臨床技術

ナビゲータエコーシーケンスを用いた
腎3D-time of flight(TOF)MR angiography

高橋 優・山田正則・奥 朋和・宮崎滋夫・飛田 明

論文受付
2000年5月9日論文受理
2001年2月1日

Code No. 261

金沢医科大学病院中央放射線部

緒言

腹部領域のmagnetic resonance angiography(以下, MRA)は, 頭頸部や四肢の場合とは異なり呼吸性の動きによる周辺臓器からのモーションアーチファクトや血管そのものの動きが画像上大きな障害となるため, 最大30秒前後の呼吸停止下における造影三次元(以下, 3D)-MRAが広く行われている。しかし, 被検者が呼吸停止をできない場合や造影剤の使用が不可能なケースも非常に多い。今回われわれは, 非侵襲的方法による腹部領域のMRAを目的として, ナビゲータエコーシーケンス^{1,2)}を用いた3D-time of flight(以下, TOF)法³⁾を使用し腎動脈撮像を試みた。また, 3D-

MRAの処理方法としてはmaximum intensity projection(以下, MIP)法⁴⁾とmulti planar reconstruction(以下, MPR)法⁵⁾が挙げられるが, 本撮像における双方の描出能について比較検討した。

1. 撮像法について

1-1 特徴

今回使用した撮像法は, 冠動脈撮像用として開発されたものであり, 心臓自体の動きを心電図トリガーで, 呼吸による横隔膜の動きをナビゲータエコーシーケンスで同時にモニタしながら3D-fast low angle shot(以下, FLASH)法によりMRA用画像データを収集す

Renal 3D Time-of-flight(TOF)MR Angiography with Navigator Echo Sequence

MASARU TAKAHASHI, MASANORI YAMADA, TOMOKAZU OKU, SHIGEO MIYAZAKI, and AKIRA TOBITA

Central Department of Radiology, Kanazawa Medical University Hospital

Received May 9, 2000; Revision accepted Feb. 1, 2001; Code No. 261

Summary

We attempted to perform renal three-dimensional(3D)magnetic resonance angiography(MRA)using the navigator echo sequence for abdominal MRA and a noninvasive method. We evaluated the best parameters for the pulse sequence, and examined delineation of the maximum intensity projection(MIP)and multi-planar reconstruction(MPR)images. We carried out noninvasive renal MRA without breath-hold using the navigator echo sequence. The best repetition time of slice encoding group to obtain images of good contrast was 700 msec. MIP images were adequate for observation of the renal arteries, and the contrast of MPR images (coronal) was very high. This method is effective if the patient cannot hold the breath or has renal functional disorder.

Key words: Navigator echo sequence, Three-dimensional time of flight (3D-TOF), Maximum intensity projection (MIP), Multi-planar reconstruction (MPR), Contrast-to-noise ratio (CNR)

別刷資料請求先: 〒920-0293 石川県河北郡内灘町大学 1-1
金沢医科大学病院 中央放射線部 高橋 優 宛

Fig. 1 Position images of 90- and 180-degree pulses for navigator echo.

るという手法がとられている。

1-2 ナビゲータエコーシーケンスについて

ナビゲータエコーシーケンスとは、対象の動きによって生じた位相シフトを読み取り、画像用エコー信号の位相を補正する方法であるが、本撮像法では、横隔膜の上下運動を読み取るために使用されている。具体的には、右横隔膜上で交差させる形で90度pulseと180度pulseを照射し(Fig. 1)、その交点より得られる画像信号を正面方向より観察し続けることで、横隔膜の上下運動(Fig. 2)を読み取ることが可能となる。得られた横隔膜の位置データはスライスエンコード群ごとに付加され、最も数多くナビゲータエコー上同一位置で収集された腎動脈データのみが目的データとして採用されることになる。

なお、横隔膜の位置データの読みより精度はfield of view : 300mm/matrix : 256÷1.2mmである。

1-3 3D-FLASH法について

この3D-FLASH法では、repetition time(以下、TR)とflip angle(以下、FA)において次のような工夫がなされている。

TRに関しては、二つのTRが存在することが大きな特徴である。一つは、本来の繰り返し時間としてのTRであり7.35msec(変更不能)である。もう一つのTRは装置上での設定TR(以下、2ndTR)であり、スライスエンコード群の第一励起から次のスライスエンコード群の第一励起までの時間を意味するものであり、心電図トリガーを用いる際は1心拍周期がその値となる。撮像は、この2ndTR内に全スライスエンコードが行われるため、その撮像時間は2ndTR * matrix * acquisitionで得ることができる。なお、全(24)スライス

Fig. 2 Navigator echo image.

エンコードに必要な時間は、ナビゲータスキャンおよびfat saturation pulseを含め235msecである(Fig. 3)。

FAは信号の飽和の対応策として、一つのスライスエンコード群の中で第一励起から最終(24番目)励起まで徐々にその値が大きくなっていくように設定(変更不能)されている(Table 1)。

2. 方法

2-1 対象

対象は正常ボランティア5名(28歳男性, 36歳男性, 37歳男性, 39歳男性, 41歳男性)である。

2-2 使用装置

MRI装置 : シーメンス社製Vision(1.5T)
coil : body-array coil
soft wear version : VB31B

2-3 撮像条件の基礎検討

ボランティア5名の腎動脈を2ndTR(msec)=235(設定可能最小値), 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1,000, 心電図トリガー併用と変化させ撮像し、最適2ndTRを求めた。評価方法は、左右の腎動脈(起始部から2cm位置)および腎臓(もともと大動脈寄りの位置)に関心領域を設定しその信号強度(腎動脈: SI_A , 腎臓: SI_B)を測定し、それぞれの値をバックグラウンドの標準偏差(SD_{BG})で除したものをsignal-to-noise ratio(以下、SNR)として求めた。さらに腎動脈と腎臓のSNRの差をcontrast-to-noise ratio(以下、CNR)^{6,7)}として求め、比較検討した。

$$CNR = (SI_A - SI_B) / SD_{BG}$$

Fig. 3 Scan of 3D-TOF MRA with navigator echo sequence.

Table 1 FA of 24-slice encoding.

Slice encode no.	Flip angle (degree)
1~3	11
4~6	12
7~8	13
9~10	14
11~12	15
13	16
14	17
15	18
16	19
17	20
18	22
19	24
20	26
21	30
22	35
23	45
24	75

2-4 定量的評価

MIP (maximum intensity projection) 処理画像およびMPR (multi-planar reconstruction) 処理画像における描出能を知るべく定量的評価を行った。ボランティア5名のデータにおいて、左右腎動脈およびMIP処理時に腎動脈と重なり合う可能性のある周辺臓器等(腎臓、脊椎、腸管、および腎動脈周囲の脂肪組織)に関心領域を設定しそれぞれのSNRを求め、左右腎動脈と周辺臓器等のなかで最もSNRの低かったもの(SI_L/SD_{BG})との差をCNR-1、左右腎動脈と周辺臓器等のなかで最もSNRの高かったもの(SI_H/SD_{BG})との差をCNR-2として求めた。

$$CNR-1 = (SI_A - SI_L) / SD_{BG}$$

$$CNR-2 = (SI_A - SI_H) / SD_{BG}$$

2-5 処理画像評価

得られた画像データは、MIP法およびMPR法にて画像処理を行い、双方の腎動脈画像について、ナビゲータエコーシーケンスを用いない場合との比較を含め検討した。比較方法は、放射線技師5名(経験年数14~34年)により、MIP画像上での腎動脈第一分枝描出の有無について行った。

なお、MIP処理は、腎動脈がより観察しやすいようにcoronal方向からtransverse方向にかけての縦回転で行った。また、MPR処理に関してはドロー形式によるものであり、その手法は、元画像(transverse)上において腎動脈の走行に合わせた曲面を設定し画像再構成を行うものである(Fig. 4)。

Fig. 4 Renal artery line obtained by the drawing method.

3. 結果

3-1 撮像条件

各ボランティアのデータにおける2ndTRごとの腎動脈と腎臓のCNRの変化は、2ndTRの上昇とともにCNRも上昇し5名中4名で2ndTR=700msec以上で横ばい状態となり、1名が2ndTR=800msec以上で横ばい状態となった(Fig. 5)。また、心電図トリガーを併用した際のCNR値はいずれも2ndTR=700(1名は800)msec以上のCNRと同程度のものであり、心電図トリガー併用の必要性は認められなかった。よって、最適

Fig. 5 CNR of renal arteries and renals at every 2ndTR.

Table 2 Parameters of 3D-TOF MRA.

Flip angle	20~75 degree
TR	7.35 msec
2ndTR	700msec
TE	2.7msec
Slab thickness	48 mm (transverse)
Slice thickness	2 mm
Matrix size	256×128
FOV	300×300 mm
Time (aqu.=5)	7'28"
Fat saturation	+
ECG trigger	-

2ndTRは撮像時間も考慮し700msecと決定した。撮像条件をTable 2に示す。

3-2 定量的評価

CNR-1については、最大値が50.4、最小値が31.6、

平均値が39.1であった(Fig.6a)がfat saturation pulseの効果によりどのボランティアの場合も、脂肪組織がもっとも低いSNRであったため、CNR-1はすべて脂肪組織に対する値となった。

CNR-2については、最大値が29.9、最小値が20.4、平均値が22.3であった(Fig.6b)。

3-3 処理画像評価

Fig. 7はナビゲーターエコーシーケンスを用いなかった場合のMIP処理画像であるが、周辺臓器のモーションアーチファクト、腎動脈自体の動き、coronal画像におけるスライスギャップの発生等がみられボランティア全例において良好な腎動脈画像は得られなかった。

ナビゲーターエコーシーケンスを用いた際のMIP画像では、呼吸動に伴う問題点の発生はみられなかった。さらに、coronal画像においては周辺臓器との重なりのため高コントラストな画像は得られないものの、回転角度が増すにつれ周辺臓器との重なりが少なくなりコントラストは上昇した(Fig. 8)。

Fig. 6 (a) CNR of renal arteries and lowest SNR part. (b) CNR of renal arteries and highest SNR part.

Fig. 8 Renal MRA of a volunteer using 3D-TOF with navigator echo sequence (MIP). (a) Frontal view. (b) 30-degree oblique view from the under side. (c) 60-degree oblique view from the under side. (d) Transverse view.

また、腎動脈第一分枝の描出については、全観察者がボランティア全例でナビゲータエコーシーケンスを用いた場合にその描出を認め、ナビゲータエコーシー

Fig. 7 Renal MRA of a volunteer using 3D-TOF without navigator echo sequence (MIP). (a) Frontal view. (b) 30-degree oblique view from the under side. (c) 60-degree oblique view from the under side. (d) Transverse view.

Fig. 9 Renal MRA of a volunteer using 3D-TOF with navigator echo sequence (MPR).

ケンスを用いなかった場合には全観察者がボランティア全例で視認不能であると評価した。

MPR処理画像に関しては、周辺臓器との重なりがないためボランティア全例において非常に高いコントラストをもった腎動脈画像が得られた (Fig. 9)。また、ナビゲータエコーシーケンスを用いない場合に関しては、腎動脈中位から末梢にかけての動きが大きくボランティア全例においてドロー形式によるMPR処理は不能であった。

Fig. 10 (MIP) および Fig. 11 (MPR) に臨床画像 (59歳、女性、左片腎) を示す。MIP、MPR双方の処理に

Fig. 10 Renal MRA of a patient using 3D-TOF with navigator echo sequence (MIP).
30-degree oblique view from the under side.

Fig. 11 Renal MRA of a patient using 3D-TOF with navigator echo sequence (MPR).

において良好な腎動脈瘤像が得られた。

4. 考 察

4-1 ナビゲータエコーシーケンスについて

ボランティア 5 名のナビゲータエコー画像において、横隔膜の上下動は 1cm から 2cm であった。しかし、得られた腎動脈像では呼吸によるモーションアーチファクトはみられなかった。これは最大呼気時に呼吸の安定(停止)期がありそのときに得られた腎動脈データだけが採用されているものと考ええる。

4-2 画像コントラストについて

この 3D シーケンスでは、2ndTR 内に全スライスエンコードを行う手法がとられている。スライスエンコードにかかる時間は 235msec であり、 $700-235=465\text{msec}$ の間に RF pulse を受けていない血液が流入し良好なコントラストが得られたと考えられる。

FA に関しては、3D-TOF の際より均一性の高い血管像を得るために tilted optimized non-saturated excitation (以下、TONE) 法⁷⁾ が通常用いられる。しかし、TONE 法は 1 回の励起のなかに 3D スラブ内の血流の上流側から下流側にむけて徐々に大きな FA が設定され、それをスライスエンコード分繰り返すという手法であり、その効力が発揮されるのは頭頸部や四肢など目的血管の血流方向が一定である(スラブに対して直行)場合のみであり、血流の走行方向に変化が多い冠動脈や走行方向が正反対である腎動脈に関しては、今回のスライスエンコードの進行に伴い FA が徐々に大きくなっていく手法がより有用であると考えられる。

結果的に、CNR-2 における最小値は 20.4 であったが、菊地⁸⁾によるファントム中の希釈造影剤を用いた評価において、CNR が 20 以上あれば視認可能と述べ

られている。これは、対象物が変化してもその値は何等変わることがないと考えられ、今回の CNR 測定で十分視認可能といえる。

4-3 処理画像について

3D-MRA は腎動脈に限らず MIP 処理画像を回転させながら観察することが最良の手段である。今回の腎 3D-MRA の MIP 処理画像は、周辺臓器との重なりが少ない回転角度を持った画像や transverse 画像は高いコントラストが得られているものの、coronal 画像では周辺臓器と重なり合うため高いコントラストは得られなかった。しかし、MPR 画像は、腎動脈と周辺臓器が重なることがないため常に高いコントラストをもった coronal 画像が得られた。これは、MIP 処理による coronal 画像の代わりとなるものであり、MIP、MPR 画像の両方の処理画像が必要であると考ええる。

4-4 問題点について

今回のシーケンスにおける最大の問題点は、スライス枚数 24 枚が限度であり、スライス厚 2mm の設定では一度の撮像で腎動脈全体を観察できないことである。より広範囲の撮像が可能なシーケンスの早急な開発が望まれる。

また、MPR 処理において、分岐後の血管を描出するには複数の処理が必要であることや、腎動脈に完全閉塞がある場合の処理が不可能であることなどの処理上の欠点も挙げられる。

5. 結 語

非侵襲的方法による腹部領域の MRA 検査を目的としてナビゲータエコーシーケンスを用いた 3D-TOF 法を使用し、腎動脈撮像を行った。ナビゲータエコーシ

ーケンスの効果により通常呼吸下において非侵襲的に腎動脈撮像が可能となった。また、スライスエンコード群の繰り返し時間(2ndTR)は700msecが良好な画像コントラストを得るための最短時間であった。本手法は、被検者が長時間の呼吸停止ができない場合や腎機能障害や薬物アレルギーがあり造影検査を行えない際

にも有用な検査法であると考ええる。

謝 辞

本研究に際しご協力をいただきました、金沢医科大学病院放射線医学教室 利波久雄教授に感謝します。

参考文献

- 1) 鶴池充宏, 水内恒夫: Step up MRI'97 III 最新画像の動向
1. Coronary arteryの描出技術-3Dナビゲータエコー法の原理. INNERVISION, 12(9), 51-54, (1997).
- 2) 戸上 泉, 津野田雅敏, 佐藤修平, 他: 胸部領域のMRI診断. 映像情報(M)臨時増刊号, 28(25), 40-45, (1997).
- 3) 三木 均, 濱本 研: MRA画像アトラス. 映像情報(M)臨時増刊号, 25(27), 27-33, (1993).
- 4) 高原太郎, 塚本 浩: MRIにおける最大値投影法(MIP)について. 医学検査, 46(8), 1177-1179, (1997).
- 5) 南部武幸, 吉川宏起: デジタルイメージングの落とし穴 (MRI編). INNERVISION, 13(1), 106-111, (1998).
- 6) 日本放射線技術学会編: 臨床画像のCNR測定. 臨床放射線技術ハンドブック(上), 通商産業研究社, 東京, (1996).
- 7) 高橋睦正, 生嶋一朗, 浜武 諭, 他: MR AngiographyにおけるTilted optimized non-saturated excitation (TONE)法の有用性: 特に至適条件の検討について, MR血管撮影の診断制度の向上に関する基礎的. 臨床的研究最終報告書, NO.05304034 14-19, (1995).
- 8) 菊地 毅: 造影剤を用いた広範囲MRAの一方法. 日放技学誌, 55(3), 304-308, (1999).

図表の説明

- Fig. 1 ナビゲータエコーを得るための90度および180度パルスの設定画像.
Fig. 2 ナビゲータエコー画像.
Fig. 3 ナビゲータエコーシーケンスを用いた3D-TOF法のスキャン図.
Fig. 4 ドロー形式による腎動脈走行設定.
Fig. 5 2ndTRごとの腎動脈と腎臓のCNR.
Fig. 6 (a)腎動脈と周辺臓器等のなかで最もSNRの低かった部分(脂肪組織)のCNR.
(b)腎動脈と周辺臓器等のなかで最もSNRの高かった部分のCNR.
Fig. 7 ナビゲータエコーシーケンスなしでのボランティアの腎3D-TOF MRA (MIP処理).
(a)正面
(b)斜角下方より30度
(c)斜角下方より60度
(d)軸位
Fig. 8 ナビゲータエコーシーケンスを用いたボランティアの腎3D-TOF MRA (MIP処理).
(a)正面
(b)斜角下方より30度
(c)斜角下方より60度
(d)軸位
Fig. 9 ナビゲータエコーシーケンスを用いたボランティアの腎3D-TOF MRA (MPR処理).
Fig. 10 ナビゲータエコーシーケンスを用いた臨床例腎3D-TOF MRA (MIP処理).
斜角下方より30度
Fig. 11 ナビゲータエコーシーケンスを用いた臨床例腎3D-TOF MRA (MPR処理).

Table 1 スライスエンコードごとの設定フリップ角.

Table 2 3D-TOF MRAの設定パラメータ.

2001 年 6 月