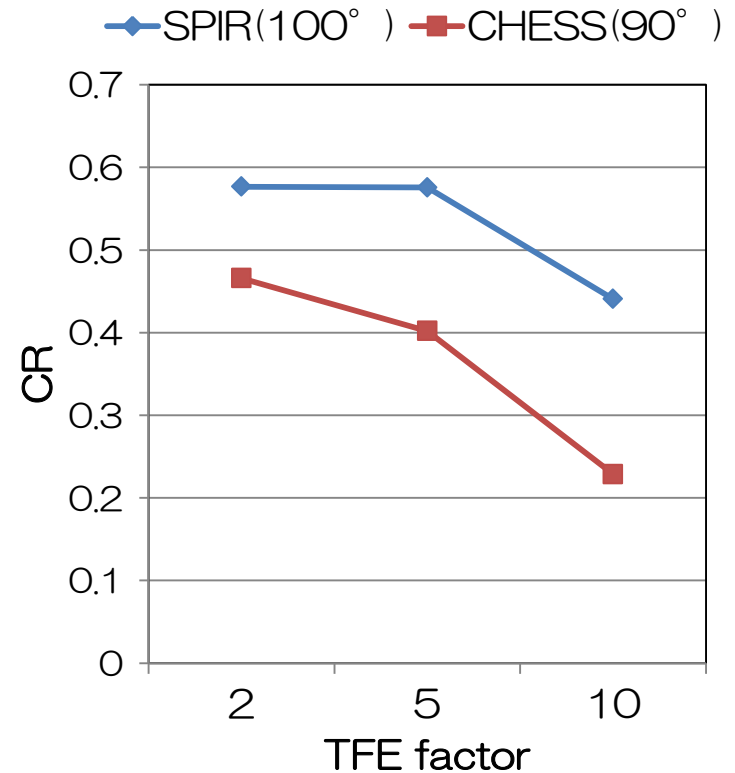


CHESS(90°)



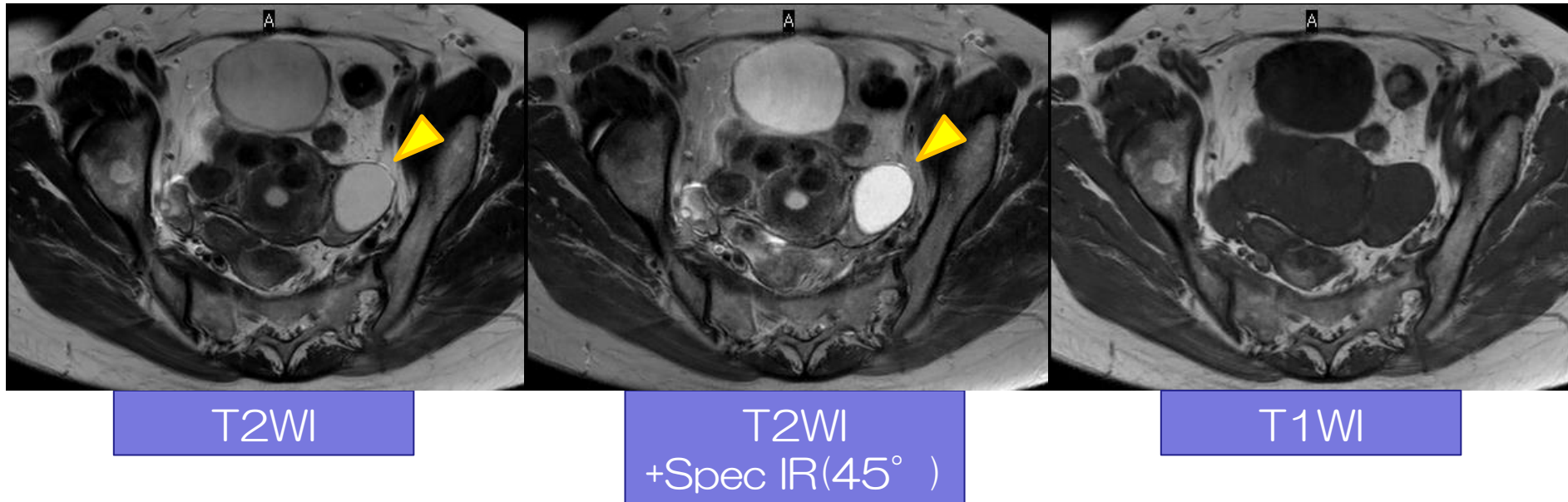
信号を実測するとSPIRの方が  
TFE factor5までCRを保持できている  
ことがわかる。  
つまり脂肪抑制効果が長い！

TFE factorの増加によって  
脂肪抑制効果が低下し、  
水とベビーオイルのCRが低  
下する。



# Spec IR 応用編

- Spec IRにおいてPhilipsでは90°より浅い45°程度のFAを利用できる。脂肪抑制効果はほぼないが。 . . .



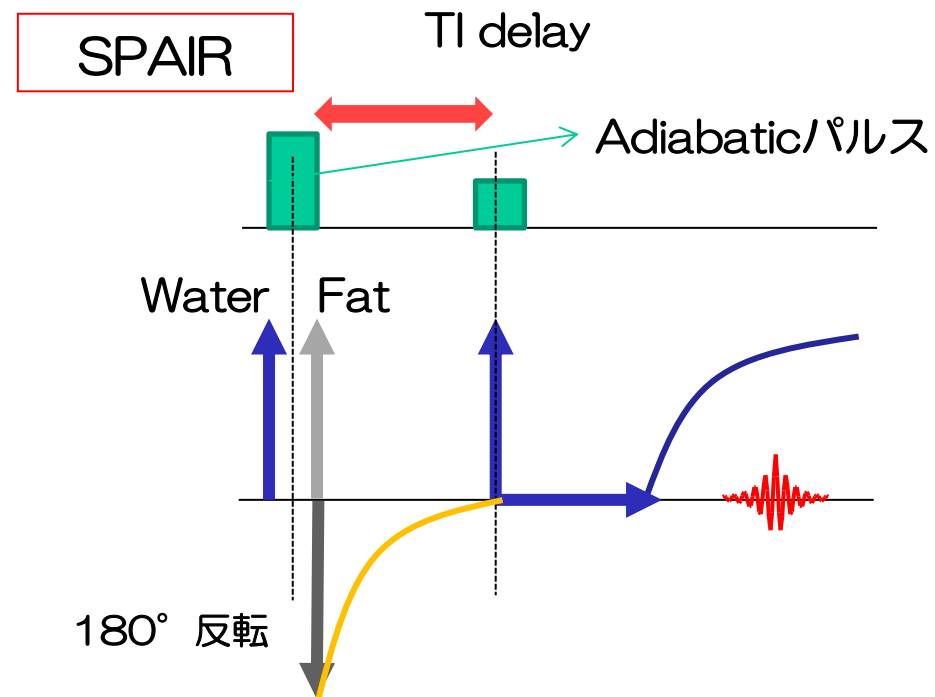
FSE(TSE)シーケンスはJ-couplingにより脂肪信号が高くなる。再収束パルスを多く用いるT2WIでは脂肪が水とほぼ同信号にまで高くなることもあるが、浅いFAのSpec IRを用いると脂肪信号がわずかに抑制されT2WIコントラストがやや改善する。



# SPAIR(Spectral Adiabatic Inversion Recovery)

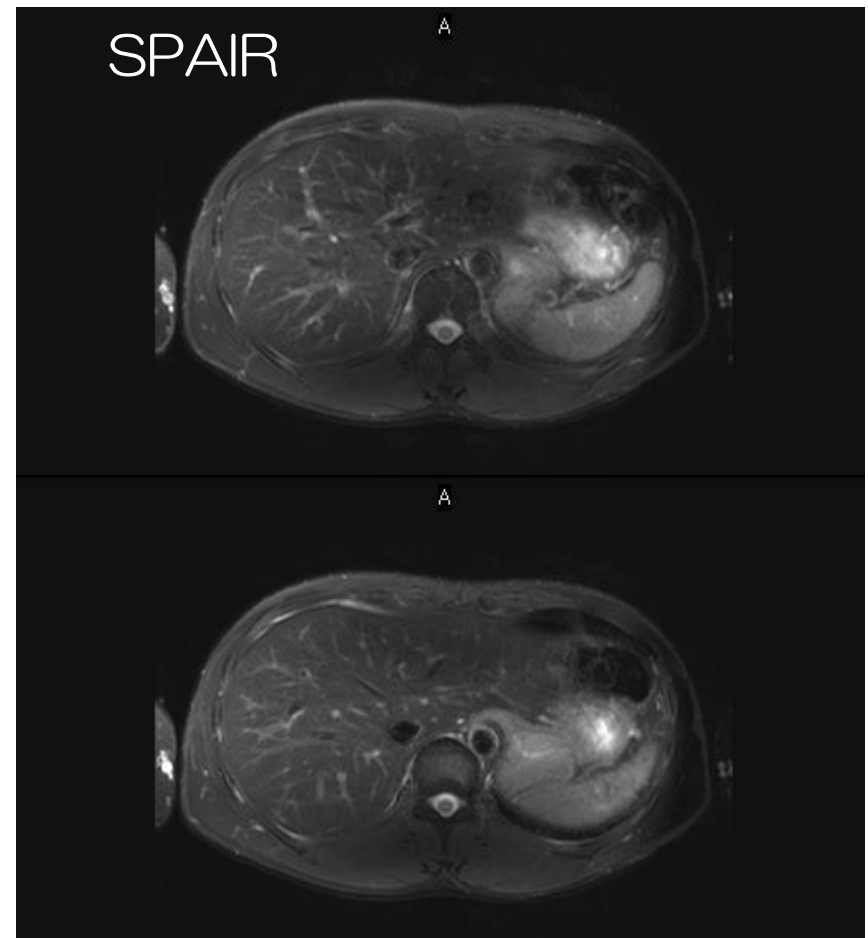
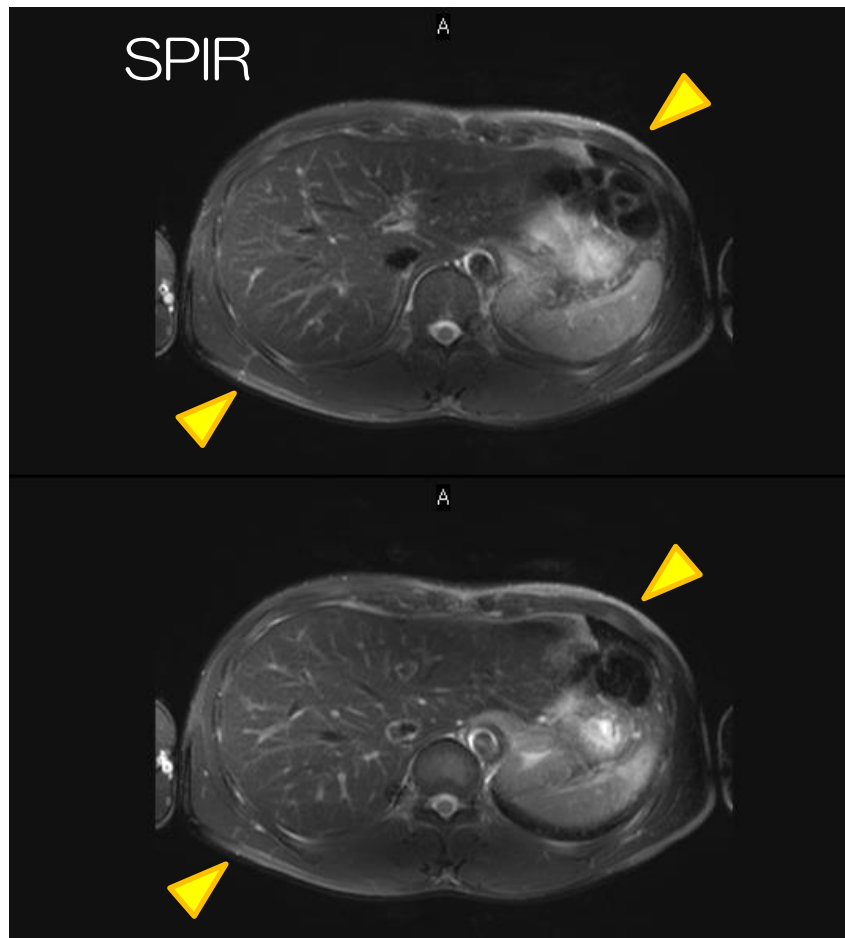
- 周波数選択的脂肪抑制の一つであり，最大の特徴は **adiabaticパルス** (断熱パルス) を使用していることである。
- SPAIRに利用するAdiabaticパルスは周波数と振幅を変調している。最大の利点は  $B_1$  (RF磁場) の不均一に強い **パルス** であり， $B_1$  不均一の起こりやすい3.0Tで特に有用とされている。

SPAIRのFAは $180^\circ$  であるためSTIR同様にTI delayを設定する。  
また，FAが高いことからSpec IRよりも長いTI delayが必要。



# SPAIR vs Spec IR (SPIR)

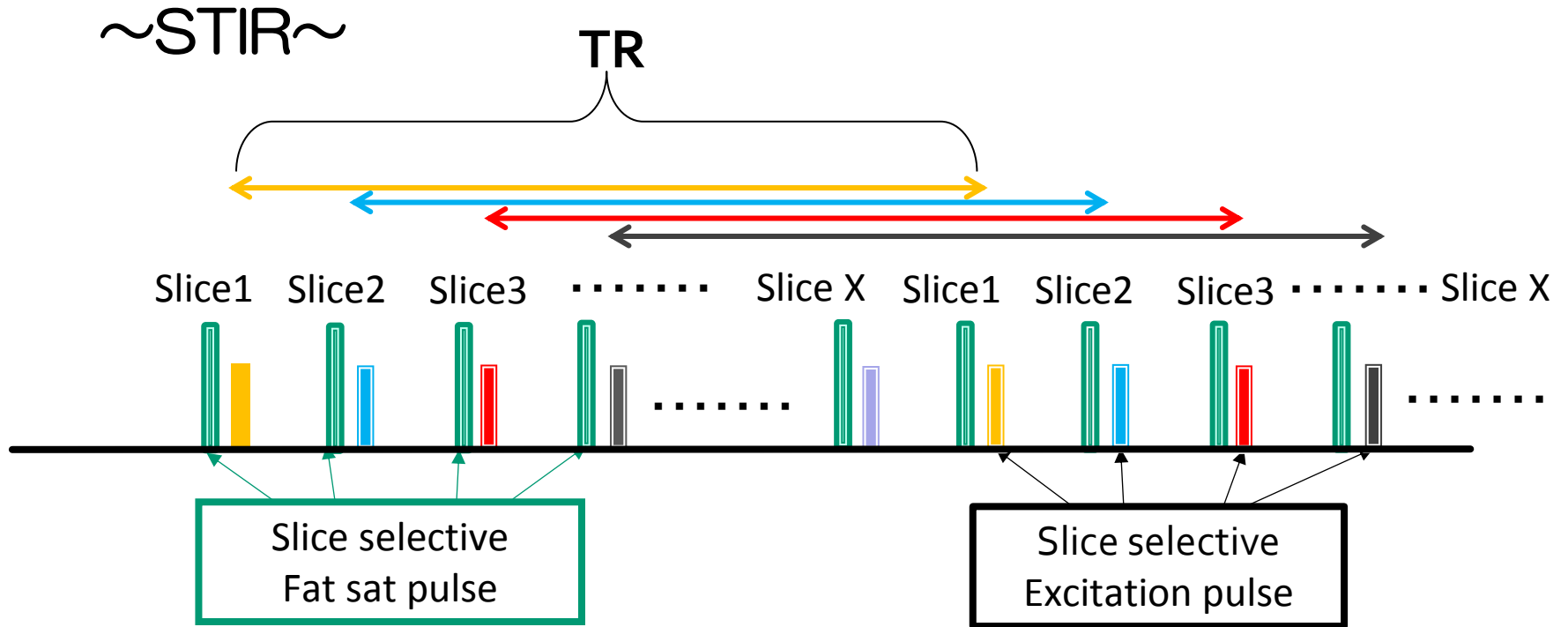
- 実際に3.0T で脂肪抑制T2WIを撮像した。  
特に $B_1$ 不均一が起こりやすい上腹部での画像である。



黄色矢印は $B_1$ による脂肪抑制不良と考えられ、SPAIRでは改善されている。

# SPAIR TRとTI delay

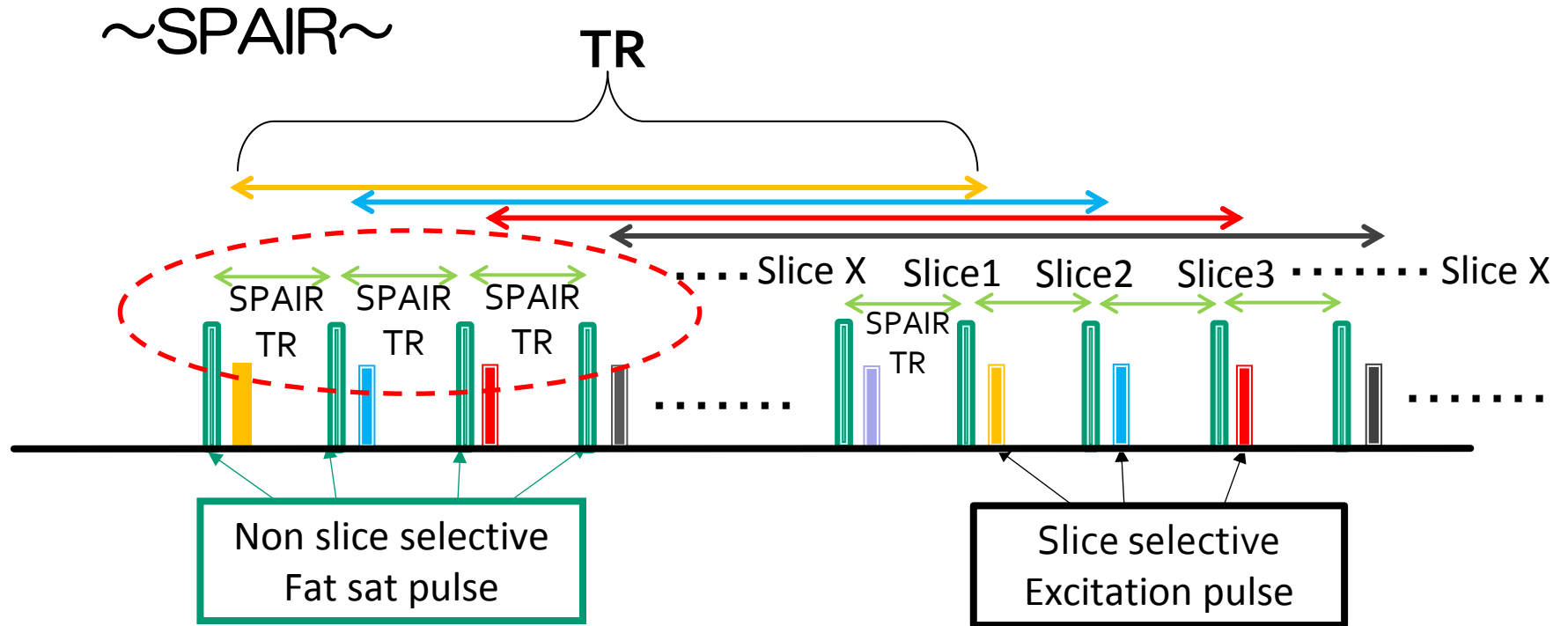
- SPAIRを用いたマルチスライス撮像では脂肪の縦磁化は SPAIRパルスを照射する間隔 (SPAIR TR) に依存する。これはSTIRとは異なるので注意が必要である。よってTI delayの考え方も異なる。



STIRのIRパルスは励起パルスと同様にslice selectiveのためIRパルスが照射される間隔はTRに依存する。

# SPAIR TRとTI delay

- SPAIRを用いたマルチスライス撮像では脂肪の縦磁化は SPAIRパルスを照射する間隔 (SPAIR TR) に依存する。これはSTIRとは異なるので注意が必要である。よってTI delayの考え方も異なる。



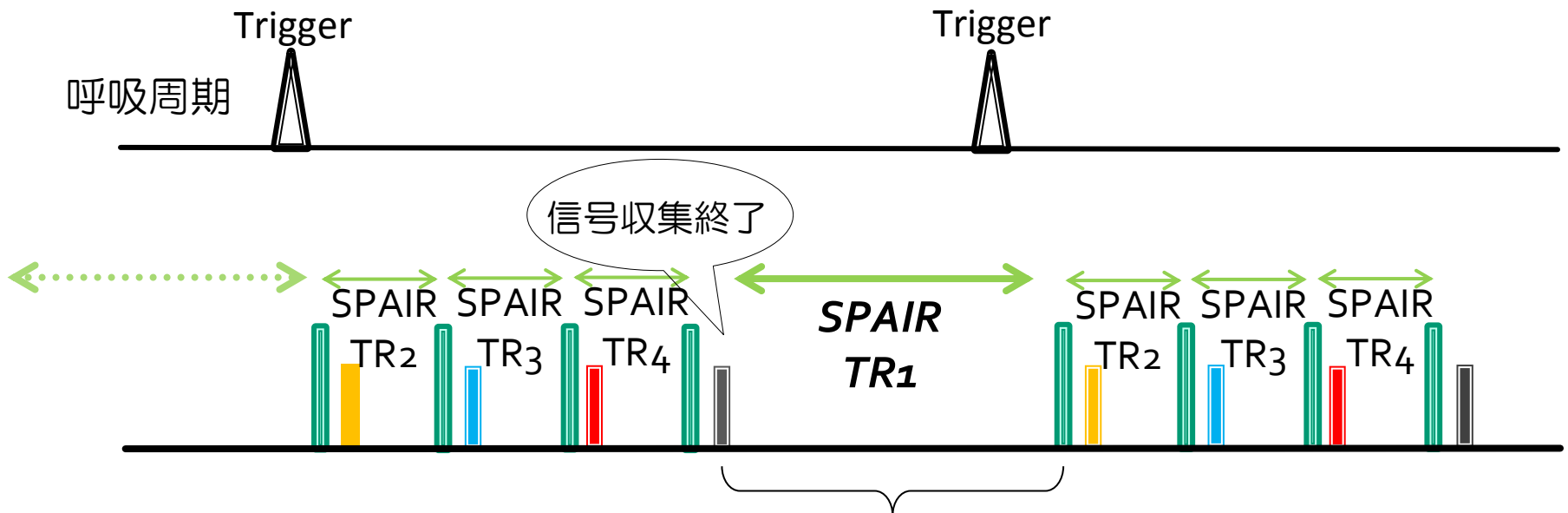
SPAIRのIRパルスは励起パルスと異なり Non slice selectiveのためIRパルスが照射される間隔は次のスライスまでの時間 (SPAIR TR) に依存する。

# SPAIRと呼吸同期

- SPAIRでは脂肪の縦磁化はSPAIR TRに依存するため、呼吸同期を併用する脂肪抑制法としては不向きである\*。

\*高野晋 et al.呼吸同期を併用したSpectral Attenuated with Inversion Recovery 脂肪抑制法の問題点. 日放技会誌 2013;69(1):92-98

～マルチスライス4枚を呼吸同期併用SPAIRで撮像した場合～

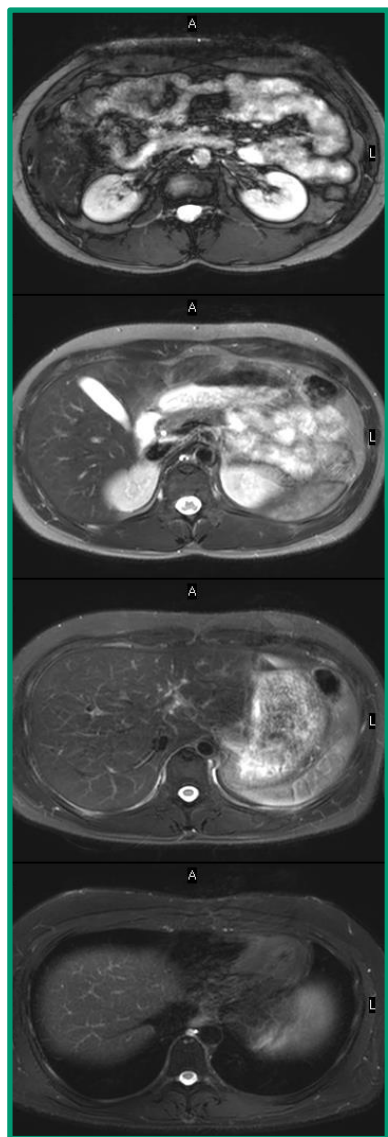


撮影をしない間に脂肪の縦磁化が元に戻ってしまう

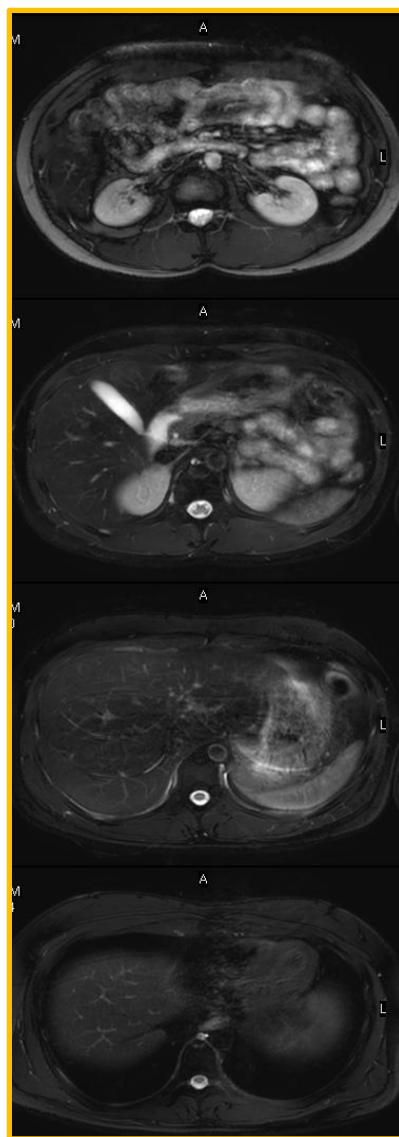
呼吸同期では最後のスライスと最初のスライスに時間があいてしまうため、1枚目のスライスはnull pointが合わず、脂肪抑制不良を生じる。

# SPAIRと呼吸同期 臨床画像

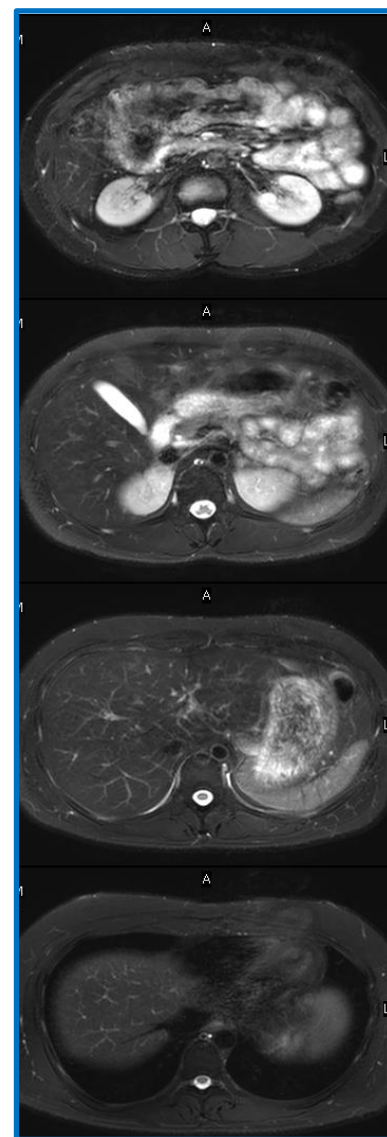
撮影順



SPAIR



SPIR



SPAIR SSGR

# 呼吸同期併用SPAIRを改善する

- ① 1枚目を撮像する前にダミーのSPAIRパルスを照射する。
- ② SSGR(Slice Selective Gradient Reverse)※を併用する。

これらの方法を用いると、脂肪抑制不良を改善できる。特にSSGRを利用すると制限がなく、最も良好な脂肪抑制が得られる。

SSGRとはSE法にのみ使用できる脂肪抑制法で90°パルスと180°パルスのスライス傾斜磁場を反転させることで水を選択的に励起する。SSGRのみでは脂肪抑制効果は低い。スライス方向への化学シフトを利用した方法であり、3.0Tでの有用性が高い。

※John M et al. Fat suppression by Section-Select Gradient Reversal on Spin-Echo MR imaging. Radiology 1988.168 493-95

# まとめ

- 周波数選択的脂肪抑制とは化学シフトを利用した脂肪抑制法.
- 脂肪の同定や造影撮像に利用できる.
- SNRは高いが、 $B_0$ 不均一による脂肪抑制不良がある.
  
- CHESSは脂肪の共鳴周波数に飽和パルス照射する脂肪抑制法.
  
- Spec IRはCHESSとSTIRを組み合わせた脂肪抑制法.  
90°以上のFAを利用し、高い脂肪抑制効果が得られる.
  
- SPAIRはadiabaticパルスを使用することで $B_1$ 不均一に強い脂肪抑制法. Null pointの設定があるため、呼吸同期は不向きである.



# 謝辞

このような場を設けていただいた神奈川MRI研究会の世話人の皆様，また脂肪抑制技術について御教授いただきました北里大学病院の秦博文先生にこの場を借りてお礼申し上げます。

本日の内容が皆様の明日からの検査のお役にたてれば幸いです。

ご清聴ありがとうございました。