

IDEAL法における計算不良アーチファクトについての検討

坂本 崇¹⁾、栗栖健郎¹⁾、上田新也¹⁾、竹村信房¹⁾、肥合康弘²⁾

Examination of Misregistration Artifact on Iterative Decomposition of Water and Fat with Echo Asymmetry and Least-Squares Estimation (IDEAL) Method

Takashi Sakamoto¹⁾、Kenro Kurisu¹⁾、Shinya Ueda¹⁾、
Nobufusa Takemura¹⁾、Yasuhiro Hiai²⁾

Abstract : Existence of metal in magnetic resonance imaging (MRI) is very troublesome. In recent years, Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL) using 3-points Dixon technique become used as the useful method for uniform fat suppression at the magnetic field inhomogeneity. However, misregistration artifact appeared under some conditions. Purpose of this study is searching for conditions of misregistration artifact on IDEAL method.

We have created the phantom which had contained oil, water and the titanium. The relation of misregistration artifact and seed-point of region growing technique was analyzed by shifting the position of metal, changing the position of FOV. Misregistration artifact on IDEAL method was sometimes occurred to existence the metal at center of phantom under the each conditions.

Key words : MRI, artifact, fat suppression, Dixon, IDEAL

I. 緒言

脂肪抑制はmagnetic resonance imaging (MRI)にとって非常に重要なものであり、その臨床応用は多岐に渡っている。しかし、脂肪抑制シーケンスは原理上、磁場の不均一によって脂肪信号の抑制が難しい場合もある。特に、chemical shift saturation (CHESS) 法はケミカルシフトを利用しているため、磁場の不均一に弱い。そこで、磁

場の不均一な部位ではしばしばshort TI inversion recovery (STIR) 法が用いられるが、この方法は脂肪と同じようなT1値を持つ組織はすべて抑制されてしまうという問題が残る¹⁾。これらの方法以外にも様々な脂肪抑制法があるが、その中の1つに水と脂肪の位相差を利用したDixon法がある。

これは水と脂肪の位相が相殺された逆位相画像と、水と脂肪の位相がそろった同位相画像を演算することにより、水画像や脂肪画像を得る方法で

1) 熊本市民病院放射線技術室 2) 熊本大学大学院生命科学研究部医療技術科学講座

投稿責任者: 坂本 崇 sakamoto.takashi@cityhosp-kumamoto.jp

ある。初期のDixon法では2組のデータを用いていたが、磁場の不均一を補正する目的で、現在では3組のデータを用いた3-point Dixon法が一般的である。近年では、この3-point Dixon法を応用し、さらに同時にField Mapを取得して、ピクセルごとの位相補正を行うIterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL)が登場した。通常、3-point Dixon法では水と脂肪の位相差を -120 度、 0 度、 120 度という対称なTEに設定するが、このIDEAL法では -30 度、 90 度、 210 度といった非対称なTEとすることで、水と脂肪が同程度含まれるボクセルにおいても確実な脂肪抑制効果が得られる。また、IDEAL法では従来のDixon法とは異なり、Field Mapを用いている。このField MapはAsymmetric TEにより取得したデータから各ピクセルの磁場不均一量を算出したものであり、それをもとに各ピクセルでの位相回転を補正することで脂肪抑制不良を引き起こす局所的な磁場不均一の影響を最小限に抑えている。しかしながら、このIDEAL法においても特定の条件で磁場不均一な部位では、計算不良アーチファクトによる脂肪抑制不良を引き起こすことがある。

これまでにYuらはIDEAL法におけるField MapにRegion Growing法を用いる手法を開発し、報告している²⁾。また、Berglundらはbody mass index(BMI)19.8-45.4 kg/m²の肥満の39症例において全身撮像におけるIDEAL法の有用性について報告している³⁾。しかし、この計算不良アーチファクトが磁場の不均一および撮像シーケンスとどのように関係しているのかについての報告はなされていない。

そこで本研究は、磁場の不均一および撮像シーケンスが、IDEAL法における計算不良アーチファクトにどのように関係しているのかについて検討することにより、計算不良アーチファクトの発生する条件を探ることを目的とした。

II. 検討方法

1. 使用機器

MRI装置はGE社製 Signa HDxt 1.5Tesla(T)、撮像コイルはQD Body Coil、ファントムはデータ・スペクトラム社製DELUXE modelを使用した。模式図をFig.1に示す。ファントムは円形で、脂肪成分として食用調合油(なたね、大豆油)および蒸留水を封入した。また、計算不良アーチファクトを発生させるためには磁場の不均一を作り出す必要があるため、弱い常磁性体であるTi(100%)製のものをを用いた。形状は $15 \times 50 \times 2$ mmのプレート型である。なお、解析ソフトはImageJ(Ver.1.45, NIH)を使用した。

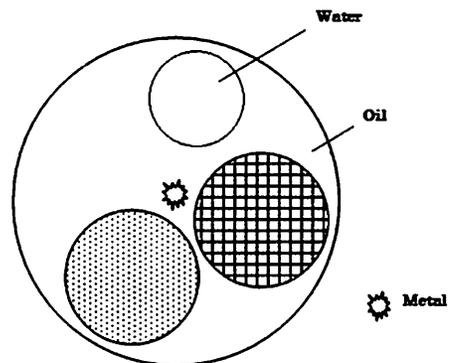


Fig.1 ファントム模式図

2. 検討項目

IDEAL法における計算不良アーチファクトが局所磁場不均一な位置に依存して発生するものなのか、あるいはFOV内の被写体の位置に依存するものなのか、T1強調画像やT2強調画像などの撮像シーケンスに依存するものなのかを検討するため、以下の条件で撮像を行った。

1) ファントムに対する金属の位置の違いによる検討

Fig. 2 のようにファントム中心を点A、それより5cmの点をB、10cmの点をCとし、ファントムに対する金属の位置を変えて撮像した。このときFOVの位置は固定した。

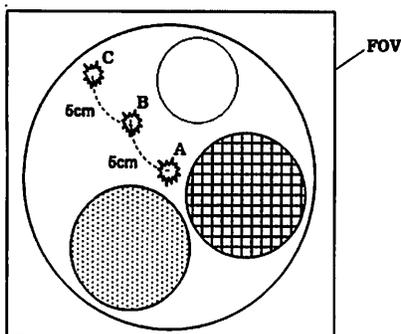


Fig.2 ファントムに対する金属の位置を変えた場合の模式図

2) FOVの位置の違いによる検討

Fig. 3 のようにFOV中心がファントム中心にある場合をFOV A'、ファントム中心より2.5cmをFOV B'、ファントム中心より5cmをFOV C'とした。FOVの大きさは固定し、その位置を変えて撮像した。このとき金属の位置はファントム中心に固定した。

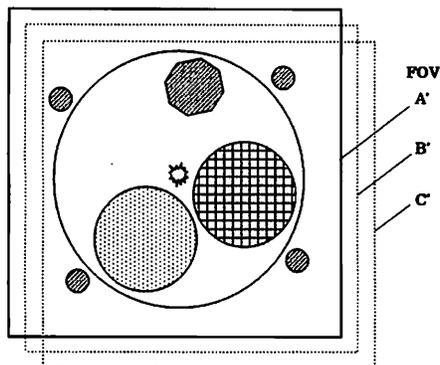


Fig.3 FOVの位置を変えた場合の模式図

3) 撮像シーケンスの違いによる検討

検討項目1)、2)について、それぞれT2強調画像およびT1強調画像で撮像し、比較を行った。

撮像後、ImageJを用いて円型ファントム内のアーチファクト領域をプロットし、その面積を計測した。その測定結果よりそれぞれの計算不良アーチファクト出現率およびアーチファクト面積の平均を求めた。なお、このとき金属およびFOVの移動方向については位相、周波数方向に配慮し、それらの中間へ移動させ、撮像回数はT2強調画像およびT1強調画像でそれぞれ20回ずつ行った。

3. 撮像条件

撮像シーケンスはIDEAL-FSEを使用した。撮像パラメータをTable. 1 に示す。今回の撮像パラメータについては、通常臨床で使用しているものに近い設定で検討した。

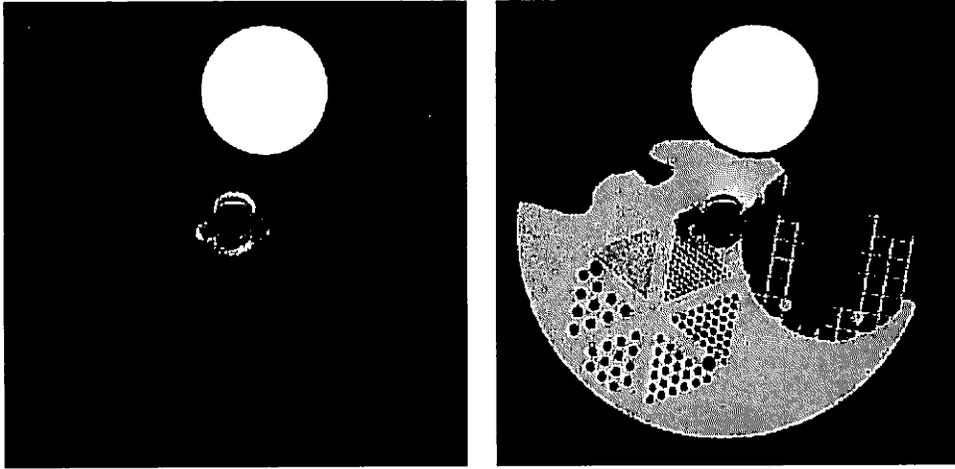
table.1 撮像パラメータ

	T2WI	T1WI
TR(msec)	3000	500
TE(msec)	100	15
FOV(mm)	300	300
slice thickness(mm)	8	8
matrix(phase×frequency)	256×256	256×256
ETL	16	3
ES(msec)	15.4	13.4
BW(kHz)	31.25	31.25

III. 結果

実際に計算不良アーチファクトが発生したT2WI-IDEALでの例をFig. 4 に示す。

通常はFig. 4 a のように食用油で満たされたファントムは、金属部分を除き均一に脂肪信号が抑制されているが、Fig. 4 b は脂肪信号が抑制されていない領域が発生している。



a. 通常例 b. 計算不良アーチファクト発生例

Fig.4 T2WI-IDEALにおける計算不良画像の例

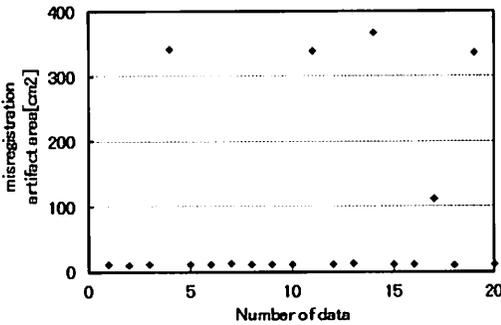


Fig.5 検討項目1)の点Aでの
計算不良アーチファクト面積

ここで、計算不良アーチファクト出現率およびアーチファクト面積を求める際に、計算不良アーチファクト発生の有無の判定が必要となる。本研究では、その判定の方法を以下のように行った。Fig. 5に検討項目1)の点Aでの計算不良アーチファクト面積を示す。この条件の場合、計算不良アーチファクト面積が20cm²以下の領域に集中している。この群を金属が存在するために発生する信号変化とし、計算不良アーチファクトは発生して

いないものとして扱った。そして、それ以外を計算不良アーチファクトが発生しているものとして、結果を算出した。なお、検定はフィッシャーの正確確率検定において危険率5%で行った。

1) ファントムに対する金属の位置の違いによる検討

アーチファクト出現率の結果をFig. 6に示す。それぞれaがT2強調画像、bがT1強調画像である。金属がA点にある場合、T2強調画像で25%、T1強調画像で20%となり、B、C点に金属がある場合に比べ、有意に高い出現率を示した(p<0.05)。

2) FOVの位置の違いによる検討

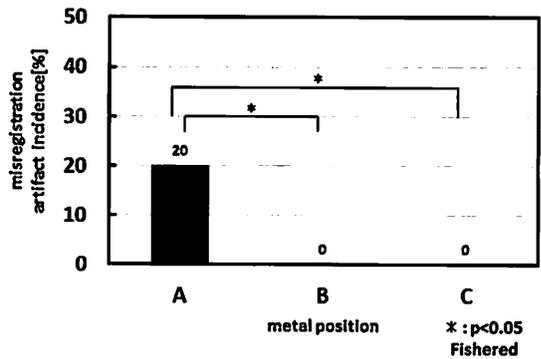
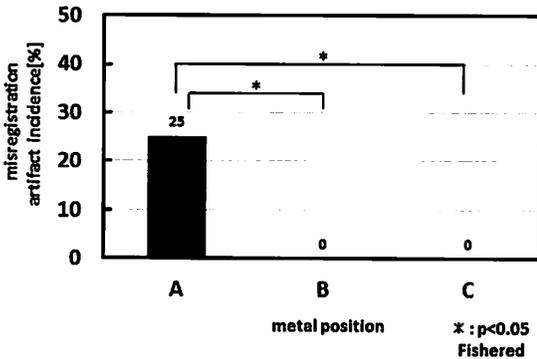
アーチファクト出現率の結果をFig. 7に示す。それぞれaがT2強調画像、bがT1強調画像である。FOVの位置の違いによるアーチファクト出現率は、T2強調画像およびT1強調画像において10%~35%とばらついているが、いずれにおいても有意差は認められなかった(p>0.05)。

3) 撮像シーケンスの違いによる検討

アーチファクト出現率についての結果をFig. 8に示す。T2強調画像およびT1強調画像のアーチファクト出現率については撮像シーケンス間での有意差は認められなかった($p>0.05$)。

アーチファクト面積についての結果を、Fig. 9に示す。金属の位置の違いによるアーチファクト

面積は点AにおいてT2強調画像で189.3cm²、T1強調画像で123.2cm²となり、T2強調画像のほうが広範となった。FOVの位置の違いによるアーチファクト面積についてはFOV A'、B'ではT2強調画像がT1強調画像よりも広範となったが、FOV C'ではほぼ同じであった。



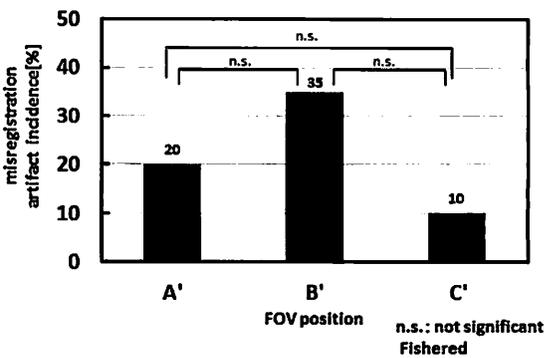
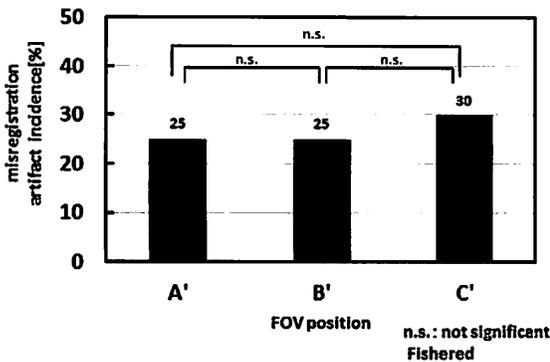
a.

b.

Fig. 6 ファントムに対する金属の位置の違いによるアーチファクト出現率

a. T2強調画像

b. T1強調画像



a.

b.

Fig. 7 FOVの位置の違いによるアーチファクト出現率

a. T2強調画像

b. T1強調画像

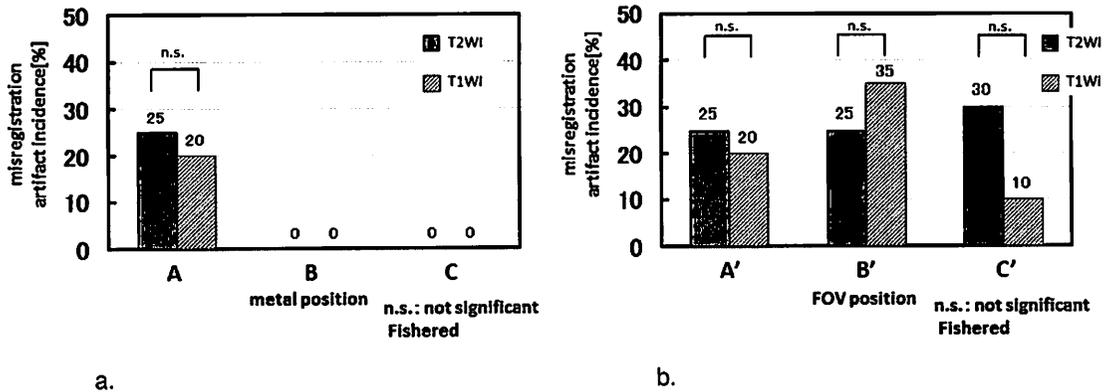


Fig. 8 T2強調画像およびT1強調画像のアーチファクト出現率

- a. 金属の位置の違いによるアーチファクト出現率
- b. FOVの位置の違いによるアーチファクト出現率

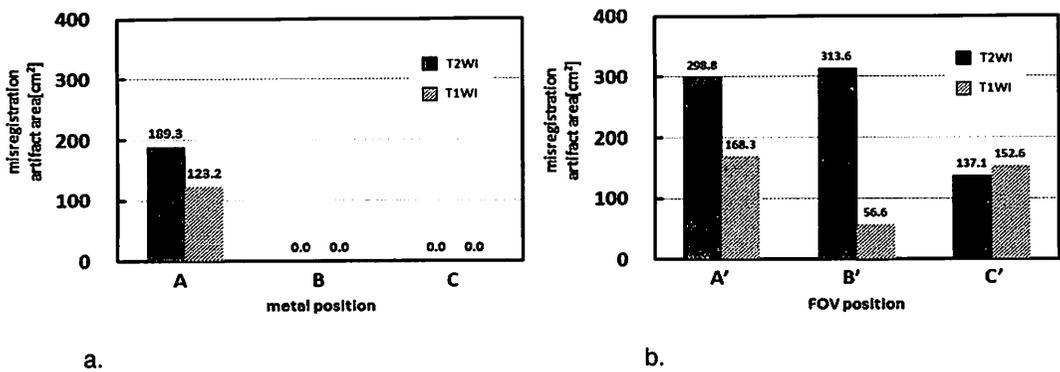


Fig. 9 T2強調画像およびT1強調画像のアーチファクト面積

- a. 金属の位置の違いによるアーチファクト面積
- b. FOVの位置の違いによるアーチファクト面積

IV. 考察

IDEAL法では各々のピクセルにおける磁場不均一量を計算したField Mapにより、位相補正を行う。このField MapにはRegion Growing法が用いられており、これは始点となるピクセル (seed-point) から隣接する位相差の小さいピク

セルに領域を拡張していくものである。Region Growing法は理論的に簡便で処理時間が速いといった反面、位相差のみを参照して領域を拡張していく。そのためにノイズやアーチファクト等で抽出対象の近傍に同じような位相差の物質がある場合は抽出対象外のピクセルも領域として取り込んでしまうという問題がある⁴⁾。本研究の場合、金属が存在するために発生する信号変化によって

Region Growing法での抽出エラーが発生し、水と脂肪を誤認識したことで計算不良アーチファクトを引き起こしたと考えられる。また、このアーチファクトはField Map作成時のRegion Growing法における抽出エラーが原因であり、画像の位相方向および周波数方向に依存するものではない。

Fig. 6, 7より、ファントムに対する金属の位置が変われば計算不良アーチファクトは発生しなくなり、FOVの位置には依存しないことが分かった。つまり、金属がファントムの中心にある場合のみ計算不良アーチファクトの出現率が高くなる。IDEAL法におけるRegion Growing法においてはAsymmetric TEにより得られた画像をAveraging処理、Down-sampling処理をした後、その画像からFOV内にある被写体の重心を数学的に決定し、その重心をseed-pointとして設定する²⁾。この設定方法によれば、本研究の場合、seed-pointとなる重心はファントムの中心に設定されるはずである。ファントムの中心に金属がある場合のみ計算不良アーチファクトの出現率が高くなることを併せて考えると、seed-point上に静磁場を乱すものが存在すると、アーチファクトが発生しやすくなると考えられる。すなわち、金属が存在する点にseed-pointが設定されてしまうと計算不良アーチファクトの出現率が高くなるということである。本研究では円型のファントムを用いたため、seed-pointとなる重心はファントムの中心となる。実際の臨床においても、このseed-pointは被写体の中心付近に設定されることが予想され、撮像上の工夫により計算不良アーチファクトを低減できる場合があると考えられる。しかし、両大腿部の横断像、頸部の矢状断像といった被写体が2つに分離して存在する等の特殊な場合にはseed-pointとなる重心の決定が難しくなる可能性がある。この点についてはさらに検討が必要である。

アーチファクト面積について、T2強調画像のほうがT1強調画像よりも広範囲に及ぶ傾向が見

られたのは、T2強調画像ではecho train length (ETL)が大きく、実効TEが延長し、位相の分散が大きくなったためと考えられた。

計算不良アーチファクトへの対策として、Field Map作成においてseed-pointを複数設定する方法や局所磁場が均一な部分にseed-pointを設定するなどの改良を行うことによって低減できると考える。また、現在のIDEAL法におけるField Mapは、スライス毎に2Dで作成されている。これより、撮像スライスによっては計算不良アーチファクトが発生する場合としない場合がある。これを防ぐためにRegion Growing法により不連続に抽出された部分を補正する技術、あるいはField Mapを3Dで作成するといった方法の開発等により、さらにアーチファクトを低減できると考える。

V. 結語

IDEAL法では磁場不均一な部位で広範な計算不良アーチファクトが発生することがある。それは局所磁場不均一な物質の存在する位置に関係して発生し、Region Growing法における抽出エラーが原因であると考えられた。

本研究で計算不良アーチファクトとなる条件の一部を明らかにすることができたが、本研究はあくまでファントムでの研究のため、今後は臨床画像についての検討も行い、さらなる原因解析を進めることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) Takayuki N. et al.: Theory of Fat Suppression in MR Imaging: NICHIDOKU-IHO Vol. 52 No. 3 41-58 2007
- 2) Huanzhou Yu, Scott B. Reeder, et al: Field Map Estimation with a Region Growing Scheme for Iterative 3-Point Water-Fat Decomposition: Magnetic Resonance in Medicine 54:1032-1039 (2005)
- 3) Johan Berglund, et al: Three-Point Dixon Method Enables Whole-Body Water and Fat Imaging of Obese Subjects: Magnetic Resonance in Medicine 63:1659-1668 (2010)

- 4) 大石 豪: 修士論文「四基準点法; グローバルトランスフォーム位相アンラッピング処理で生じる歪みの補正技術」12-15, 2005
- 5) Cha J.C. et al., Reducing Metallic Artifacts in Postoperative Spinal Imaging: Usefulness of IDEAL Contrast-enhanced T1-and T2-weighted MR Imaging Phantom and Clinical Studies: Radiology, 259, 885-93(2011)
- 6) Wenmiao Lu, et al: Multiresolution Field Map Estimation Using Golden Section Search for Water-Fat Separation: Magnetic Resonance in Medicine 60:236-244 (2008)
- 7) Reeder SB, Pineda AR, Wen Z, et al: Iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL) :application with fast spin-echo imaging: 2005