

第25回神奈川MRI技術研究会

今からでも大丈夫!! MRI入門part2 テーマ 脂肪抑制の基礎

その他の脂肪抑制法 -Dixon法を中心に-

国家公務員共済組合連合会

横浜栄共済病院放射線科

高橋光幸

脂肪抑制法

- 1) 緩和時間(T_1 値)の差を利用する.
- 2) 共鳴周波数の差を利用する.
 - a) スペクトラル飽和パルスを使う. (CHESS法)
 - b) 位相差を使う
Dixon法, Dixon変法, 2項パルス法
 - c) 飽和パルスと位相のずれを使う. OP-FS法
- 3) T_1 と共鳴周波数の差を使う. SPEC IR法

CHESSパルスで抑制されない脂肪 があるという事実

中性脂肪を構成する ^1H はメチル基(CH_3)だけではなく、さまざまな化学シフトをもつ ^1H が存在する。

オレフィン基($=\text{CH}-$)

生体中の中性脂肪に含まれる ^1H の5%を占め、その化学シフトは H_2O とほぼ同じ。

⇒CHESSパルスでは飽和されない。

Dixon法（位相差を利用）

共鳴周波数の差にともなう位相差を利用

H₂OとCH₂の化学シフトは3.5ppm

1.5Tの静磁場下では

$$3.5\text{ppm} \times 42.6\text{MHz/T} \times 1.5\text{T}$$

$$= 3.5 \times 10^{-3} \times 42.6 \times 10^3 \text{Hz} \times 1.5$$

$$= 223.65\text{Hz} \approx 220\text{Hz}$$

水と共鳴周波数の差 220Hz

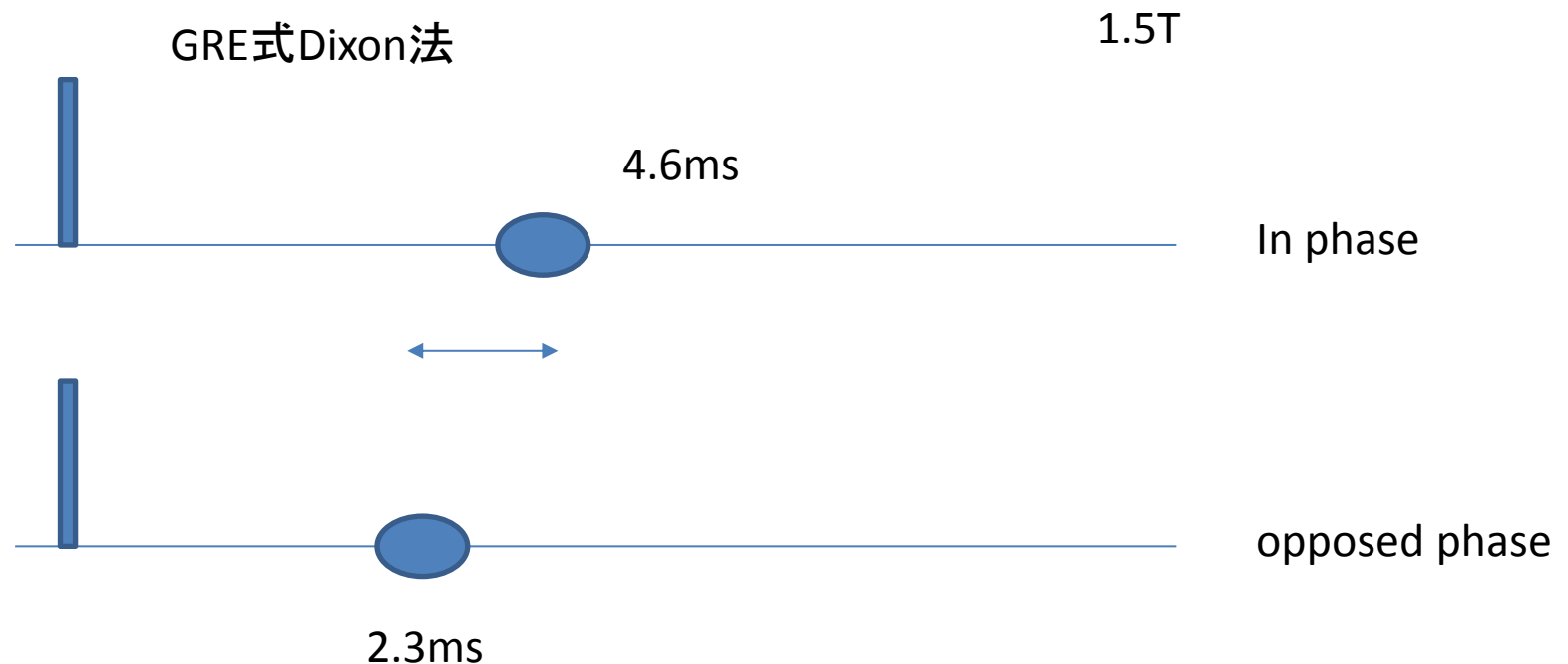
Dixon法

$$\begin{aligned}\text{周期(時間)} &= 1/\text{周波数} \\ &= 1/220\text{Hz} \\ &= 0.00454545\text{s} \\ &= 0.00454545\text{s} \\ &= 4.54545\text{ms}\end{aligned}$$

この時TE=0 で同位相(in phase)
2.25msで逆位相(opposed phase)
再びTE=4.5msで同位相(in phase)

それぞれの画像を取得

FID, GEにおいてTEをin phase, opposed phaseに設定することで各画像を取得可能である.



Dixon法原理

H₂Oの信号S_w, CH₂の信号S_fとすると

同位相画像: in phase image: $I_1 = S_w + S_f$

逆位相画像: $S_w - S_f$ (絶対値): $I_2 = S_w - S_f$

$$I_1 + I_2 = S_w + S_f + S_w - S_f$$

$$I_1 + I_2 = 2S_w \quad S_w = (I_1 + I_2)/2$$

Water Image

$$I_1 - I_2 = S_w + S_f - S_w + S_f$$

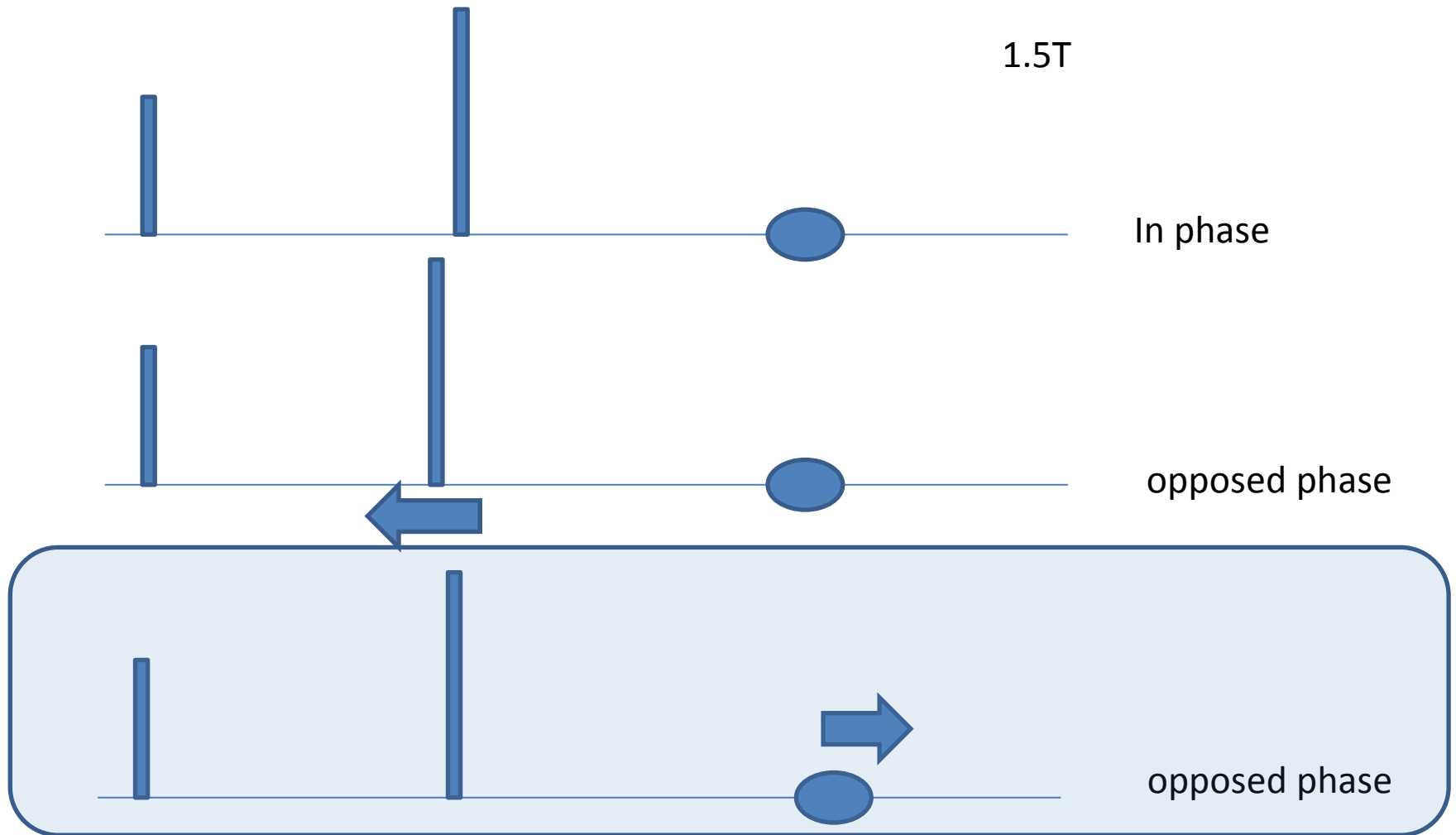
$$I_1 - I_2 = 2S_f \quad S_f = (I_1 - I_2)/2$$

Fat Image

どの教科書もDixon法を調べると、この説明書きがある.

1984 Dixon法

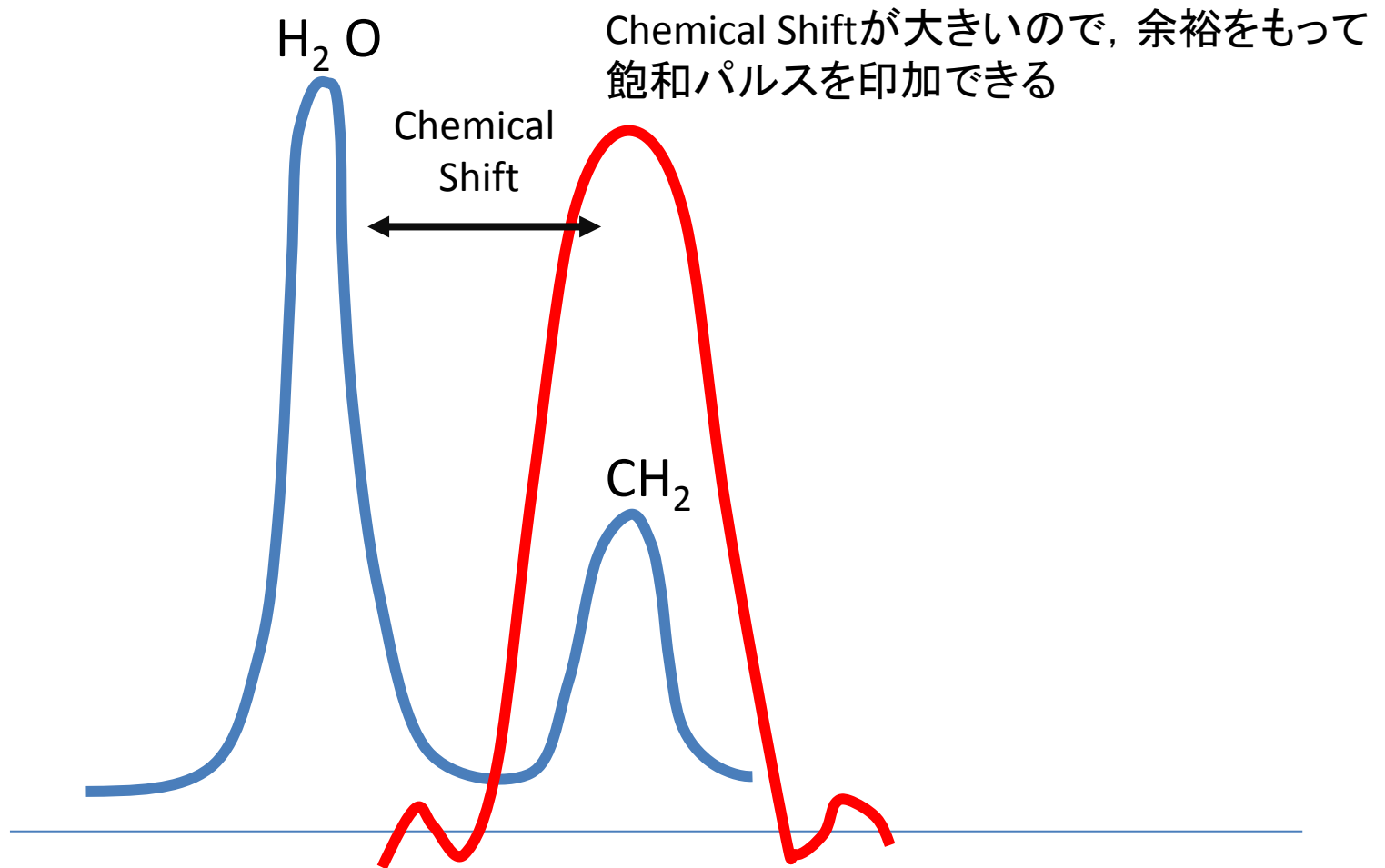
GE法でなくて, SE法を用いた. SE法で逆位相?



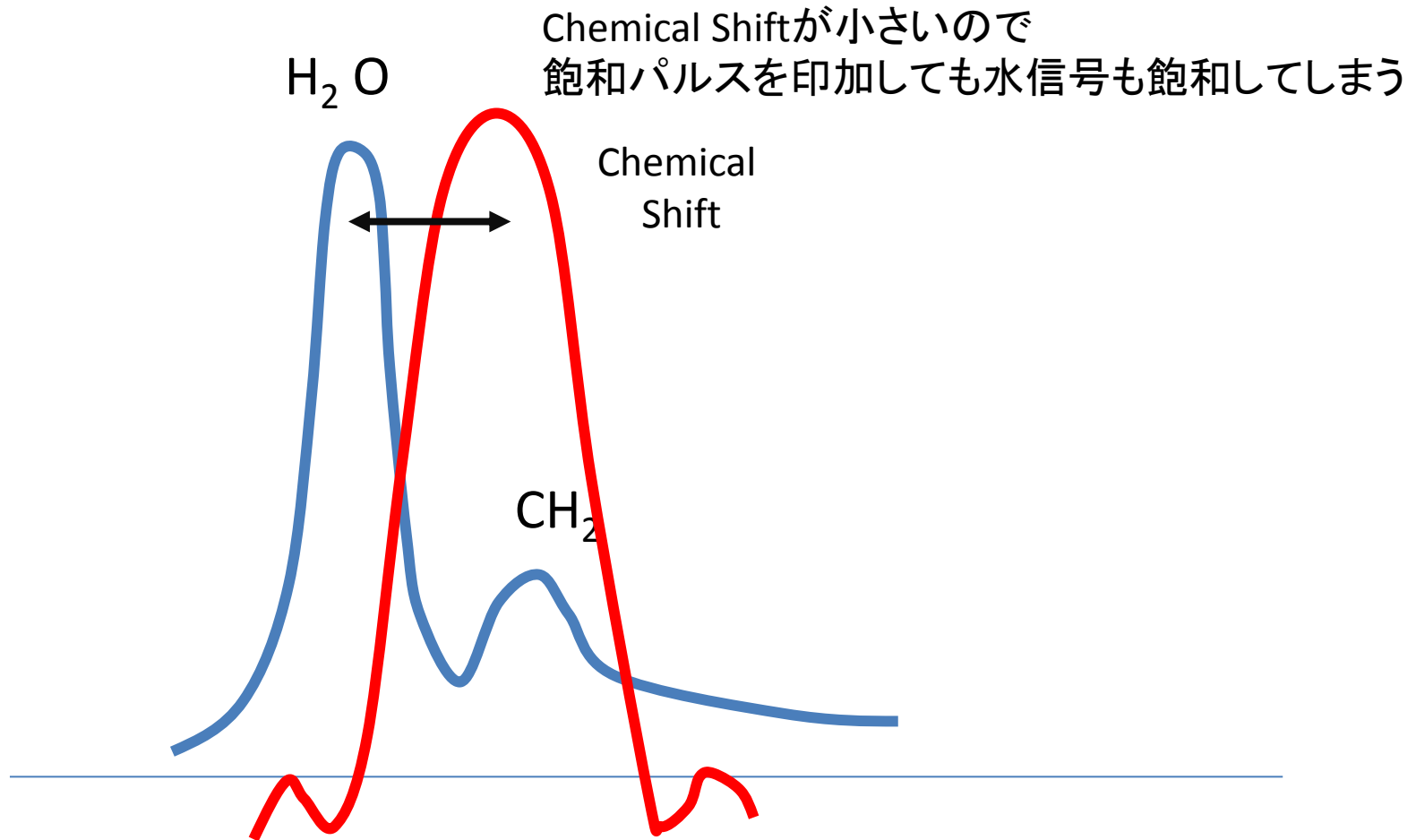
Dixon法の利用のされ方

高磁場であれば、あるほどの H_2O と CH_2 共鳴周波数の差(位相差)は大きくなる. このことは飽和パルスを利用するにおいて、水信号を抑制しないで、脂肪信号のみを飽和させる. ということに関しては非常に有利に働く. 一方、永久磁石装置などの低磁場装置では、共鳴周波数の差は小さいため、飽和パルス法を利用するとより水信号を抑制してしまう. そこでDixon法による計算画像が用いられてきた.

高磁場装置



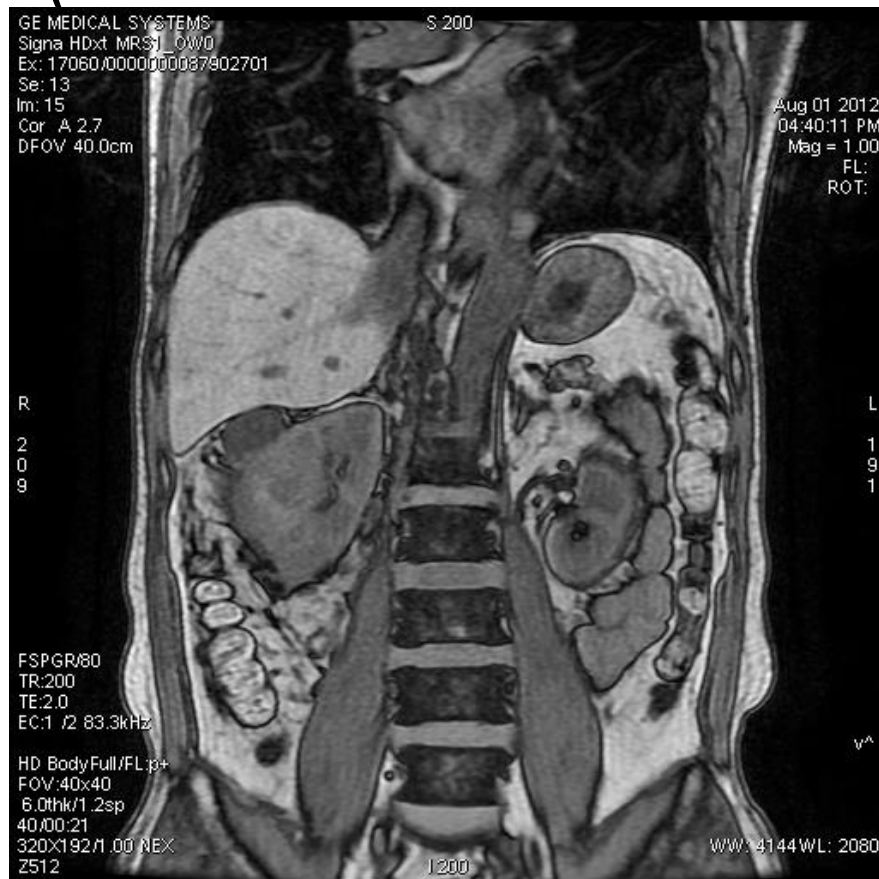
低磁場装置



Dixon法は従来は埋もれていた

第2の化学アーチファクト

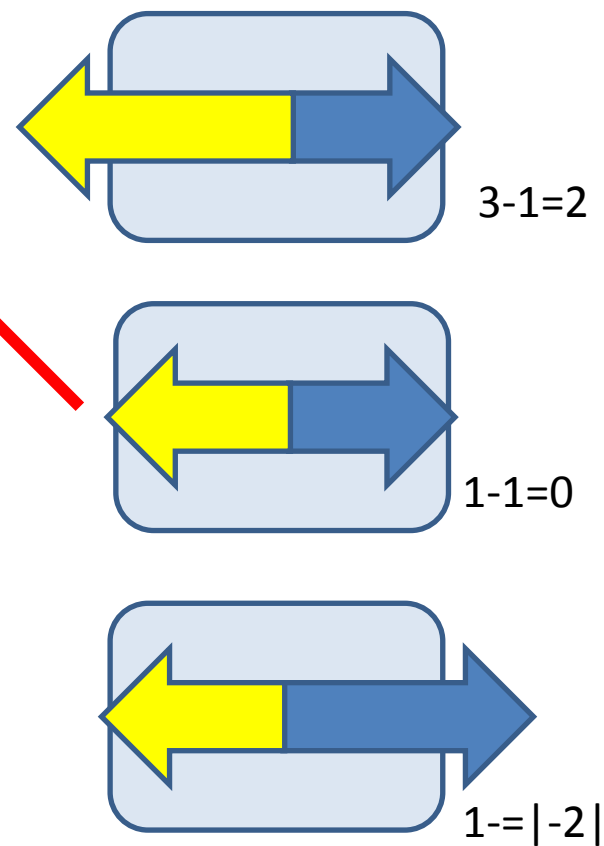
(chemical shift of the second kind)



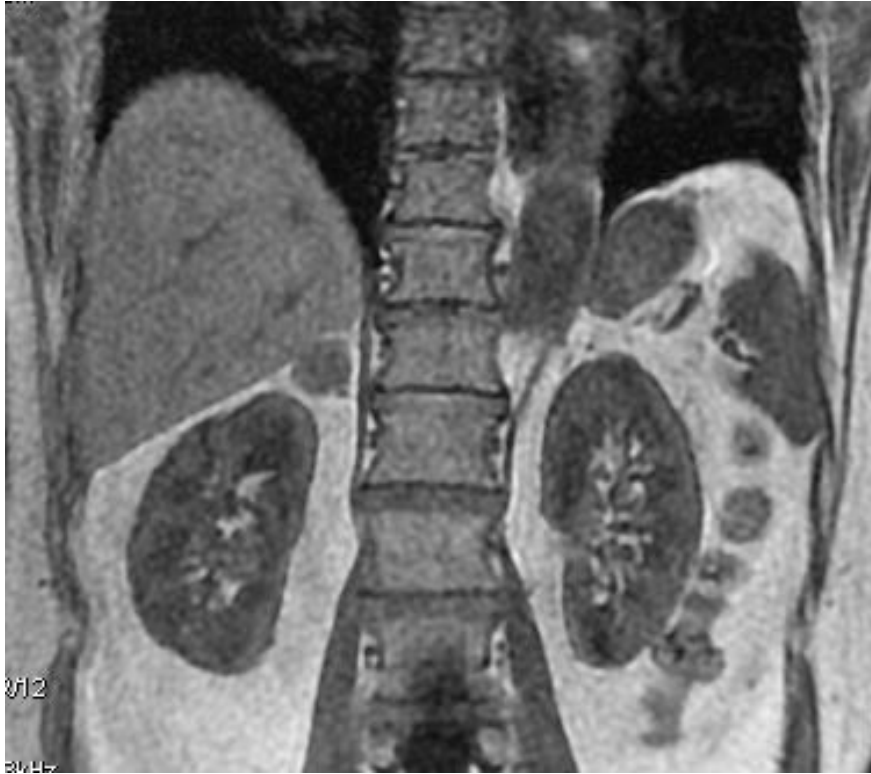
GE法 (double echo型)

chemical shift imaging

境界効果(boundary effect)



副腎皮質腺腫症例

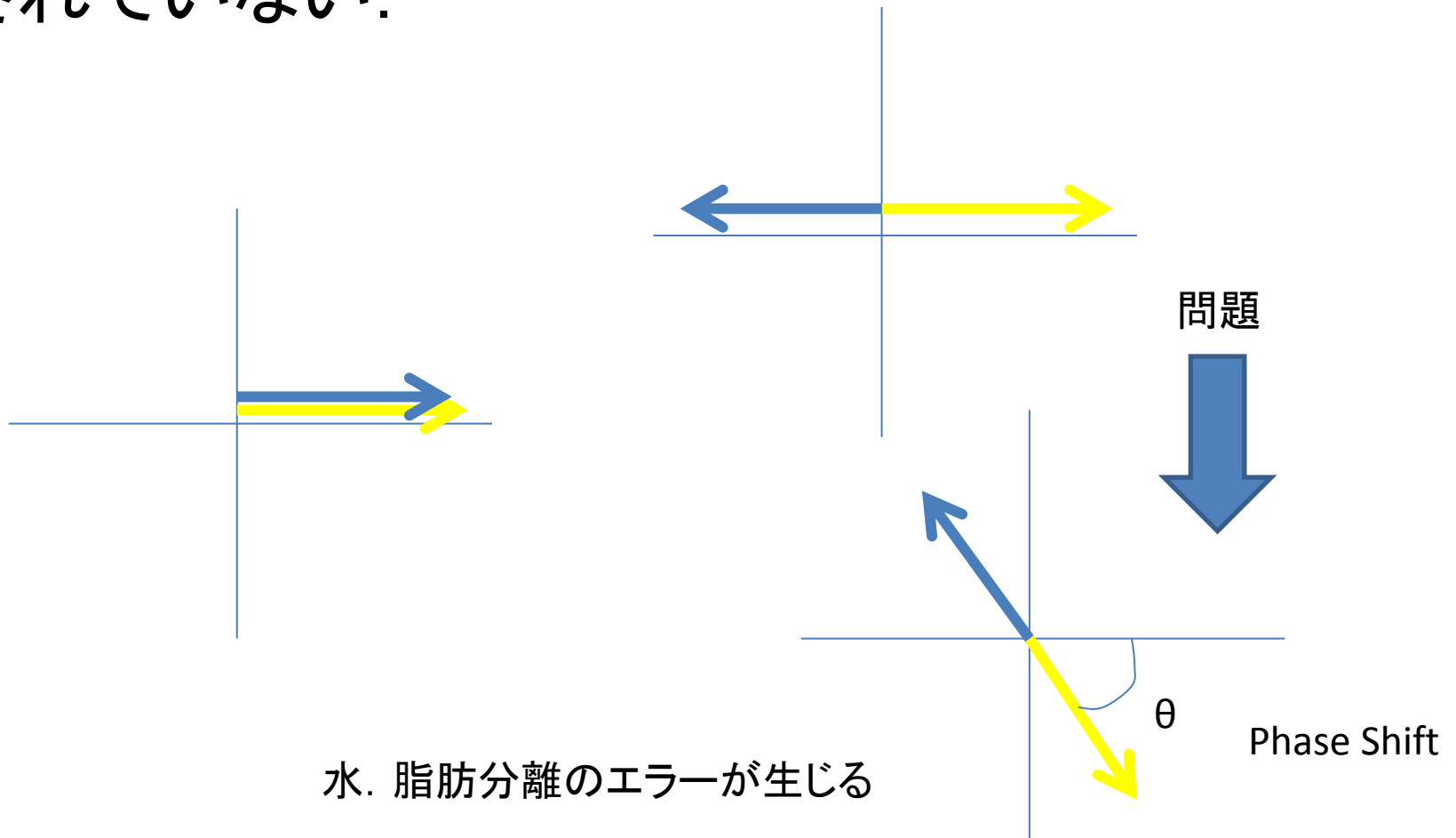


副腎皮質腺腫には水とともに中性脂肪と同様の化学シフトを持つ ^1H が大量に存在.
逆位相で低信号.

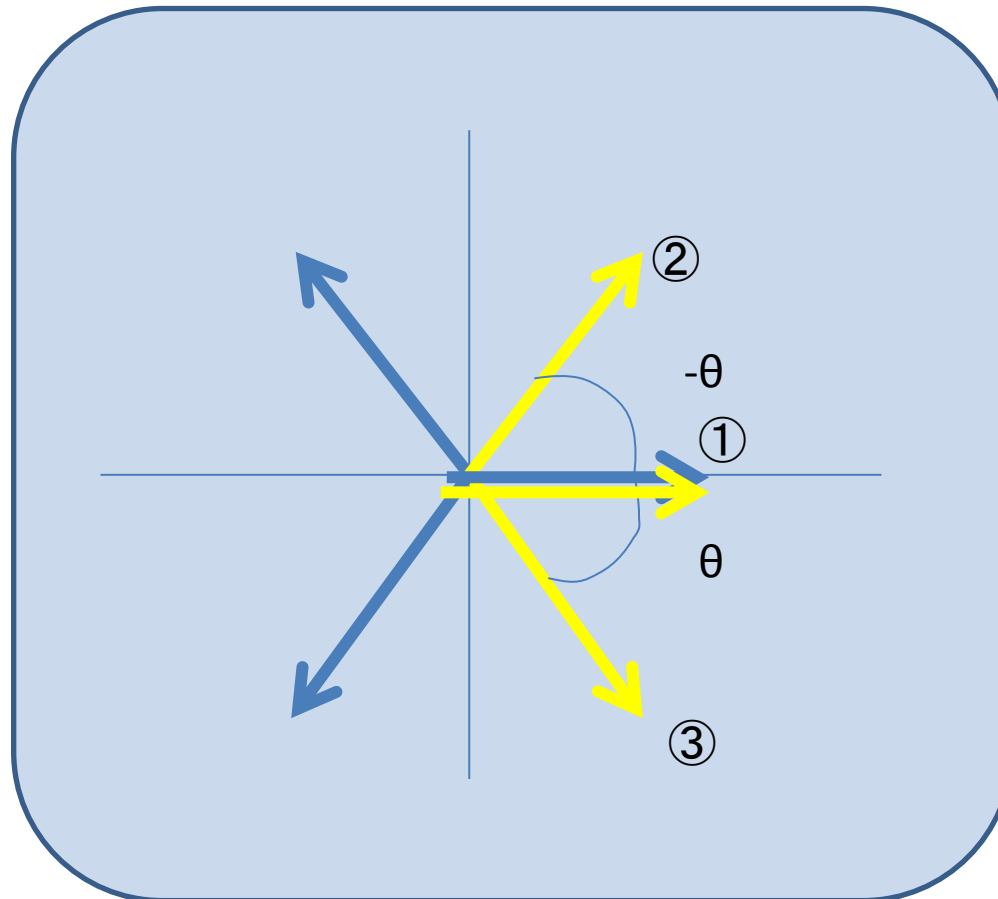
微量な脂肪の検出 $\Rightarrow$ これもひとつの脂肪抑制法

Dixon法の問題点

磁場の不均一の影響によるPhase Shiftが考慮されていない。



three point Dixon法



2つのopposed phaseから磁場不均一な影響は補正される

Symmetrical three point Dixon法

五十嵐太郎 three point Dixon法-three point Dixon法の原理とピットホール
INNERVISION(28・9) 2013

Symmetrical three point Dixon法

画素内の水と脂肪の割合により, 信号強度が安定しない欠点=分離エラー

位相 $(-2\pi/3, 0, 2\pi/3)=(-60, 0, 60)$

Lodes, C.C., et al. : Proton MR Chemical Shift Imaging using Double and Triple Phase Contrast Acquisitions Methods. J. Comput. Assist. Tomogr. , 13, 855~861, 1989.

Asymmetrical three point Dixon法

Iterative decomposition of water and fat with
echo asymmetry and least-squares estimation

(IDEAL)

反復 分解 水・脂肪 非対称エコー 最小二乗法

Reeder, S.B. et al. : Iterative Decomposition of water and fat with echo asymmetry
And least-squares estimation(IDEAL); Application Fast Spin-Echo Imaging .
Magn.Reson. Med , 54, 636~644, 2005



water

fat

in phase

opposed phase

画素内の水と脂肪の割合に左右されことなく、水・脂肪分離画像が作成可能

IDEALの概要

IDEAL & FLEX ... 局所磁場不均一の克服

GEHCの御好意による

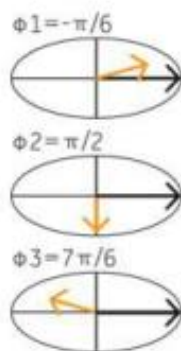
(-30, 90, 210)

IDEAL

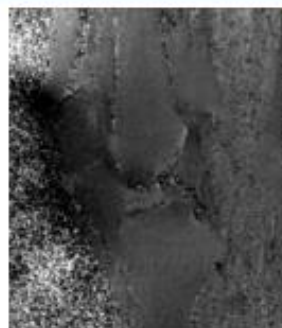
(3ポイント法)

- FSE (T1W, T2W, ρ)
- 3D FGRE/FSPGR

Fat →
Water →



フィールドマップ



全ピクセルにおける
静磁場不均一の計算
(Region Growing)



マルチポイントTE



フィールドマップによる
磁場不均一性の計算



1回の撮影で
4種類の画像を生成

IDEALはなぜ3つのTEを使うのか？

未知のパラメータは次の5つ:

- 水信号の大きさ
- 水信号の位相
- 脂肪信号の大きさ
- 脂肪信号の位相
- 磁場不均一

5つの未知パラメータを求めるには
最低5つの方程式が必要
1つのTEで2つの方程式が得られる
(複素数データ)

局所磁場不均一の補正

位相

2π を超えると正確な水-脂肪分離ができない

位相アンラッピング(phase unwrapping)

画像処理を施すことで、 2π を超えた位相特性を連続的につないでいく

五十嵐太郎 three point Dixon法-three point Dixon法の原理とピットホール
INNERVISION(28・9) 2013

Region growing法

1994 J.Szumowski らによってRegion growing法による位相アンラッピングの手法が提唱

Region growing法は、位相情報の信頼性の高い画素を初期値として、隣接する画素に位相アンラッピング処理をおこなう。位相アンラッピング処理を行われた画素から、さらに隣接画素に展開拡張しながら、画素の位相誤差を紐解いていく。

Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation
(IDEAL)

Region growing法の特徴

理論は簡便ではあるが、初期値を信頼性の低い画素に定めてしまうと、面内の位相アンラッピングにエラーが生じる.

初期値の設定が重要

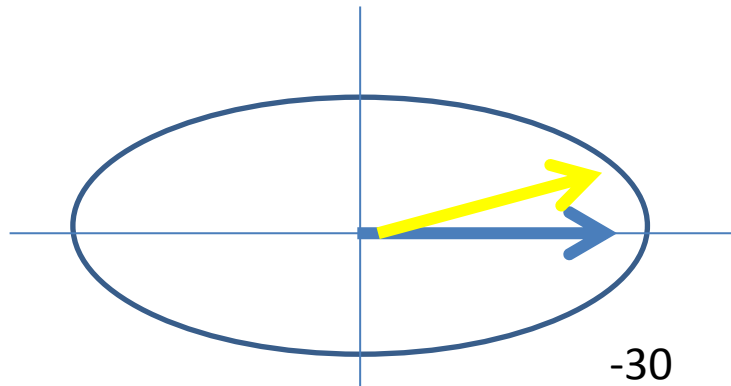
super pixel segmentation による region growing による位相アンラッピング

2005 Yu.

撮像された画像に対して、ダウンサンプリングを行い、これを基にfield Mapを作成.

信頼性の高い初期値を推定. region growing による位相アンラッピングを施すことで, Mapの位相情報の精度を向上. Mapによる撮像断面の位相情報が推定されていれば, 線形二乗法で近似可能となり. 磁場不均一の影響のない水-脂肪分離画像が得られる

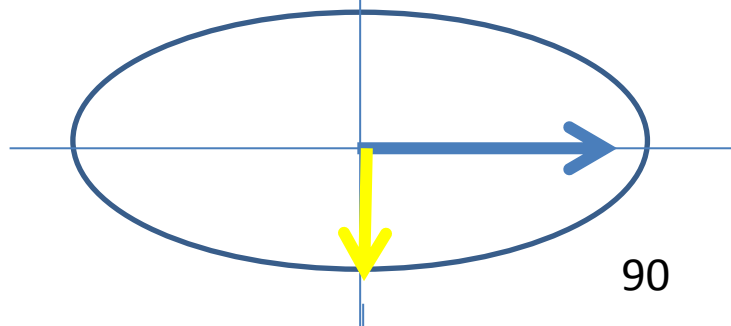
3つのTEの設定法



$$2\pi = 4.54\text{ms}$$

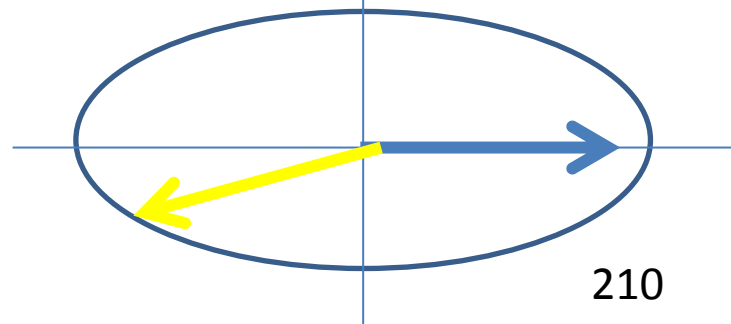
$$360 = 4.54$$

$$-30 = -0.37\text{ms}$$



$$360 = 4.54$$

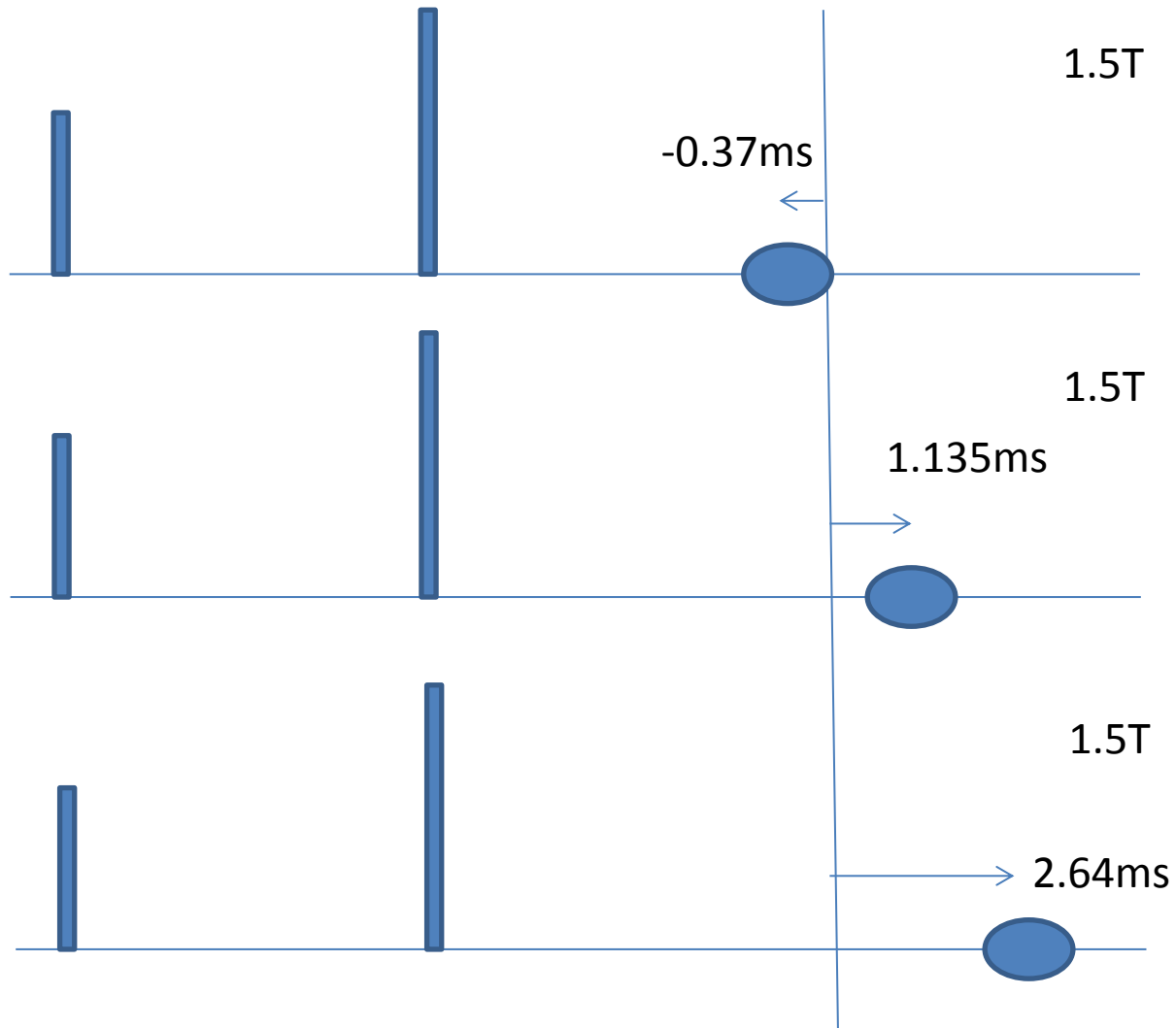
$$90 = 1.135\text{ms}$$



$$360 = 4.54$$

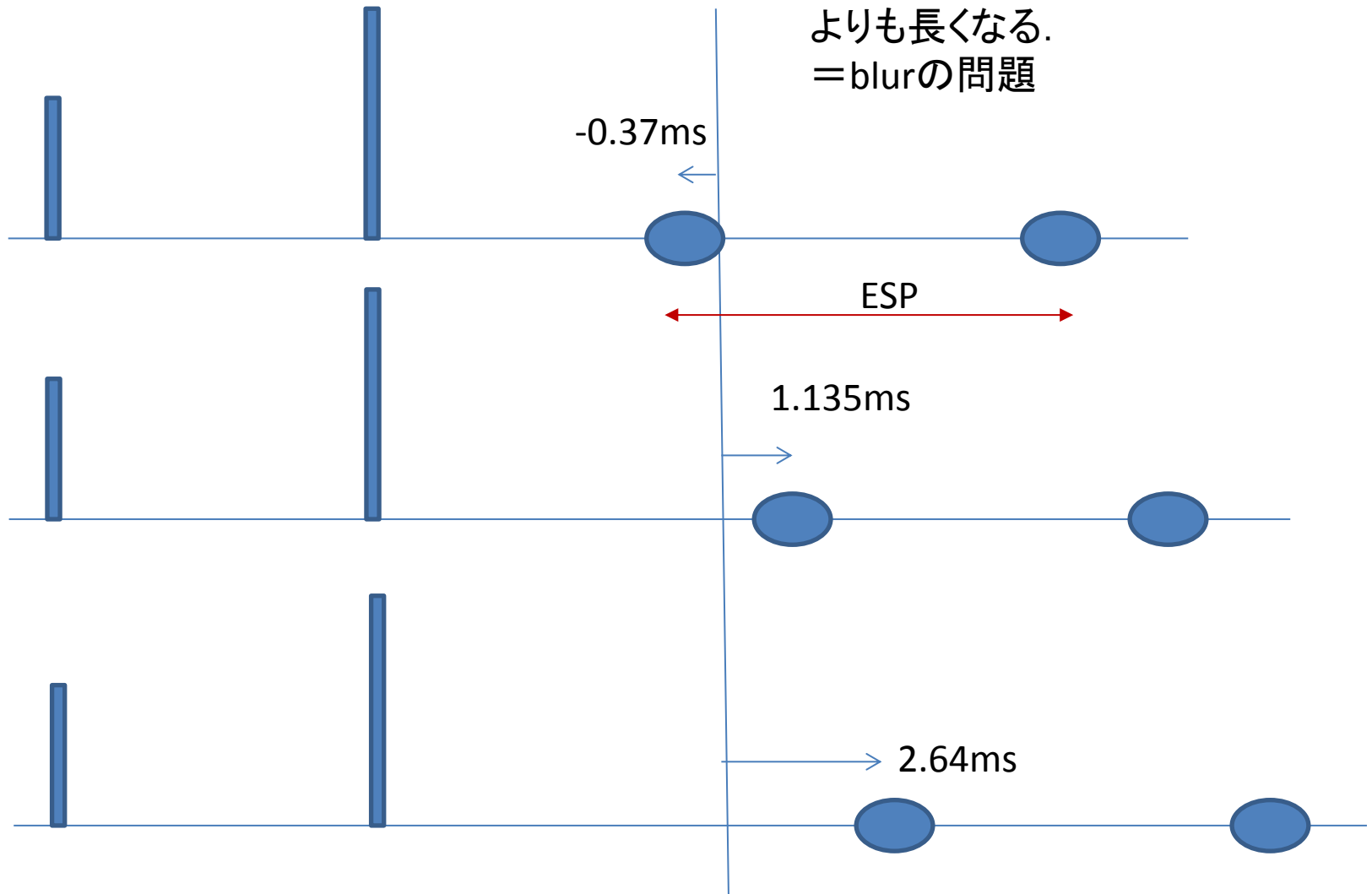
$$210 = 2.64\text{ms}$$

3つのTEの設定法



ESPが長くなる

FSEの場合ESPが通常のFSE
よりも長くなる.
=blurの問題



IDEAL法の臨床応用



STIRを使わないので, SNが高い脂肪抑制T2強調画像が撮影できる
通常のFSE 1NEXの3倍の撮影時間がかかる.

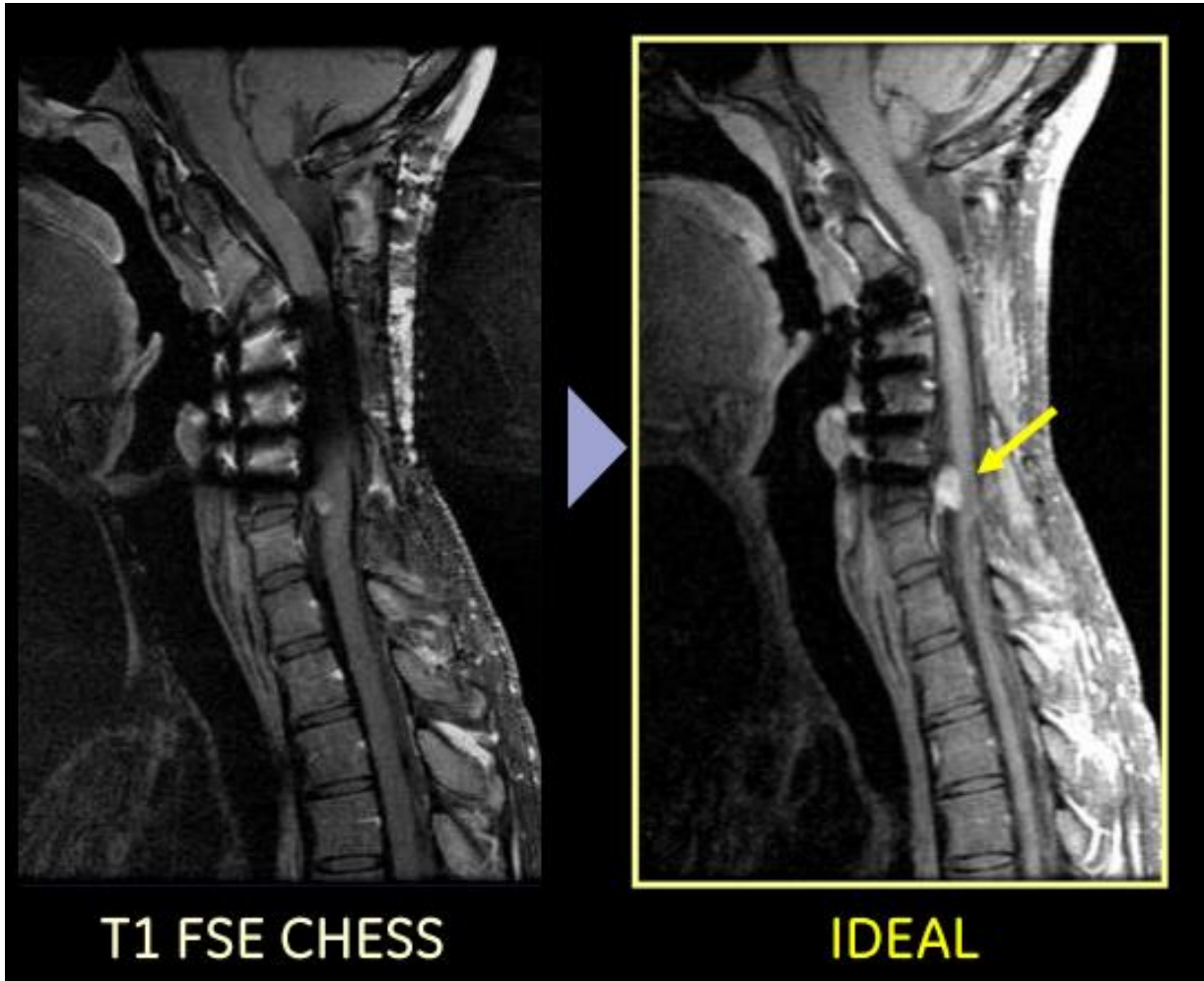
IDEAL法の臨床応用



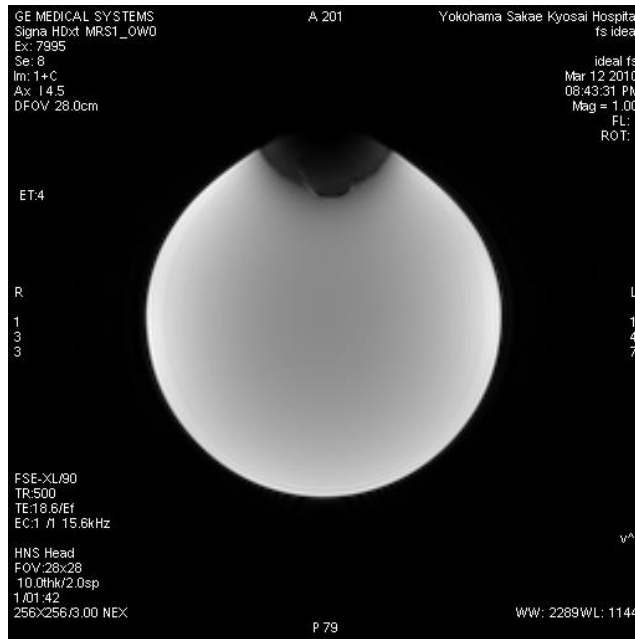
磁場が不均一な頸部において、均一で良質な脂肪抑制T1強調画像が利用できる

IDEAL法の臨床応用

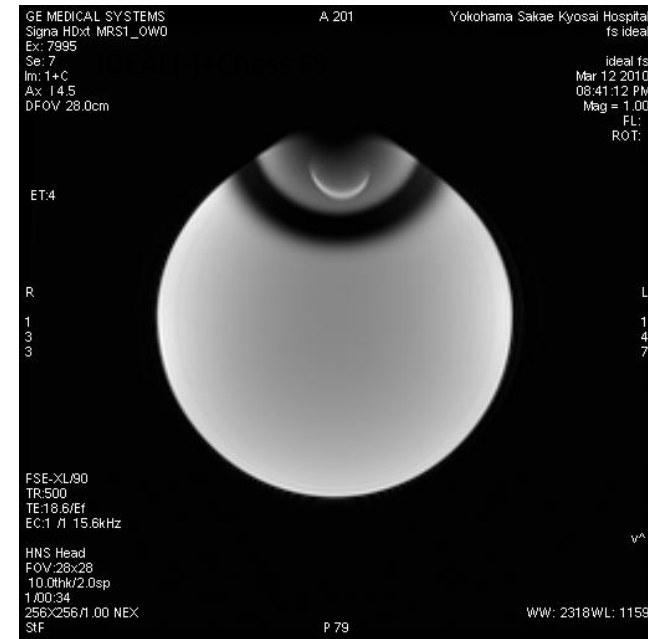
GEHCの御好意による



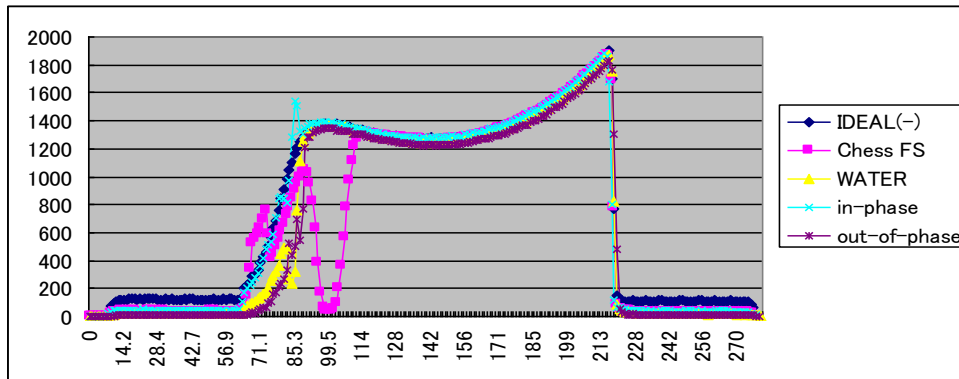
Susceptibility artifact



IDEAL WATER



CHES



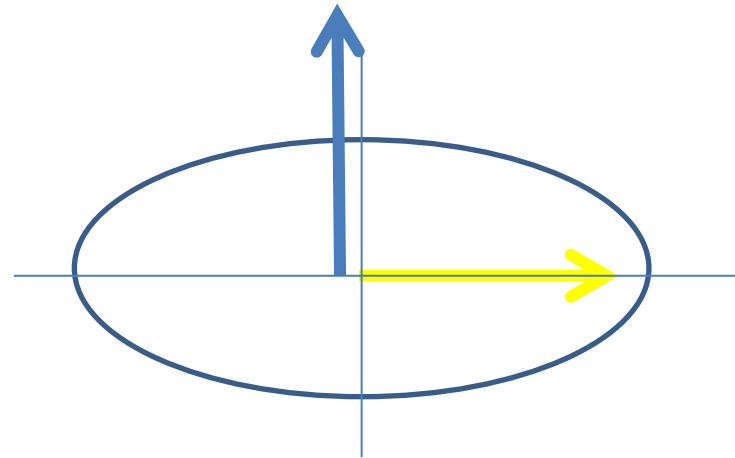
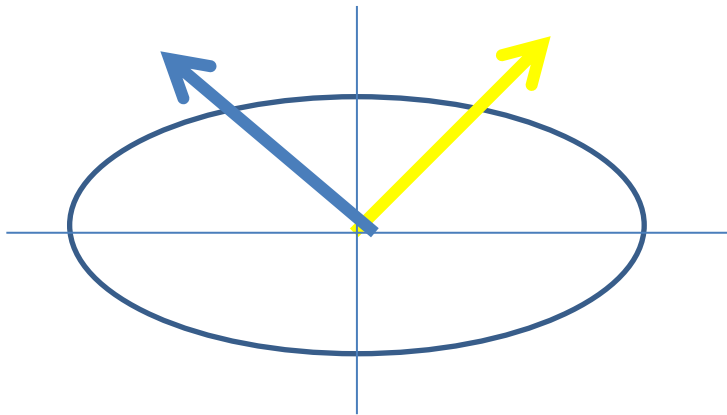
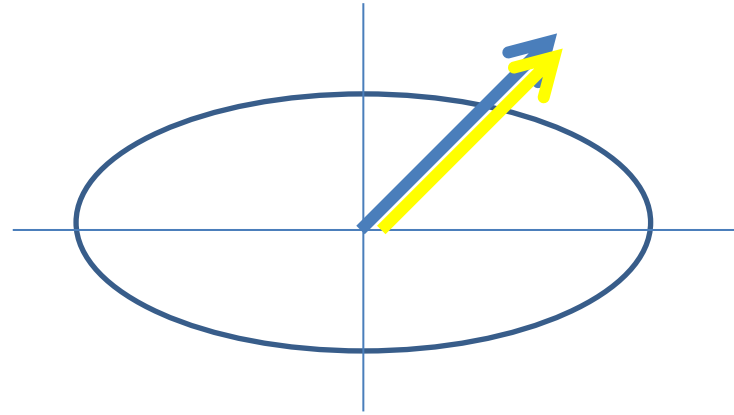
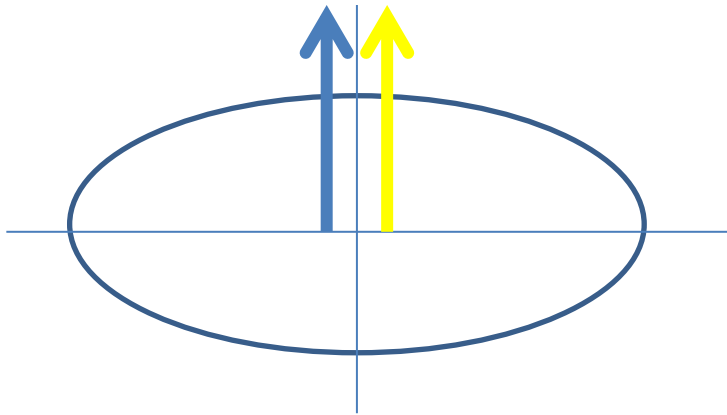
飽和パルスが水信号を飽和させる

2項パルス法

水のみを励起する

1-1, 1-2-1, 1-3-3-1等に 分割し, 位相差を利用して水のみを励起する.

2項パルス法(1:1 45° - 45°)



局所磁場が不均一な場合は成立しない. = 磁場の不均一に鋭敏な方法

水励起の臨床画像



SSRF

TEが非常に長い5.3ms T2*の影響が懸念される 飽和パルスを印加するためTRが長い。
励起する時間が長い。そのためTR, TEとも長い。 TEは短い



CHES

まとめ

脂肪抑制法に関して、現在はCHESSによる方法が一般的である。最近、Dixon法が再度見直され、three point Dixon法であるIDEAL法が、臨床で用いられるようになった。より正確な水-脂肪分離を行う計算画像である。IDEAL法は、頸部などの磁場の不均一な部位における脂肪抑制法として、第一選択で用いられるようになった。一方で、ESPなどの延長によるblur。また撮影時間延長などの問題もある。STIR法も含め、選択する側がよく理解した上で臨床に使う必要があると思われる。