



Title	Half-Fourier single-shot fast spin echo(SSFSE)法を用いたMR消化管動態画像
Author(s)	朴, 鳳順; 竹原, 康雄; 磯田, 治夫 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1999, 59(5), p. 176-182
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15379
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Half-Fourier single-shot fast spin echo(SSFSE)法を用いた MR消化管動態画像

朴 鳳順 竹原 康雄 磯田 治夫 磯貝 聰 金子 昌生

浜松医科大学放射線医学教室

MR Imaging of the Gastrointestinal Tract with Half-Fourier Single-shot Fast Spin Echo(SSFSE)

Houjun Boku, Yasuo Takehara, Haruo Isoda,
Satoshi Isogai and Masao Kaneko

Our objective was to implement a non-invasive magnetic resonance imaging (MRI) technique combined with concentrated milk ingestion for depicting the gastrointestinal (GI) tract and detecting gastrointestinal motility and transit. The half-Fourier SSFSE (single-shot fast spin echo) sequence was optimized on the basis of a phantom study. In order to determine the feasibility of milk ingestion as a substitute for contrast medium, ten human volunteers were examined with SSFSE after two types of liquid ingestion (i.e., milk and water). The snapshot images provided subsecond data acquisition for each coronal plane, allowing visualization of peristalsis in the gastrointestinal tract in an almost real-time fashion, without motion-related image degradation, as would normally be seen using conventional MRI. **[Results]** There was no significant difference between concentrated milk and water in terms of depiction of the upper gastrointestinal tract; however, 10 min and 30 min after ingestion, concentrated milk showed better delineation of the intestine than that observed after water ingestion ($p < 0.01$). **[Conclusion]** MR gastrointestinal imaging is a non-invasive method that allows gastrointestinal depiction as well as analysis of motility and passage. Especially with concentrated milk ingestion, the distal intestines were well depicted with adequate contrast filling and distention.

Research Code No. : 513

Key words : Gastrointestinal tract, MR; Magnetic resonance(MR), motion studies; Magnetic resonance(MR), rapid imaging; Magnetic resonance(MR), half-Fourier imaging

Received Oct. 2, 1998; revision accepted Jan. 18, 1999

Department of Radiology, Hamamatsu University School of Medicine

はじめに

MR用経口造影剤は、陽性造影剤と陰性造影剤に分類される。陽性造影剤としてはGd-DTPA¹⁾⁻⁴⁾, クエン酸鉄アンモニウム⁵⁾⁻⁸⁾, sucrose polyester⁹⁾, 緑茶¹⁰⁾などが報告されている。陰性造影剤としては硫酸バリウム¹¹⁾⁻¹⁴⁾, 超常磁性酸化鉄¹⁵⁾⁻¹⁸⁾, ブルーベリージュース¹⁹⁾などが報告されている。現時点では臨床に使用できるのはクエン酸鉄アンモニウムのみである。しかし、この造影剤の使用に関しては、費用の問題や200%と400%濃度で下痢などの副作用が報告されている^{5), 6)}。今回、われわれはhalf-Fourier single-shot fast spin echo(以下SSFSE)法を用いて、特別な造影剤を併用せずに、必要であれば食飮性造影剤として、牛乳のみの飲用で、上部消化管から回腸末端まで広範囲に、均一に造影し、更に、cine表示による消化管の蠕動運動の観察も可能な方法論を考案したので報告する。

目的

特殊な消化管造影剤を使用せずに、腸管内容物をコンスタントに高信号に描出し、消化管の形態のみならず、蠕動も観察することのできる時間分解能に優れたMR消化管動態画像検査法を確立することである。

方 法

1. ファントームスタディ

下記の材料を用いて、ファントームを作製した。脂肪含有量の異なる二種類の市販の4.2牛乳と3.5牛乳(脂肪4.2%および脂肪3.5%, 雪印乳業, 東京), フェリセルツ(大塚製薬, 東京), 脂肪, 水道水, 市販の注射器23本である。上記二種類の牛乳を水道水でさまざまな濃度に希釀した液体を注射器に分注し、また、別途この水溶液に更に、クエン酸鉄アンモニウム濃度が2mg/mlになる様にフェリセルツを調整して加え(臨床で使用される通常量), 20ml注射器に分注した。作製したファントームの構造を横断面像にてFig. 1に示す。SSFSE法でTE, flip angle(以下FA)を種々に変えて、撮像を行い、信号ノイズ比を計測した。

2. ボランティアスタディ

ファントームスタディの結果から、SSFSE法で、TEを変

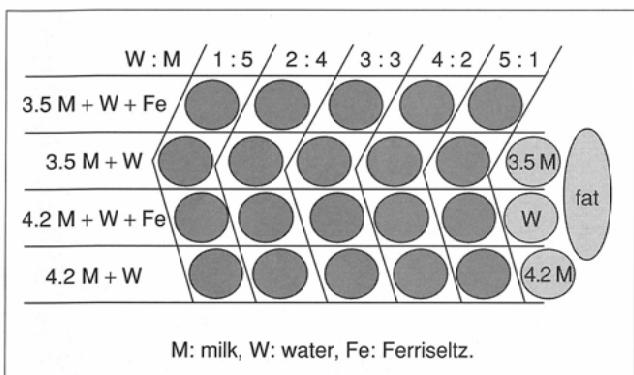


Fig. 1 Diagram showing a transverse section of the phantom. The numbers on the top row show the mixing ratios of water and milk.

化させた場合、最も高信号を得られたのは水であり、次に4.2牛乳であった(後述)。この結果に基づき、牛乳および水を飲用した場合の消化管の描出能について、正常ボランティアの協力を得て検討した。ボランティアは男性4人、女性6人の計10名で、平均年齢は32歳である。全例で予め検査前にインフォームドコンセントを得た。検査当日の昼食は禁止あるいは極く軽くした状態で、午後5時頃にMR検査を行った。まず、経口投与前をbaselineとして、後述のパラメータを使用してSSFSE法で撮影を施行した。その後、牛乳を約500mlを飲用させてから10分後、30分後、60分後に同じ撮像を繰り返した。更に、他日、同一被験者に約500mlの水道水を飲用させて、同様の撮影を行い、牛乳飲用後の消化管描出能と比較した。液体を飲用させてから撮像するまでの待機時の体位は、胃からのemptyingを考慮して、立位または座位とした。検討項目は液体を飲用させてから10分後、30分後、60分後における液体の消化管内での分布と、腸管の伸展性および連続性である。分布領域は胃および十二指腸、空腸および上部回腸、回腸末端に分けた。評価基準は下記の三段階にて行った。当該消化管に液体が貯留していない例はpoorとし、液体が貯留したが、腸管の伸展性および連続性がよくない例はfairとし、液体が貯留しており、しかも、腸管の伸展性および連続性もよい例はgoodとした。画像評価は2名の放射線科診断医により行われた。MR画像の読影にあたっては、観察者はお互い独立かつ、各被験者の情報を全く知り得ない状況で行った。

使用したMR装置はSigna Echospeed 1.5テスト(GE Medical Systems, Milwaukee, WI)であり、使用コイルはtorso array coil(GE Medical Systems, Milwaukee, WI)である。撮影のパラメータは2DFT SSFSE; 10(mm)thickness, 5(mm)gap, 5 slices, 撮影時間 6(sec), matrix 256×192~256, FOV 40×30(cm), 冠状断像, TE = 28.9~40(msec), echo space = 4(msec)で、各断面の正味の撮像時間は約400~600(msec)である。このパラメータを用い、撮像間隔3secにて同一範囲の撮影を繰り返した。

3. 統計

結果の検定にはWilcoxonの符号順位検定を使用し、 $p < 0.05$ を有意とした。2名の観察者間の判定の相違に関しては kappa統計を使用した。

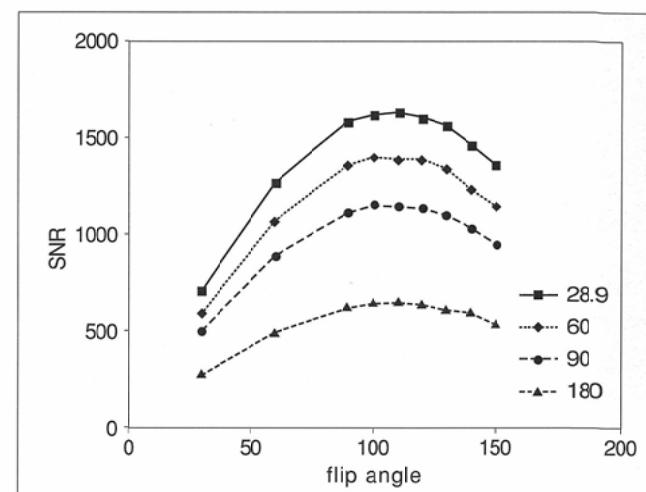


Fig. 2 The intensity value seen in various effective TEs as a function of the flip angle.

結 果

1. ファントームスタディ

牛乳を被写体とした場合のFAおよびTEと信号ノイズ比(以下SNR)の関係をFig. 2に、水、4.2牛乳と3.5牛乳とFA、SNRとの関係をFig. 3に示す。ファントーム実験からSSFSEを撮像sequenceとして用いた場合、どのようなパラメータを用いても、水のSNRが最も高く、次に4.2牛乳の水道水希釈液のSNRが高かった。しかし、フェリセルツを混じ、水よりもT1、T2値のより短くなった注射器では、TEが短いほど良好なSNRが得られた。従って、どのような被写体からも信号を得られる様なpulse sequenceを考えた場合、TE = 30~40msec, FA110度が最適と考えられた。食飴性造影剤として牛乳を使用した場合でも、上部消化管では、胃液、脾液等による希釈が行われる。更に、小腸や結腸に移行するにつれて、混在する食物残渣との混合が行われる。この様に、予め消化管内容が予測できない状態では、よりT1、T2値の短い物質と混合しても比較的高い信号を出すパラメー

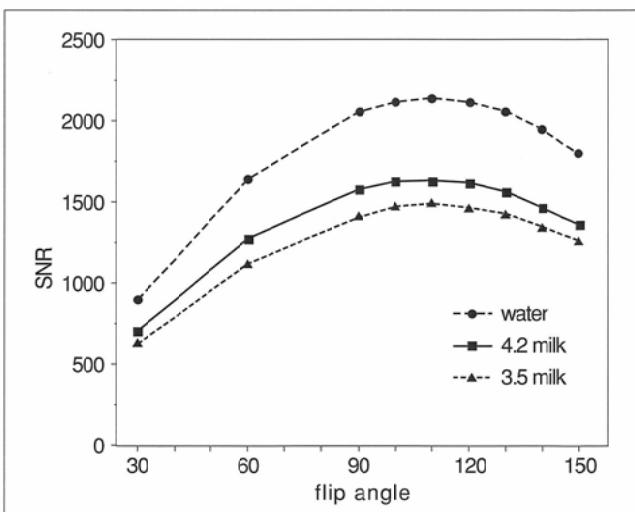


Fig. 3 Intensity vs. flip angle seen in three kinds of fluids: water, 4.2 milk, and 3.5 milk.

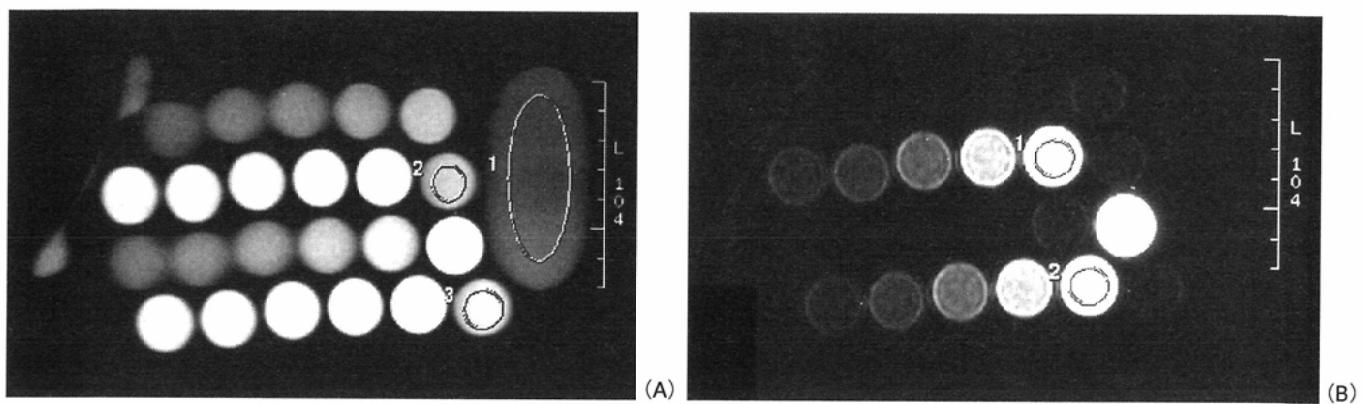


Fig. 4 A: A cross-sectional image acquired with SSFSE at a TE of 30 msec. All solutions showed reasonably high SNR. B: The same planes taken with SSFSE with a TE of 660 msec. The pure water and lower concentration of milk solution showed high SNR, while other solutions revealed poor SNR.

タが好適と考えられる。

比較のために、最短TE = 30msecと最長TE = 660msecで、ファントムを撮影した画像をFig. 4(A, B)に示す。

2. ボランティアスタディ

ボランティア10人に水と4.2牛乳を飲用させてから10分後、30分後、60分後の消化管の造影効果について、2名の観察者によりgoodと評価されたデータをFig. 5(A, B), Fig. 6(A, B)に示す。その結果、上部消化管の描出能に関しては、水と牛乳を飲用してから10分後、30分後で両者の描出能に有意差はなかったが、飲用60分後に遠位小腸(回腸末端)においては、牛乳の方が水より描出能が明らかに優れていると認められた($p < 0.01$)。牛乳を飲用60分後に回腸末端で評価した造影効果は、全員でgoodと判断された。なお、各断面において経時的に得られた画像をcine表示で観察することにより、消化管の蠕動運動が観察できた。すべての判定で κ 値は0.75以上であり、読影者間のvariationはごく小さいものと考えられた($\kappa = 0.6\text{--}0.9$)。得られた代表的な画像を、Fig. 7(I-A, I-B, I-C, I-D, II-A, II-B, II-C, II-D), Fig. 8(I-A, I-B, I-C, I-D, II-A, II-B, II-C, II-D)に示す。

考 察

消化管の放射線診断は空気と硫酸バリウムを用いた二重造影法によって、飛躍的に進歩したが、小腸の画像診断に関しては、他の臓器の画像診断に比べて、大きく遅れをとっている。その原因として、小腸では疾病の種類が少なく、他の部位と比べて、悪性腫瘍が少ないため、比較的関心をもたれていないことも起因していると思われる。現在においても消化管の検査方法の主役であるバリウム検査では、造影剤の投与量が少ないと小腸係蹄の重なりは少ないが、通過時間は遅延し、係蹄は中断され、充満不足になりやすく、検査時間もかかる。一方、造影剤を大量投与した場合は通過時間は短縮され、充満不足や係蹄中断は少ないものの、重なりが多くなり、読影を妨げる原因になる。消化管の完全閉塞が疑われる場合、造影剤の経口投与はイレウスを増悪させる危険もある。更に、消化管の完全閉塞の場合は当然のことながら閉塞部より肛門側の消化管を観察できない。手技的には、二重造影検査では挿管が必要で、比較的侵襲的であり、患者にとって受け入れにくい検査

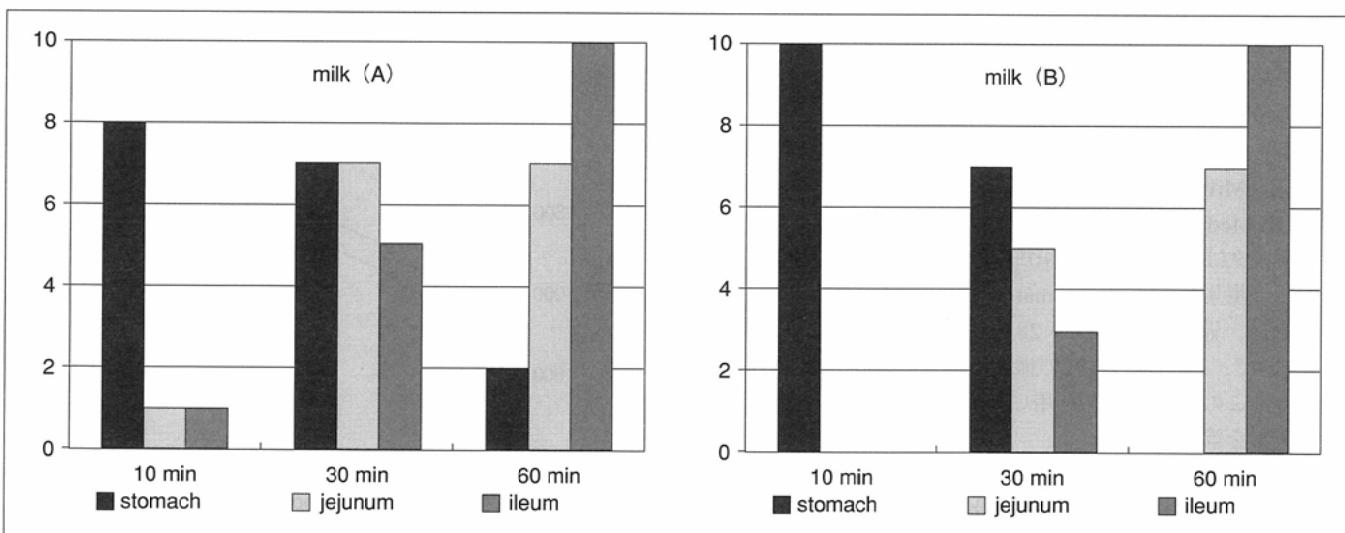


Fig. 5 A, B: The frequencies of cases graded as "good" by observer A (A) and observer B (B) at 10 min, 30 min, and 60 min after 4.2 milk ingestion.

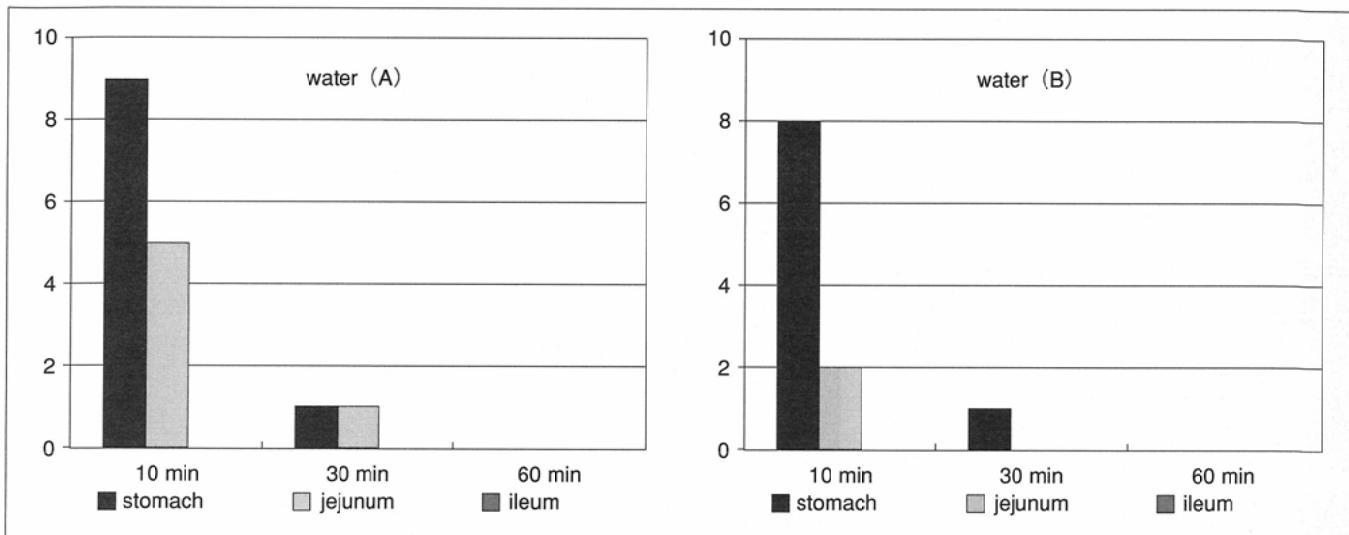


Fig. 6 A, B: The frequencies of cases graded as "good" by observer A (A) and observer B (B) at 10 min, 30 min, and 60 min after water ingestion.

法のひとつである。その上、電離放射線の被曝があるから、妊婦や若年者では、望ましくない等の問題も有している。

非侵襲的画像診断法としては、CTや超音波断層法(US)があるが、CTはX線被曝がある点と、基本的に得られる断面が横断像であるので、頭尾側方向に長い消化管の長軸断面の診断には適していない。USはイレウス等で消化管内容が多量な場合有効であるが²⁰⁾、ガスに阻まれ、脂肪層が厚い個体では、良好な画像が得られない欠点がある。又、その解釈にも客觀性を欠くという問題点がある。MRによる冠状断像では腸管の長軸方向の観察がしやすく、本法のごとく、時間分解能を向上させれば、蠕動運動の観察から、当該腸管が痙攣性であるのか、蠕動亢進しているのかといった付加的情報を得ることができる。その上、画像で捉えられた狭窄分節が、蠕動輪であるのか、病理的狭窄があるのか等の判断にも有効である。一方、消化管のMR検査では、現在唯一市販されている消化管造影剤はクエン酸鉄アンモニウムであり、通常量としては2mg/mlを経口投与する。この場合、消化管内容はT1強調画像で高信号を呈し、高速撮像を施行すれば、比較的満足の行く腸管像を得られるが、肛門側に腸管内容が送られるにつれて、水は吸収され、回腸での造影効果はかならずしも満足のゆくものではない。これを改善するため、フェリセルツを水と牛乳混合比1:5の溶液に溶解し、あるいはフェリセルツを牛乳と混合させたoil emulsionを作成して、投与する方法が報告されている²¹⁾⁻²⁶⁾。

ただ、MRの経口造影剤の開発にあたり、常に議論となるのは消化管に本当に特殊な造影剤(chemical contrast media)の必要性があるのかということである。食餌を経口造影剤の代用として用いれば、消化管の伸展にも寄与し、しかも消化管内腔の信号を上昇させることにより、間接的に消化管の描出が可能であることは、当初から指摘されていた。但し、腸管内容は必ずしも一定の信号強度を呈さないため、経口造影剤を使用しないで、良好な消化管画像を得るために、どのようなT1値、T2値の物質でも比較的信号を得られるようなsequenceを選択する必要がある。本来、腸管

内容は、食餌、消化液および摂取した水などが混在しており、また、回腸末端部や結腸内には粘稠物質や固体物質が存在するため、T1値の短縮していることが少くない。従って、本研究で投与された牛乳は消化管内を通過するに従って、種々の消化液や水などによって希釈されると同時に、食物とも混合されることが予想される。牛乳を食餌性の造影剤として使用した場合でも、比較的どの様な牛乳の混合液体からも信号を得られ、しかも磁化率の影響が少ないsequenceの選択が望まれる。ファントームスタディからはSSFSEで最も良好な信号ノイズ比を得られたのは水であったが、実際のボランティアスタディでは水は小腸を通過するうちに吸収され、回腸ではほとんど腸管内に認めることができなかった。本研究でわれわれは消化管内容物の信号を得やすく、しかも、高速撮影が可能で、motion artifactに強いSSFSE法を利用した。TE、FAを種々に変えて、ファントームを撮影した結果、TE最短、FA110度において、種々のT1値、T2値を持つ牛乳の混合液体が最も高い信号ノイズ比を示した。又、echo spaceが短いとhalf-Fourier法のため、blurringはわずかであった。更に、ボランティアによる検討では、牛乳の飲用が回腸末端までの伸展に役立ち、食餌性消化管造影剤の役割を充分果たし、経時的撮像を行えば、上部消化管から回腸末端まで良い造影効果を得られることが証明された。加えて、cine表示による消化管の蠕動運動観察が可能で、付加的情報も得られると考えられた。牛乳はわれわれが食餌として、日常飲用しているものであり、その安全性は高く、安価で、比較的大量の飲用も可能である。本研究でも、牛乳の飲用に関して、ボランティアから特別な訴えはなかった。牛乳はSSFSE画像上の信号ノイズ比はファントームスタディ上、水よりも多少劣るが、上部消化管の描出能にも問題は無く、特筆すべきことに、飲用60分後では回腸末端の描出能向上に貢献し、当該部の伸展も良好であった。一方、水では、飲用直後の上部消化管の描出能は向上するものの、遠位小腸の描出に関しては貢献しないことが確認された。

消化管の蠕動運動や腸内容の移動の情報を得るのは臨床

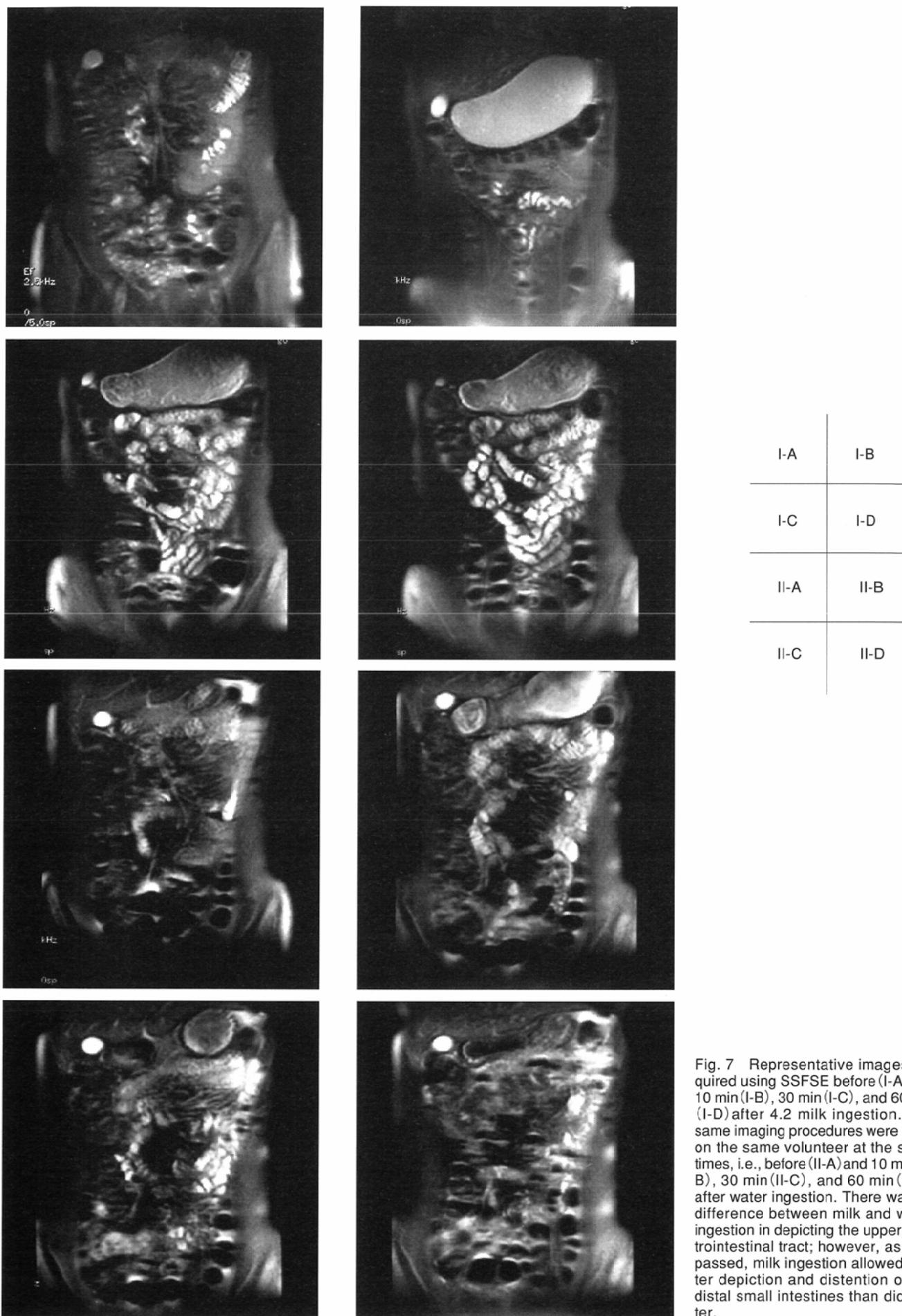


Fig. 7 Representative images acquired using SSFSE before (I-A) and 10 min (I-B), 30 min (I-C), and 60 min (I-D) after 4.2 milk ingestion. The same imaging procedures were done on the same volunteer at the same times, i.e., before (II-A) and 10 min (II-B), 30 min (II-C), and 60 min (II-D) after water ingestion. There was no difference between milk and water ingestion in depicting the upper gastrointestinal tract; however, as time passed, milk ingestion allowed better depiction and distention of the distal small intestines than did water.

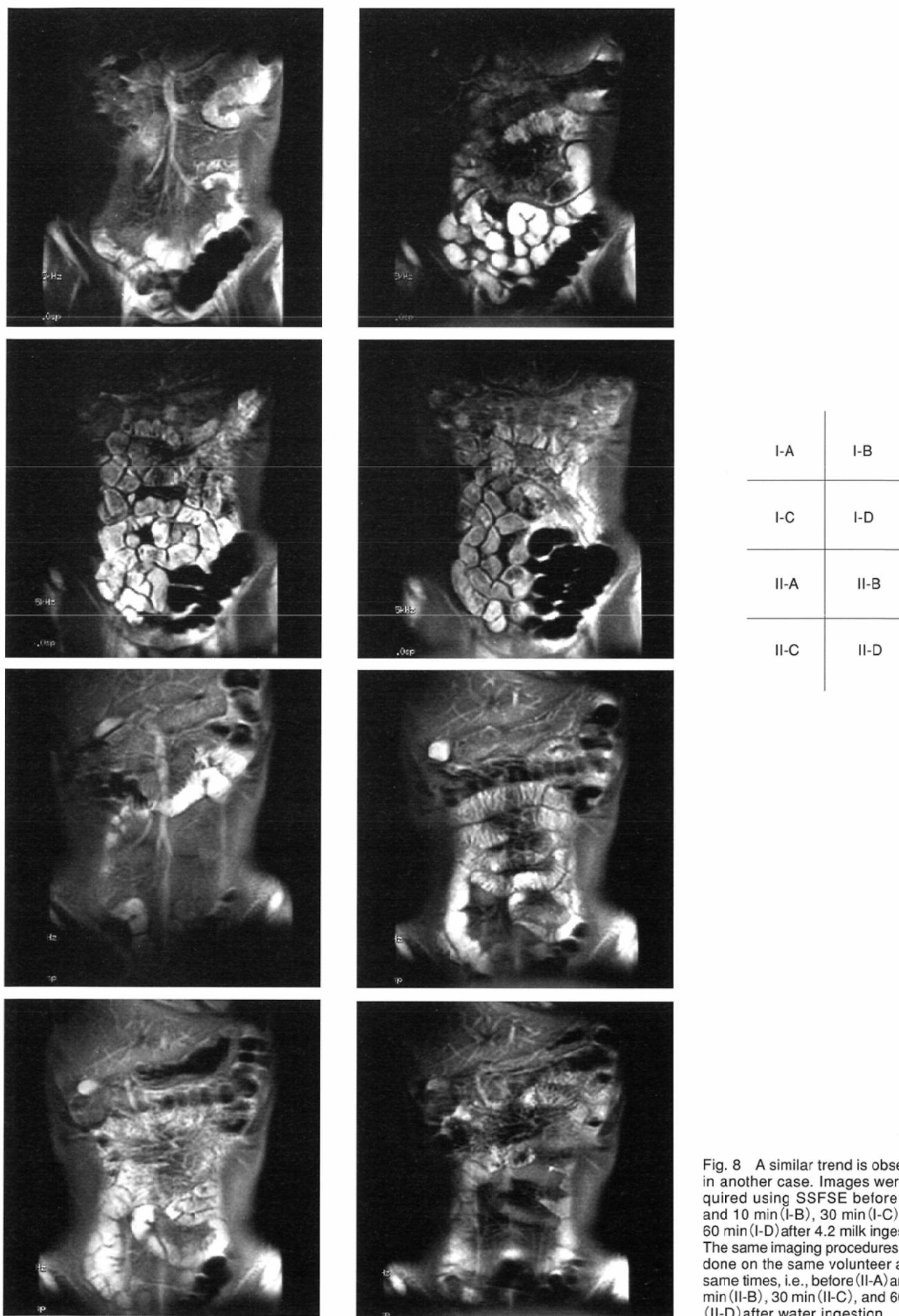


Fig. 8 A similar trend is observed in another case. Images were acquired using SSFSE before (I-A) and 10 min (I-B), 30 min (I-C), and 60 min (I-D) after 4.2 milk ingestion. The same imaging procedures were done on the same volunteer at the same times, i.e., before (II-A) and 10 min (II-B), 30 min (II-C), and 60 min (II-D) after water ingestion.

的には消化管疾患の診断および鑑別診断に非常に意味があると思われる。例えは、1)イレウス、2)消化管手術後の盲管症候群の評価、ダンピング症候群、3)糖尿病における蠕動低下状態、4)ヒルシュスブルン病等の先天的蠕動運動の異常状態、5)腹腔内膿瘍、腫瘍の検出、浸潤範囲の決定等に有効であると考えられる。但し、イレウス等病的状態においては、消化管内容は既に食物や消化液によって充満している場合が多い。その場合は拡張消化管内容が自然な造影剤の役割を果たすので、新たに牛乳を経口投与することは無意味であり、危険ですらあることはいうまでもない。従って、牛乳の飲用は患者の病態に応じて行われるべきである。

きであり、飲用前のSSFSEによる撮像が必要と思われる。今後、臨床例においての検討が待たれる。

結論

TEを短く設定したSSFSE法によるMR Gastrointestinal Imagingは特殊な造影剤を使用せず、また、必要であれば牛乳のみを飲用させて、回腸末端までの描出が可能な検査法であり、消化管の形態と動態観察に適していることから、消化管MR検査の有力なオプションと考えられる。

文献

- 1) Laniado M, Kornmesser W, Hamm B, et al: MR imaging of the gastrointestinal tract: Value of GD-DTPA. *AJR* 150: 817-821, 1988
- 2) Claussen C, Kornmesser W, Laniado M, et al: Oral contrast media for magnetic resonance tomography of the abdomen. Part III: Firstpatient examinations with Gadolinium-DTPA. *ROFO: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 148(6): 683-689, 1988
- 3) Kornmesser W, Laniado M, Hamm B, et al: Oral contrast medium for magnetic resonance tomography of the abdomen. Part II: Phase I of the clinical testing of gadolinium-DTPA. *ROFO: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 147(5): 550-556, 1987
- 4) Laniado M, Kaminsky S, Semmler W, et al: Oral contrast media for magnetic resonance tomography of the abdomen. Part I: Comparative animal experiments using positive and negative contrast media. *ROFO: Fortschritte auf dem Gebiete der Rontgenstrahlen und der Nuklearmedizin* 147(3): 325-332, 1987
- 5) 廣橋伸治, 打田日出夫, 田仲三世子, 他: 臨床第III相試験成績からみたMRI用経口消化管造影剤(OMR)の診断的有用。診断と治療 80: 168-178, 1992
- 6) 吉川宏起, 大友 邦, 河村泰孝, 他: MRI用経口消化管造影剤(OMR-12200)の臨床II相試験成績。診断と治療 79: 1913-1922, 1991
- 7) Patten RM, Moss AA, Fenton TA, et al: OMR, a positive bowel contrast agent for abdominal and pelvic MR imaging: Safety and imaging characteristics. *JMRI* 2: 25-34, 1992
- 8) 高原太郎, 石崎尚子, 吉川達生, 他: MRI用経口消化管造影剤の臨床応用。映像情報 28(24): 1439-1447, 1996
- 9) Ballinger R, Magin RL, Webb AG: Sucrose polyester: A new oral contrast agent for MRI. *Magn Reson Med* 19: 199-202, 1991
- 10) 佐藤秀一: 消化管陽性MR imaging造影剤としての緑茶の研究。日本医学会誌 54(9): 876-885, 1994
- 11) Li KC, Tart RP, Fitzsimmons JR, et al: Barium sulfate suspension as a negative oral MRI contrast agent: In vitro and human optimization studies. *Magn Reson Imag* 9: 141-150, 1991
- 12) Marti-Bonmati L, Vilar J, Paniagua JC, et al: High density barium sulphate as an MRI oral contrast. *Magn Reson Imag* 9: 259-261, 1991
- 13) Burton SS, Liebig T, Frazier SD, et al: High-density oral barium sulfate in abdominal MRI: Efficacy and tolerance in a clinical setting. *Magn Reson Imag* 15(2): 147-153, 1997
- 14) Rubin DL, Muller HH, Young SW: Formulation of radiographically detectable gastro intestinal contrast agents for magnetic resonance imaging: Effects of a barium sulfate additive on MR contrast agent effectiveness. *Magn Reson Med* 23(1): 154-165, 1992
- 15) Oksendal AN, Jacobsen TF, Gunderson HG, et al: Superparamagnetic particles as an oral contrast agent in abdominal magnetic resonance imaging. *Invest Radiol* 26: 67-70, 1991
- 16) Bach-Gansmo T, Dupas B, Gayet-Delacroix M, et al: Abdominal MRI using a negative contrast agent. *BJR* 66: 420-425, 1993
- 17) Oksendal AN, Bach-Gansmo T, Jacobsen TF, et al: Oral magnetic particles: Results from clinical phase II trials in 216 patients. *Acta Radiol* 34: 187-193, 1993
- 18) Rogers J, Lewis J, Josephson L: The use of AMI-227 as an oral contrast agent for magnetic resonance imaging. *Invest Radiol* 29: 81-82, 1994
- 19) 平石久美子, 相模昭彦, 久田洋一, 他: 新しいMR imaging用造影飲料(ブルーベリージュース)の上腹部領域における経口造影効果について。日本医学会誌 54: 539-541, 1994
- 20) Czechowski J: Conventional radiography and ultrasonography in the diagnosis of small bowel obstruction and strangulation. *Acta Radiol* 37(2): 186-189, 1996
- 21) 廣橋伸治, 廣橋里奈, 打田日出夫, 他: 牛乳混合MR imaging 経口造影剤による小腸造影。日本医学会誌 54: 784-788, 1994
- 22) 廣橋伸治, 廣橋里奈, 打田日出夫, 他: 牛乳混合フェリセルツによる上腹部造影MRI。日磁医誌 14: 229-232, 1994
- 23) 内藤 晃, 高畠良子, 伊藤勝陽: ミルク溶解MRI用経口消化管造影剤の検討。画像診断 16: 448-452, 1996
- 24) 下山田和, 佐伯光明, 高原太郎, 他: 牛乳フェリセルツ混合液による下部消化管造影能の検討。日磁医誌 15: 298-304, 1995
- 25) Li KC, Ang PG, Tart RP, et al: Paramagnetic oil emulsions as oral magnetic resonance imaging contrast agents. *Magn Reson Imag* 8: 589-598, 1990
- 26) Tart RP, Li KC, Storm BL, et al: Enteric MRI contrast agents: Comparative study of five potential agents in humans. *Magn Reson Imag* 9: 559-568, 1991