

Fresh Blood Imaging を用いた腹部非造影 MRA における経口塩化マンガン造影剤の有用性

真鍋 努¹, 田澤 聡², 安藤 律子³, 鈴木 豊¹,
松本 恒⁴

¹公立刈田総合病院放射線部 ²同放射線科 ³同検査部
⁴宮城県立がんセンター放射線診断科

はじめに

MRI を取り巻く環境は時々刻々と変化し、技術開発の進化とともに侵襲性の少ない非造影 MRA が近年脚光を浴びている。その中の一つとして、Miyazaki らが開発した 3D-FASE 法を用いた非造影 MRA である fresh blood imaging (FBI) がある^{1),2)}。腹部血管を撮影する場合、消化管内の水信号が高信号を来し血管の描出を低下させることが問題となる。今回、我々は MRCP (magnetic resonance cholangiopancreatography) の消化管信号を抑制する目的で開発された経口陰性造影剤である塩化マンガン(II)四水和物 (商品名: Bothdel, 協和発酵・明治乳業) を腹部 FBI 法に適用し、消化管信号の抑制、血管描出能について検討したので報告する。

対象と方法

はじめに、ファントムを用い造影剤の濃度の異なる溶液の緩和時間と FBI 法における各溶液の信号強度を測定、緩和時間の短縮が FBI 法の信号強度に与える影響を検討し、消化管信

号の効果的抑制が得られるエコー時間 (TE) を求めた (実験 1)。NEMA ファントムのサンプルチューブに塩化マンガン(II)四水和物溶液 (原液, 50%, 25% 生理食塩水希釈溶液) を充填し使用 (ファントム温度 24°C), 各溶液における T_1 ・ T_2 緩和時間を測定した。次に FBI 法を用い TE を 30・80・240 ms と変化させ撮影、各溶液の信号強度を測定し至適 TE を求めた。今回の実験では機械の制約上、FBI の TE 選択は 30, 80, 240 ms の 3 種のみとなった。撮影条件は Table 1 に示す。

次に実験 1 で求めた TE を用い、本研究に同意を得られた健常ボランティア 4 名 (男性 3 名 女性 1 名 32 歳~53 歳) の腹部血管を FBI 法で撮影、腹部血管の描出能を評価した (実験 2)。撮影は吸気で呼吸同期させ、心電同期は動静脈同時に描出できる心拍の拡張期を使用し冠状断で施行、適切な拡張期の ECG 遅延時間を測定するため、同一スライスで多時相のデータ収集可能な ECG preparation (ECG-Prep) スキャンを用い、時相の異なるシングルショット画像を得、視覚的に動静脈の描出が高い像を求め ECG 遅延時間として設定³⁾した。脂肪抑制法は chemical shift artifact 抑制

キーワード non-contrast-enhanced MR angiography, fresh blood imaging (FBI), negative contrast agent, manganese chloride tetrahydrate

Table 1. Parameters of NEMA Phantom

	Sequence	TR (ms)	TE (ms)	ETS (ms)	TI (ms)	FOV (cm)	ST (mm)	NS	NAQ	Total scan time (min sec)
T ₁ value	FSE	10000	18		0~700	25.6×25.6	5	1	1	11'00"
T ₂ value	SE	10000	15,30,60			25.6×25.6	5	1	1.2	51'12"
FBI	3D-FASE	3000	30,80,240	5		38.0×38.0	3	8	2	2'06"

Matrix = 256 × 256, Orientation = transaxial

※FOV : Field of view, ST : Slice thickness, NS : Number of slice, NAQ : Number of acquisition

Table 2. Parameters of 3D-FASE (FBI)

Volunteer	TR (ms)	TE (ms)	%R-R delay time (ms)	Number of slice (NS)	Total scan time (min sec)
A	3063	240	600	20	5'49"
B	2775	240	650	24	5'03"
C	2658	240	300	30	6'35"
D	3015	240	650	35	6'17"

Fat Saturation, ETS = 5 ms, Field of view (FOV) = 38.0 × 38.0 cm, Matrix = 256 × 256, Slice thickness (ST) = 3 mm, Number of acquisition (NAQ) = 1, Bandwidth = 651, Orientation = coronal

や高い signal to noise ratio (SNR) を得るため fat saturation (FatSAT) を使用し、位相方向を頭尾方向とした。撮影条件は Table 2 に示す。撮影手順は、単純撮影を行い、終了後寝台をガントリ外へ移動、塩化マンガン(II)四水和物を寝台上仰臥位の状態でストローを用い 250 ml 全量服用後、寝台の上で 20 分間休ませ寝台を元の位置に戻して再び撮影した。塩化マンガン(II)四水和物は、MRCP を目的として開発された消化管造影剤であり FBI 撮影目的ではないため、胃・十二指腸を含む腹部全体の消化管の信号抑制を考慮し服用後から撮影開始までの delay 時間は蠕動運動抑制の前処置なしで腹部全体に造影剤がいきわたる 20 分後撮影開始とした。

評価は視覚によるものと contrast to noise ratio (CNR) 測定^{4),5)}を行った。視覚を用いた評価は、腹部大動脈は横隔膜レベルより総腸骨動

脈分岐部まで、下大静脈は横隔膜レベルより総腸骨静脈合流レベルまで、門脈は門脈本幹から門脈二次分枝（左右区域枝まで）、脾静脈は門脈合流部から肝内部までの範囲で計 4 血管を評価した。評価は放射線科医 2 名と技師 3 名の計 5 名で行い、合議制によってフィルムによる経口前後の maximum intensity projection (MIP) 像 (window width と window level を一定) を並べて検討した。方法は末梢血管を含む血管が連続的に描出されている場合を 4 点 (excellent)、末梢血管まで描出されていないが血管描出に連続性がありを 3 点 (good)、血管描出に連続性がないが血管の確認可能を 2 点 (fair)、血管が不鮮明で確認不可能を 1 点 (poor) とした。

CNR 測定は組織間測定法を用いた。計算は、対象とする 2 種類 (目的血管と周囲組織) の関心領域 (ROI : region of interest) の信号

2007 年 12 月 5 日受理 2009 年 3 月 16 日改訂

別刷請求先 〒989-0231 宮城県白石市福岡蔵本字下原沖 36 公立刈田綜合病院放射線部 真鍋 努

強度の平均値 Ms1, Ms2 の差分の絶対値を雑音であるバックグラウンド (BG) の信号強度の平均値 Mb で除した値を用いた。式は $CNR = (\pi/2)^{1/2} |(Ms1 - Ms2)| / Mb$ である。 Ms1

は上記 4 血管に, Ms2 の ROI は体内臓器や毛細血管のない体内組織に設定した (Fig. 1)。

使用装置は東芝社製 EXCELART 1.5T, 受信コイルは実験 1 において QD-Head coil, 実験 2 では Flex body array coil を使用した。パラレルイメージングは未搭載である。

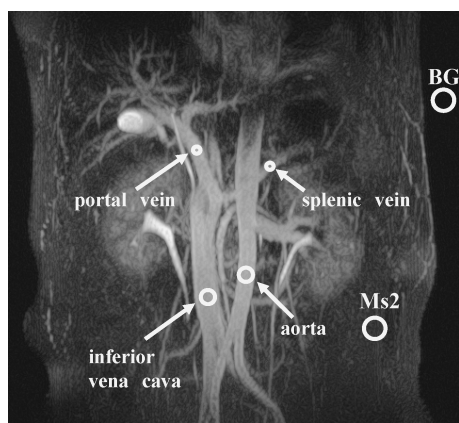


Fig. 1. Region of interest position
Ms2 is the signal average value of the area of interest in the body image.
BG is the signal average value of the background.

結 果

実験 1 では $T_1 \cdot T_2$ 緩和時間は塩化マンガン (II) 四水和物の溶液濃度上昇に伴い短縮した (Fig. 2a.)。FBI 法の信号強度は, TE の延長や溶液濃度上昇とともに低くなった (Fig. 2b.)。この結果から, T_2 短縮によって消化管信号は抑制され, TE が 240 ms のとき 50% 濃度と 100% 濃度の信号強度がほぼ同じ低値を示したことから, TE を延長すれば効果的に消化管の信号を抑制できる。至適条件を TE 240 ms とした (Table 2)。

実験 2 における塩化マンガン (II) 四水和物の視覚的な変化と CNR の変化を Fig. 3 のグラフに示す。視覚的評価では, 全例の腹部大動脈

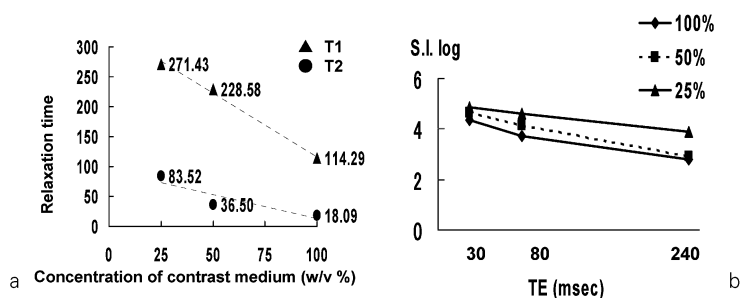


Fig. 2.

a : T_1 and T_2 relaxation time of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ formulation (25, 50, 100 w/v%).

According to increase in concentration of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, T_1 and T_2 relaxation time are shortened.

b : The signal intensity and echo time (TE) of each concentration (25, 50, 100 w/v%) of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ on FBI.

The signal intensity declines according to increase in TE. With 240 ms of TE, the concentration higher than 50% of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ provides good negative contrast efficiency.

FBI を用いたポースデルの有用性

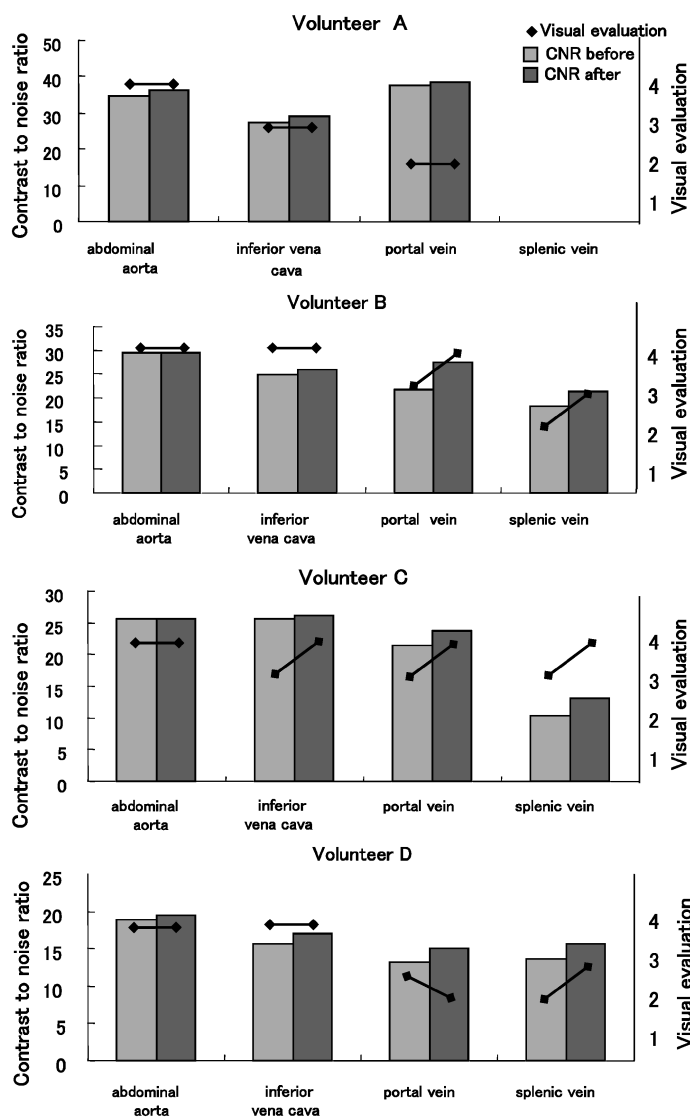


Fig. 3. Analysis of CNR and visual evaluation before and after administration of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$

は不変，下大静脈は不変および向上，門脈は2症例で向上，1症例が不変，1症例のみ低下し，脾静脈は1症例のみ評価不能で3症例が向上した．CNRは，すべてのボランティアの血管（腹部大動脈・下大静脈・門脈・脾静脈）が服用後に向上した．腹部大動脈・下大静脈の

CNR向上が小さく，2症例において服用前後における門脈・脾静脈のCNRの向上も大きく視覚を用いた評価と一致した．1症例は，経口前後の脾静脈の血管が不鮮明であり確認ができなかったためCNRの評価はできなかった．また1症例において門脈のCNRは向上，視覚を用い

た評価では低下した。

最も描出が向上している代表的な症例であるボランティア C を示す。服用前の十二指腸や小腸の水信号が高信号を来し障害陰影となり、血管の描出が低下している (Fig. 4a)。服用後、消化管の信号がすべて消失して血管と消化管の重なりがなくなり血管が明瞭に描出されている (Fig. 4b)。さらに肝臓、総胆管部を拡大すると服用前 (Fig. 4c) に比べ服用後 (Fig. 4d) の門脈本管から二次分枝、総胆管、胆嚢が明瞭になり、十二指腸の信号による障害陰影が消失し飛躍的に描出が向上した。ボランティア D では、服用前 (Fig. 5a) に比べ服用後 (Fig. 5b) の小腸の信号の消失が部分的に不完全で服用前に比べ高信号となった。また十二指腸などの信号が消失し、腹部大動脈、下大動脈

においては消化管との重なりがなくなった。門脈は二次分枝 (左右区域枝まで) の描出がボケ (blur) を示し、視覚的評価が経口前後で低下した。

腹部 4 血管のみ評価したが、その他の腹腔動脈、上腸管膜動脈、腎動脈 (左右)、腎静脈 (左右) などの血管はボランティアによって描出が不明又は不鮮明なため比較できなかった。

考 察

実験 2 の結果より塩化マンガン (II) 四水和物によって従来の FBI よりも腹部の血管描出が向上した。

塩化マンガン (II) 四水和物経口後、血管の描出が向上した理由は (1) 胃・十二指腸の信号が消

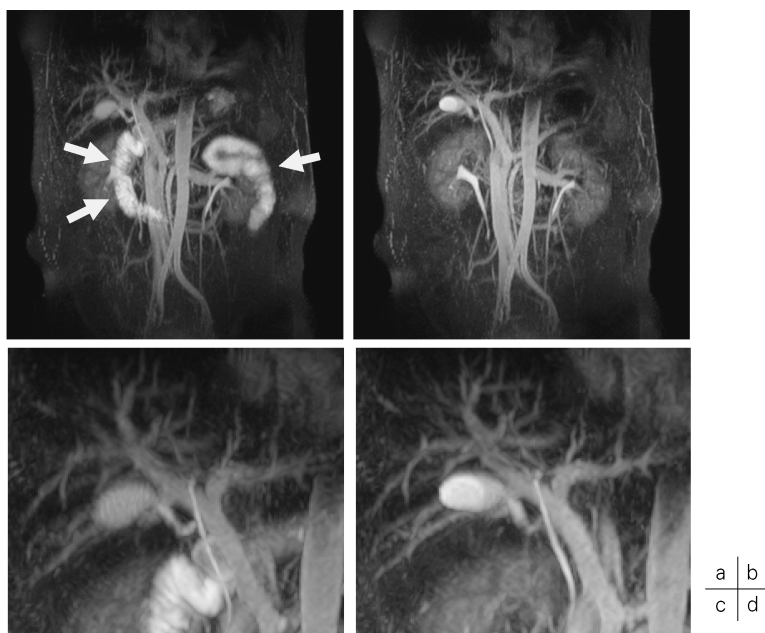


Fig. 4. Volunteer C
 FBI's before (a, c) and after (b, d) administration of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$. The digestive tracts of high signal intensity (arrows) hamper the abdominal vessels.
 Magnified images show that the portal vein (c, d) is better visualized after administration of contrast medium than before it.



Fig. 5. Volunteer D
FBI's before (a) and after (b) administration of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$.
In spite of administration of contrast medium (b), the high signal intensity of small bowel (arrow in b) remains.

失し、MIPにおいて血管との重なりがなくなること(2)消化管の高信号が消失したことによって、画像コントラストを決定するウィンドウスケールが消化管から血管の信号を中心として画像表示されるため、信号の低い血管などの描出が向上したこと(3)塩化マンガン(II)四水和物造影剤の添加物である「還元水アメ」はマルトースやソルビトールを含んだ糖アルコールの一種で、甘味料として添加されており PO-20⁶⁾と同成分であり、絶食空腹時に飲んだことによって消化管から吸収され血糖値を上昇させ血流量を増加させたことなどが考えられる。

また血管描出に不利な因子として(1)塩化マンガン(II)四水和物の胃内通過時間の個人差があるため、被験者により消化管信号が残存し、画像コントラストが消化管の高信号を含めた画像を表示することになり、ウィンドウスケールの低下が不十分になること(2)FBI法は、k-spaceの中心付近からデータを収集することで位相方向のflow void効果を低減⁷⁾でき、位相方向と血管走行が一致した場合は描出が高いが、位相方向と異なった血管走行は十分に描出できない⁸⁾こと(3)経口投与前後の呼吸の乱れや心拍の変化によるmotion artifactの影響によってblurを来すこと(4)不整脈ではFBI撮影できな

い場合などもある。

蠕動運動抑制の前処置を行わないため、消化管の蠕動運動によって塩化マンガン(II)四水和物と総胆管の磁化率が大きく異なり、周囲の組織に磁化率効果(susceptibility effect)の影響を与え総胆管の信号を低下させることがあるが、FBI法はエコー間隔(ETS)を短くすることで血流など動いているものが停止したように見えるmotion-freezing効果とsusceptibilityの影響を緩和する効果により血液を高信号に描出する技術⁹⁾を用いているので消化管と血管が接する門脈においてsusceptibility effectによる影響は少なく磁化率の影響が評価に与えるほどではなかった。

塩化マンガン(II)四水和物は、FBI以外にもMR urography (MRU)¹⁰⁾や体幹部の拡散強調画像(diffusion-weighted image : DWI)¹¹⁾にも応用でき、同じ経口消化管造影剤であるクエン酸鉄アンモニウム(ferric ammonium citrate, 商品名 : FerriSeltz)¹²⁾と比較しても優れた陰性造影効果¹³⁾がある。T₂短縮効果のみならずT₁短縮効果を利用した臨床応用も考えられ、T₁強調画像による消化管シネ撮影を膵臓や総胆管付近の胃・十二指腸の消化管運動描出¹⁴⁾に利用し得る。しかし造影MRAではGd造影剤と

塩化マンガン(Ⅱ)四水和物が共に高信号を示すため血管描出の障害となり描出向上に寄与しないと考える。塩化マンガン(Ⅱ)四水和物のFBI適応がないが、MRCPを追加撮影すれば保険適応も可能でMRCPに血管の情報を付加することができる。

結 語

経口陰性造影剤である塩化マンガン(Ⅱ)四水和物(商品名:Bothdel)を3D-FASE法を用いた腹部非造影MRA法(fresh blood imaging:FBI)に応用した。塩化マンガン(Ⅱ)四水和物による消化管信号の抑制によって、血管の描出が向上し血管と胆管など他臓器の位置関係がより明瞭となった。

文 献

- 1) Miyazaki M, Sugiura S, Tateishi F, et al.: Non-contrast-enhanced MR angiography using 3D ECG-synchronized half-Fourier fast spin echo. J Magn Reson Imaging 2000; 12: 776-783
- 2) Miyazaki M, Takai H, Sugiura S, et al.: Peripheral MR angiography: separation of arteries from veins with flow-spoiled gradient pulses in electrocardiography-triggered three-dimensional half-Fourier fast spin-echo imaging, Radiology, 2003; 227: 890-896
- 3) 青木郁夫, 宮崎美津枝, 杉浦 聡, 他: 非造影MRA: 各種撮影法および最新トピック. 日磁医誌 2007; 27: 253-263
- 4) 小倉明夫, 前田富美江, 宮井 明, 他: MRI臨床画像のCNR測定法に関する精度. 日放技学誌 2004; 60: 1543-1549
- 5) 和田陽一, 原 孝則, 宮地利明: MRIシステムのファントムにおけるCNR測定法の基礎評価. 日放技学誌 2008; 64: 268-276
- 6) 小泉直子: 還元澱粉糖化物. 食の科学 1988; 123: 77-82
- 7) Miyazaki M, Ichinose N, Sugiura S, et al.: A novel MR angiography technique: swap phase encode extended data (SPEED) acquisition using half-Fourier RARE. J Magn Reson Imaging 1998; 8: 505-507
- 8) 沖川隆志, 野満洋平, 田上真之介, 他: 双方向 Spoiler Pulse (Flow adjusted FBI) を用いた腎動脈の描出特性. 日磁医誌 2004; 24 (suppl): 128
- 9) 宮崎美津枝: 非造影MRA (Non-contrast MRA) 映像 Medical 2000; 32: 110-117
- 10) 川原正明, 扇谷芳光, 須山純平, 他: MR Urography 水分負荷と消化管陰性造影の使用による尿管描出の向上. 日磁医誌 2007; 27 (suppl): 381
- 11) 村上省吾, 佐伯浩一, 越智康隆, 他: MRI経口消化管造影剤ボースデルの拡散強調画像における造影効果の検討. 日磁医誌 2007; 27 (suppl): 188
- 12) 高橋俊行, 加藤京一, 西澤 剛, 中澤靖夫: MRI Body Diffusion Weighted Imageにおけるクエン酸鉄アンモニウム水溶液を用いた消化管アーチファクト除去の試み. 日放技学誌 2008; 64: 573-578
- 13) 上野英雄, 横田逸郎, 片柳 滋, 他: MRIによるMM-Q01製剤[塩化マンガン(Ⅱ)四水和物]の造影特性およびクエン酸鉄アンモニウム製剤との比較研究. 新薬と臨床. J New Rem Chin 2005; 54: 1421-1430
- 14) 真鍋 努, 安藤律子, 田澤 聡: ボースデルを用いた消化管シネMRIの試み. 日磁医誌 2007; 27 (suppl): 394

Effects of Peroral $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ on Abdominal Non-contrast-enhanced MR Angiography using Fresh Blood Imaging

Tsutomu MANABE¹, Satoru TAZAWA¹, Ritsuko ANDO²,
Yutaka SUZUKI¹, Ko MATSUMOTO³

*Department of ¹Radiology and ²Clinical Laboratory, Katta General Hospital,
36, Shimoharaoki, Fukuokakuramoto, Shiroishi, Miyagi 989-0231*

³Department of Diagnostic Radiology, Miyagi Cancer Center

We applied manganese chloride tetrahydrate (BothdelTM), a magnetic resonance (MR) imaging contrast material developed to suppress signals from the gastrointestinal tract, to fresh blood imaging (FBI) to improve images of abdominal vessels. In phantom experiments, 1) T_2 relaxation times decreased in concentrations of BothdelTM, and 2) extension of echo time (TE) on FBI yielded effective signal-nulling from T_2 shortening in solution concentrations of 50% or more. In a clinical experiment on volunteers after administration of BothdelTM, depiction of abdominal vasculature was improved by elimination of digestive tract signals by the medium. On FBI, BothdelTM appeared to improve images of the abdominal vasculature.