

True FISP の臨床応用—心臓領域 MRI への応用—

似鳥 俊明

杏林大学医学部放射線医学教室

はじめに

心血管系は従来より magnetic resonance imaging (MRI) の好適な応用領域であった。最適な断面で造影剤を用いずとも心筋と心内腔との鑑別が可能であり、心電図同期法が比較的早期より実現化されたことなどもあり、先天性心疾患、弁膜症あるいは大動脈病変などを対象に臨床応用が初期より盛んになされた。高速撮像法、脂肪抑制法の開発等で応用範囲は広がり、最近では、冠動脈 MR angiography (MRA) や、心筋パーヒュージョン MRI など虚血性心疾患への応用も日常臨床の現場でなされるようになった。最近のシーケンス上の進歩である True fast imaging with steady-state precession (True FISP) は、特に心血管系への MRI 診断の応用範囲を広げると期待されている。本稿では心臓検査に効果的に応用できるであろう本法の特徴とその初期使用経験を中心に述べる。

True FISP

血液の撮像面への流入効果を生かして血液を高信号に描写してきた従来の fast low-angle shot (FLASH) 法などの gradient echo 法撮像法では、心機能不良例や長軸断面では必ずしも良好な血流信号像が得られなかった。True FISP とは、steady state free precession (SSFP) 現象を応用した新しい gradient echo 法である^{1),2)}。従来から FISP というシーケ

ンスは存在していた。信号を読み取った後に位相方向のみに rewinder gradient をかけ横磁化を信号読み取りの前の状態に戻すものである。しかしスピンがあたかも gradient がないかのように振る舞うことで信号が増強する SSFP 現象が形成されるには、3 軸すべてにこの rewinder gradient をかけることが求められる。これには磁場の均一性が必要不可欠であるが、最近の強い傾斜磁場をもつ装置の開発等により実現された。FISP に対し“真の (True)” FISP と呼ばれる所以である³⁾。したがって balance がよいという表現も理解しやすく、ほぼ同様なシーケンスを balanced-fast field echo (FFE) 法と呼ぶメーカーもある。他に True SSFP, FIESTA などとも呼称される。Steady-state coherent gradient echo sequence 法とするのが一般名称であろうが、ここでは差し障りのない限り代表的な True FISP という名称を一般名として用いる。

血液と心筋で高いコントラストが得られること、血流速度に依存せず flow void がない血流信号が得られること、極めて短い繰り返し時間 (TR) を用いて撮像時間短縮化を図っても S/N の低下が少ないことがその特徴である。まさに心臓領域への応用にうってつけのシーケンスといえる。

Parallel acquisition technique との併用も他のシーケンスに比べ有利である。この方法は SENSE あるいは SMASH で代表されるが、本法併用により撮像時間の短縮化が画期的に計ら

キーワード True FISP, SSFP, sequence, heart, coronary MRA

れ、特に心臓領域への応用では有用とされる。しかしそのデータ収集原理から S/N の低下が知られている。SENSE factor が 2 の場合は、S/N は $1/\sqrt{2}$ となる。このため造影検査など本来信号強度の高い撮像法に用いるべきとされるが、True FISP は内因的に信号が高いために parallel acquisition technique との相性が極めてよく、撮像時間の短縮化、空間分解能向上に両者の併用は有用である。

True FISP の心血管系への応用

1. 心臓形態診断への応用

True FISP の最大の特徴は、造影剤を用いることなく血液・心筋コントラストの高い画像が得られることである。撮像時間も短い。心筋の形態診断に最適のシーケンスと考えられ、微細な心筋異常の描出にも威力を発揮する。

図 1 に左室心筋緻密化障害 (noncompaction of left ventricular myocardium) の 1 例を示すが、本症は比較的まれな疾患であり以下に概説

する。胎生期初期に冠動脈による心筋への血液灌流が行われる以前には、心筋は心筋繊維が粗なる網目状の肉柱および肉柱間隙からなり、心腔から直接血液供給を受けている。胎生 5~8 週になり心筋緻密化が徐々になされ、肉柱および間隙の消失とともに毛細血管が形成され、さらに冠動脈循環へと発展してゆく。緻密化は心外膜から心内膜側に向かって開始され、心基部から心尖部に向かって完成してゆくが、以上の心筋緻密化が障害された状態が本症である。True FISP 法による MRI では血液と心筋で高いコントラストが得られることで、心壁の微細構造が明瞭に描出される。左室内の多数の肉柱、肉柱間の深い間隙、菲薄な緻密層が認められ本症の形態的特徴をとらえることができる。

2. 左室壁運動シネ MRI

True FISP は連続して RF が印可されることにより信号が増強する特徴を有し、同一断面の連続スキャンにも有利なシーケンスである。心臓シネ MRI において、True FISP では FLASH に比べて、血液・心筋コントラストの

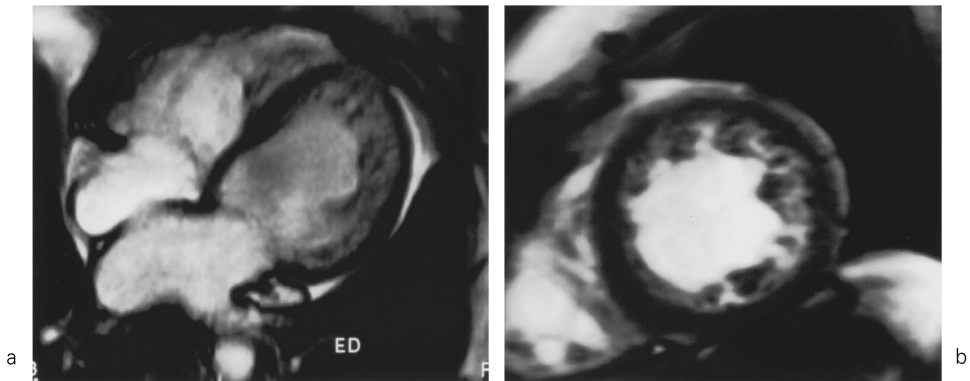


図 1. 左室心筋緻密化障害の True FISP 画像
(a) 長軸断像, (b) 短軸断像

True FISP 法では血液と心筋の高いコントラストが得られ、心壁の微細構造が明瞭に描出される。左室内の多数の肉柱、肉柱間の深い間隙、菲薄な緻密層など左室心筋緻密化障害の特徴を描出する。

2002 年 8 月 22 日受理

別刷請求先 〒181-8611 東京都三鷹市新川 6-20-2 杏林大学医学部放射線医学教室 似鳥俊明

高い画像が得られることが報告されている⁴⁾。また True FISP のコントラストは主として組織の緩和時間 (T_1 , T_2) によって決まり血液流入効果は比較的小さい。それゆえ特に流入効果の小さい場合、すなわち心室長軸断面や心機能低下例でも高いコントラストが得られ壁運動の評価に最適である⁵⁾。

なお従来の prospective ECG gating 法では心周期の全貌を描出することは困難で多くは拡張末期が欠落していたが、最近開発された retrospective gating 法併用した True FISP シネ撮像では全心周期を定常状態で安定して収集し、心機能解析に威力を示すと期待される。

3. 心筋パービュージョン MRI

True FISP では上述したごとく左室壁運動が低下した心筋梗塞患者や、心不全患者においても良好な血液・心筋コントラストが得られ、心筋パービュージョン MRI 検査においてもその有用性が期待できる⁶⁾。極めて短い繰り返し時間 (TR) で撮像可能なために、一般的に用いられる FLASH 法に比べ時間分解能が向上

し、その分空間分解能向上にも割り当てられる。ただし True FISP は一般に susceptibility の変化には敏感であり、筆者らの経験でも高濃度の造影剤と心筋との境界では低信号帯が出現しやすい傾向を認めている (図 2)。このため中隔内膜側での造影早期の読影には注意を要することがあり、なおシーケンス改良の検討余地を残すと考える。

4. 冠動脈 MRA への応用

脂肪抑制法を併用した True FISP では従来の FLASH 法より極めて短い TR で、冠動脈の血液信号を鮮明に描出するため、短時間でアーチファクトの少ない鮮明な冠動脈像を得ることが可能である。図 3(a) は turbo field echo (TFE) 法で 30 分の撮像時間をかけて撮られた右冠動脈である。図 3(b) は balanced TFE 法により 5 分の撮像時間で撮られたものである。両者とも造影剤の使用はなされていない。より高速撮像である balanced TFE 法のもつ S/N のよさ、血流信号の鮮明さが理解できる。Steady-state coherent gradient echo sequence



図 2. True FISP 法による心筋パービュージョン MRI

心筋梗塞で心機能が低下している患者だが、True FISP 法で良好な血液・心筋コントラストが得られ、下後壁の信号上昇が遅延しており虚血心筋と考えられる (矢印)。

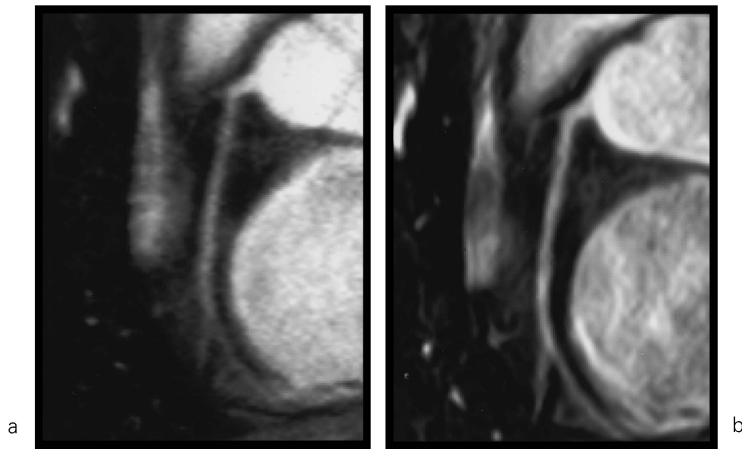


図3. 正常右冠動脈 MRA

撮像時間 30 分の TFE 法(a)と撮像時間 5 分の balanced TFE 法(b)の比較. 短時間で撮られた balanced TFE 法のもつ S/N のよさ, 血流信号の鮮明さが理解できる. 文献7) より引用.

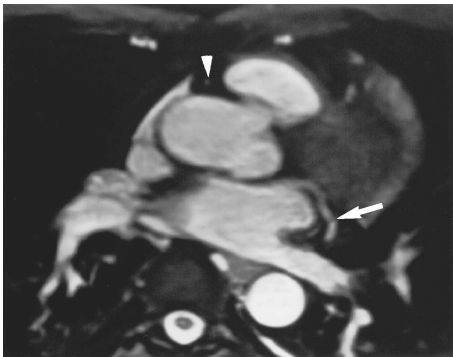


図4. 左前冠動脈の冠動脈 MRA

5 分の撮像時間で撮られた True FISP の三次元冠動脈 MR angiography で右冠動脈の痕跡(矢頭)と代償性拡張を示す回旋枝(矢印)が明瞭である.

giography が可能である. さらに短い TR を用いることで, 20 秒程度の呼吸停止下での三次元冠動脈 MR angiography も実現したが, これは現在通常冠動脈造影との比較が行われ(図5), 臨床的意義の検討が始まった段階である⁸⁾.

ま と め

以上, True FISP で代表される steady-state coherent gradient echo sequence 法の有する特徴は, 心血管領域への MRI 検査に新しい可能性をもたらすであろうことを論旨として, 本法の原理から臨床応用の現況までを概説した.

文 献

- 1) Haacke EM, Wielopolski PA, Tkach JA, Modic MT: Steady-state free precession imaging in the presence of motion: application for improved visualization of the cerebrospinal fluid. Radiology 1990; 175: 545-552
- 2) Haacke EM, Brown RW, Thompson MR,

法は正に冠動脈 MR angiography の臨床応用に大きな役割を果たすと考えられている⁷⁾. 図4は5分の撮像時間で撮られた True FISP の三次元冠動脈 MR angiography である. Parallel acquisition technique との併用を行うと3分以内の撮像時間で三次元冠動脈 MR an-

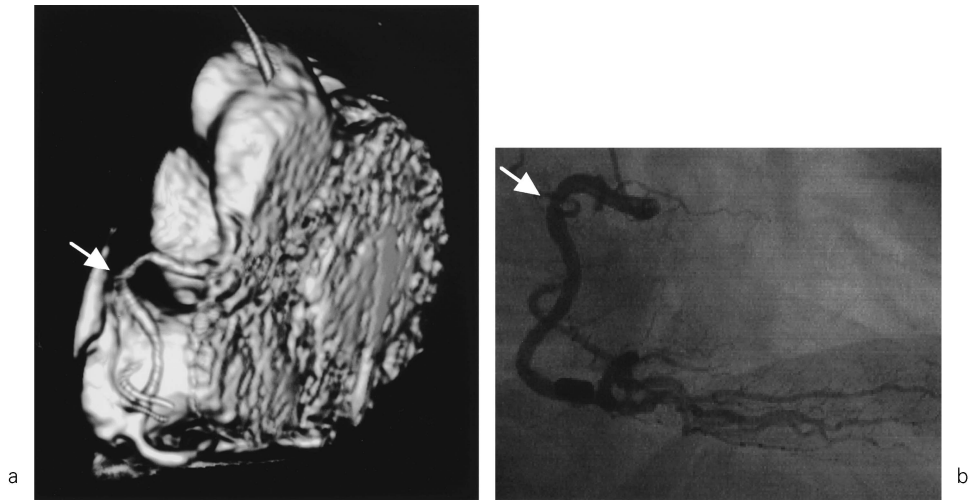


図 5. 右冠動脈狭窄例の冠動脈 MRA

Balanced TFE に SENSE を併用して約 20 秒の呼吸停止下で撮像された三次元冠動脈 MR angiography (a) と通常冠動脈造影(b). 中等度狭窄部位 (矢印) が一致する.

Venkatesan R. Magnetic Resonance Imaging-Physical Principles and Sequence Design. New York, USA : A JOHN WILEY & SONS, INC., 1999 ; 451-512

- 3) 村田勝俊 : True FISP の腹部領域への応用. 日磁医誌 2002 ; 22(1) : 1-10
- 4) Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, Buck T, Laub G, Debaton JF : MR evaluation of ventricular function : true fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging : feasibility study. Radiology 2001 ; 219 (1) : 264-269
- 5) 佐久間利治, 山田直明, 本岡眞琴, 榎本直之, 前島 偉, 松田一秀, 浦山慎一, 池尾三樹 : 心機能

低下症例における True FISP cine MRI の有用性. 日磁医誌 2002 ; 22(1) : 11-18

- 6) 石田七香, 佐久間肇, 武田 寛, 中野 越 : 心筋 perfusion と viability の MRI 診断. 日磁医誌 2001 ; 21(6) : 217-227
- 7) Dymarkowski S, Bogaert J : Clinical Experience-R8 ; Cardiac SENSE and B-FFE CMR User Meeting, Brugge, 2001 ; 27-29
- 8) 横山健一, 似鳥俊明, 高橋修司, 鈴木清寿, 高原太郎, 蜂屋順一, 可地英生, 吉野秀朗 : SENSE を用いた 3D-balanced turbo field echo 法による呼吸停止下冠動脈 MR angiography—臨床例での検討—. 日磁医誌 2002 ; 22(suppl) : 195

Clinical Application of True FISP to Cardiac Imaging

Toshiaki NITATORI

*Department of Radiology, School of Medicine, Kyorin University
6-20-2 Shinkawa, Mitaka, Tokyo 181-8611*

Recent advances in MR system technology have allowed for the development of new imaging techniques. True FSIP is a technique that is well suited for cardiac MR imaging. The imaging time is shorter and the contrast between the blood and myocardium is higher than that of FLASH, the standard sequence for cardiac MRI. In this paper, True FSIP principles and its application in cardiac examination is described.