

腹部大動脈，下肢動脈の 3D 造影 subtraction MR angiography の検討—0.5T 装置を用いたテーブル移動法の有用性—

松村憲太郎¹，佐藤清人¹，青野正樹¹，井下謙司¹，
内海直子²，橋田健二²，石澤太郎²

¹香川井下病院内科 ²同放射線科

はじめに

頭頸部や下肢の MR angiography は従来の二次元 time-of-flight (2D-TOF) 法や phase contrast (PC) 法が有用とされているが，撮像に長時間を要するため motion artifact が出やすく，血管が蛇行している場合や流速の遅い場合は信号が弱く，また乱流による dephasing のため狭窄度を過大評価する問題点がある．特に胸腹部から骨盤にかけては呼吸や腸管の運動や脂肪の高信号に影響されて 2D-TOF 法では血管を良好に描出することは困難である．

近年，高速撮影技術の進歩とともに Gd-DTPA の T₁ 短縮効果を利用した三次元 (3D) 造影 MR angiography が可能になり^{1)~5)}，脂肪抑制法^{6)~8)} や subtraction 法^{9),10)} などの普及で急速に発展してきた．しかし，報告の多くは 1.0T 以上の高磁場装置によるもので，中磁場装置の報告は見られない．本邦では 1999 年 5 月現在設置されている超伝導型 MRI 装置の 47% を 0.5T 装置が占めている¹¹⁾．最も普及している 0.5T 装置を用いて最新の 3D MR angiography がどの程度可能であり，その精度がどの程度かを検討することは日常臨床で有益と思われる．

対 象

1999 年 1 月以降に腹部大動脈から膝窩動脈遠位部までの血管造影 (DSA ; digital subtraction angiography) と同部位の Gd-DTPA 造影 3D subtraction MR angiography を 3 か月以内に行った症例のうち，この期間中に新たな血管病変の出現した症例や血管インターベンションを施行した症例を除外した連続 65 症例を対象にした．この 65 例のうち，息止め不良や体動のため MR 画像が不良であったり，DSA 画像が不良であった 9 例は今回の対象から除き，残る 56 例で検討した．男性 26 例，女性 30 例で平均年齢は 74±8 歳であった．この 56 例の DSA 診断は正常 12 例，アテローム性大動脈硬化症 21 例，大動脈炎症候群 3 例，腎下腹部大動脈瘤 3 例，腎血管性高血圧 7 例，閉塞性動脈硬化症 10 例であった．血管造影検査と MRI 検査はいずれも十分な説明と書面での同意を得て施行した．

方 法

1. MR angiography
Gd-DTPA 造影 3D subtraction MR angiography

キーワード 3D MR angiography, Gd-DTPA, stepping-table, digital subtraction angiography (DSA), arteriosclerosis obliterans (ASO)

raphyはGE社製0.5T超伝導型MRI装置(Signa Contour)を用いた。本装置の最大傾斜磁場は15 mT/m, slew rateは20 mT/m/ms, 送受信コイルは直径45 cmの球形補償領域をもったbody coilを用いた。22 G エラストー針を正中あるいは前腕静脈に留置し, 生理的食塩水を点滴しながら途中にある二つの三方活栓にGd-DTPA (Magnevist®, 日本シエーリング) 20 ml およびフラッシュ用の20 ml 注射器を接続した。下腿部にスポンジ・クッションを置いて大腿動脈と膝窩動脈が出来るだけ平行な面になるようにした。横隔膜から鼠径部までを領域1, 鼠径部から膝窩動脈遠位部までを領域2として, 位置決めのためにfast SPGR (spoiled gradient-echo) sequence で得られたaxial 断面からMRAに最適なcoronal 断面を設定した。3D MR angiographyは脂肪抑制機能[Spec IR; spectral inversion at lipid]を併用した3D fast SPGR sequence [TR 7.6 ms, TE 1.6 ms, flip angle 45°, FOV 45 cm, matrix 256 (周波数) × 128 (位相), bandwidth 31.2 kHz, 1NEX, 6 mm section thickness-26section]でphase orderingはsequentialとした。横隔膜下から鼠径部までを21秒間の息止めで撮像し, 続いてテーブルを30 cm 尾側に自動的に移動させ, 鼠

径部から膝窩動脈遠位まで息止めなしで21秒間撮像してマスク像とした。本法での撮像範囲は長軸方向に75 cmで, 領域間の重なりは15 cmであった。続いて造影剤の出現時間(time delay: TD)を知るために, Gd-DTPA 1 mlを生理的食塩水20 mlでフラッシュしてbolus注入し, multi-phase fast SPGR sequence [TR 10.2 ms, TE 2.4 ms, flip angle 60°, FOV 45 cm, matrix 256 × 128, bandwidth 15.6 kHz, 1NEX]を施行し, 腹部大動脈近位部に造影剤が出現するフレーム番号(1フレーム=1.4秒)よりTDを決定した。Gd-DTPA 19 mlを約50秒で手動注入し, 生理的食塩水20 mlでフラッシュしながら注入開始よりTD後に領域1でenhanced 3D fast SPGR sequence (efgre3dと略す)を21秒の息止めで行い, 直ちにテーブルを30 cm 尾側に自動的に移動させ(time lag; 15~18秒)efgre3dを施行した(Fig. 1)。Efgre3dの画像より直前のマスク像をsubtractionし, MIP (maximum intensity projection)処理およびslice ZIP 4 (zero padding interpolation processing)¹²⁾で補完して再構成画像を得た(Fig. 2)。画像表示は領域1で左右の斜位方向に5°ずつ20°まで表示し, 領域2では正面像のみ表示した。全検査時間は10~15分

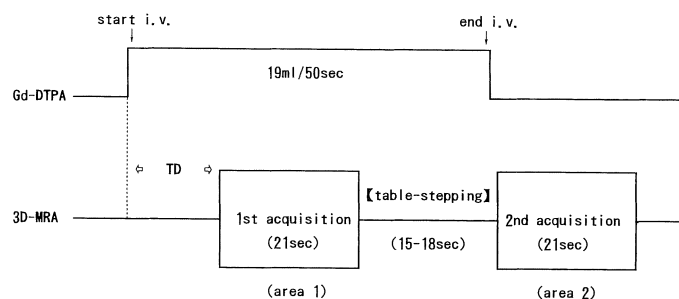


Fig. 1. Scheme of contrast material injection and data acquisition
The Gd-DTPA (Magnevist®, 19 ml) infusion lasts about 50 s and data acquisition started from TD interval (TD: time delay measured by test injection) to end of second acquisition.

1999年8月23日受理 1999年10月15日改訂

別刷請求先 〒769-1613 香川県三豊郡大野原町花稲 830 香川井下病院内科 松村憲太郎

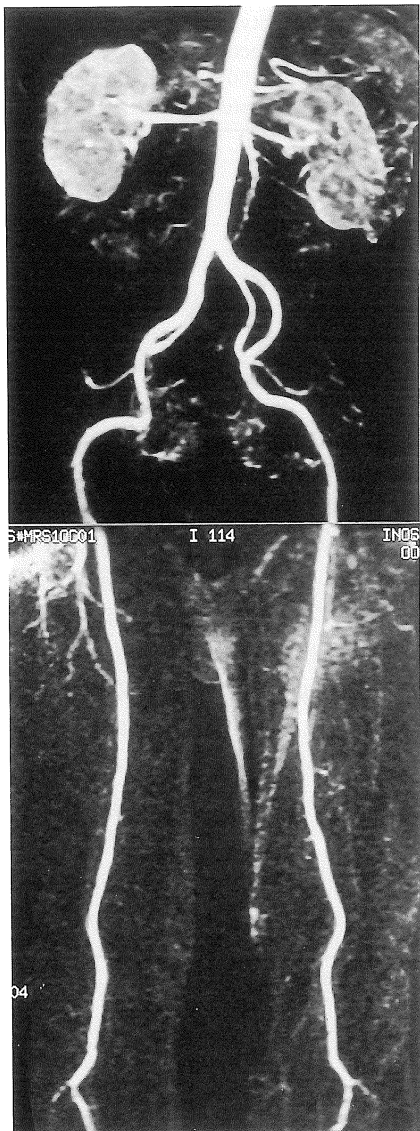


Fig. 2. Stepping-table contrast-enhanced three-dimensional (3D) subtraction MR angiogram from abdominal aorta to popliteal artery in the anteroposterior position

で、朝食を絶食して午前中に施行し、腸管運動抑制剤は使用しなかった。

2. 血管造影

全例左心カテーテル検査に引き続いて施行し

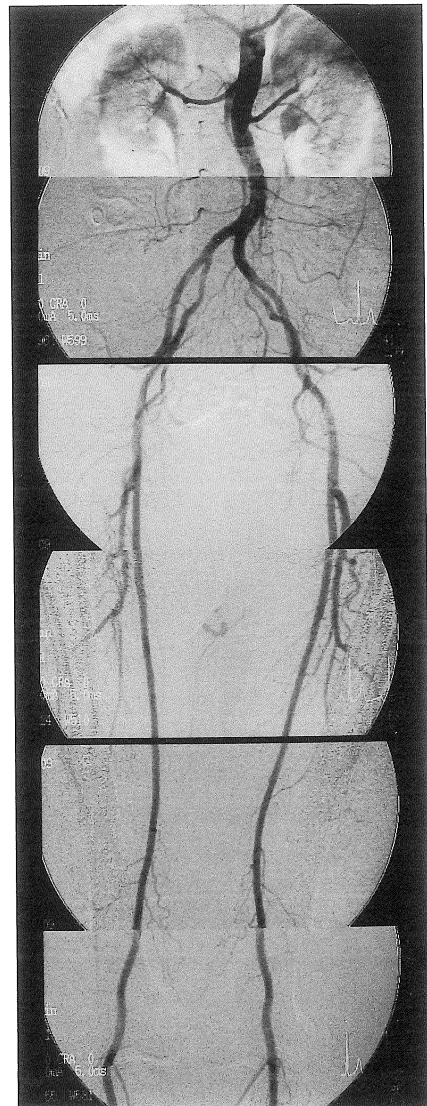


Fig. 3. Subtracted digital angiogram (stepping DSA) of abdominal aorta and lower extremity arteries

た。4Fr pig-tail カテーテルを腎動脈レベルの腹部大動脈に留置し、power injector を用いて iopamidol 370 を 20~26 ml/2 秒で注入、膝窩動脈遠位まで管球アームを移動させながら DSA [30 frames/秒, matrix 512×512, 12 inch] を行った (Fig. 3)。

3. 画像評価

DSA 画像の評価は循環器内科医 3 名で、MR 画像の評価は循環器内科医 1 名、放射線科医 1 名、放射線技師 1 名でそれぞれ独立して行った。病変の評価は腎上腹部大動脈、腎動脈、腎下腹部大動脈、総腸骨動脈、外腸骨動脈、浅大腿動脈、膝窩動脈で行った。血管造影において腎動脈の狭窄は 50%以上を、総腸骨動脈から膝窩動脈までの狭窄は 75%以上を有意とし、造影 3D MR subtraction angiography の sensitivity, specificity を検討した。

結 果

1. Test injection

Gd-DTPA を上肢静脈より 1 ml 急速注入後、腹部大動脈近位部までの造影剤到達時間(TD)は 14.0 秒から 33.6 秒まで大きなバラツキがあり、平均 23.0 ± 4.8 秒であった。

2. 造影 3D subtraction MR angiography の成功率

造影 3D subtraction MR angiography を施行した連続 65 例中 9 例は呼吸や体動、理解不良などによる motion artifact のため病変を評価できなかった。不適切な TD のために領域 1 で画像を評価できなかった症例はなかった。評価可能であった 56 例中両側腎動脈の起始部から腎門部までの描出は 56 例中 41 例 (73.2%) で可能であり、残り 15 例は呼吸停止位置の変化で subtraction 処理後腎動脈の描出が不良となったり、腎静脈の重なりで評価できなかった。テーブル移動後の下肢動脈の描出は、大腿動脈近位部は 56 例で描出されたが、膝窩動脈レベルは 56 例中 4 例で描出不良であった。

3. 造影 3D subtraction MR angiography の精度 (Table 1)

造影 3D subtraction MR angiography で 50%以上の狭窄を腎上腹部大動脈に認めたものは 2 例 (大動脈炎症候群)、腎下腹部大動脈に認めたのは 5 例 (2 例が大動脈炎症候群、3 例が

Table 1. Sensitivity and Specificity of MR Angiography for Detection of Renal Artery Stenosis (stenotic index: 50% \leq) and Lower Extremity Artery Stenosis (stenotic index: 75% \leq)

Lesions	sensitivity (%)	specificity (%)
Renal artery	84.2	65.1
Common iliac artery	94.1	75.8
External iliac artery	88.0	71.3
Femoral artery	95.6	70.8
Popliteal artery	88.5	74.4

動脈硬化症)であった。血管造影でも同様の所見を示した。大動脈瘤は 3 例で、いずれも腎下腹部大動脈瘤であり、血管造影と一致した。

腎動脈病変 (狭窄率 50% \leq) の sensitivity は 84.2%, specificity は 65.1%であった。総腸骨動脈から膝窩動脈までの有意病変 (狭窄率 75% \leq) の精度は、総腸骨動脈の sensitivity 94.1%, specificity 75.8%, 外腸骨動脈の sensitivity 88.0%, specificity 71.3%, 浅大腿動脈の sensitivity 95.6%, specificity 70.8%, 膝窩動脈近位部の sensitivity 88.5%, specificity 74.4%であった。総腸骨動脈から膝窩動脈までの全体の sensitivity は 89.7%, specificity は 73.8%であった。Fig. 4 に大動脈炎症候群症例の造影 3D MR angiography と血管造影像を示す。造影 3D MR angiography (Fig. 4A) では胸部大動脈から腹部大動脈の移行部および腹部大動脈の遠位部で狭窄が見られ、両側総腸骨動脈の起始部の狭窄とともに拡張性病変が見られる。腎動脈は両側共起始部で 99%から完全閉塞様になっている。腹部大動脈造影 (Fig. 4B) では腎動脈は近位部で 75~80%の狭窄度で、MR angiography で過大評価していた。

考 察

撮像に長時間を必要とする 2D-TOF 法に変わって、最近では撮像時間の短縮と診断精度の向上のために造影剤を用いた 3D MR angiog-

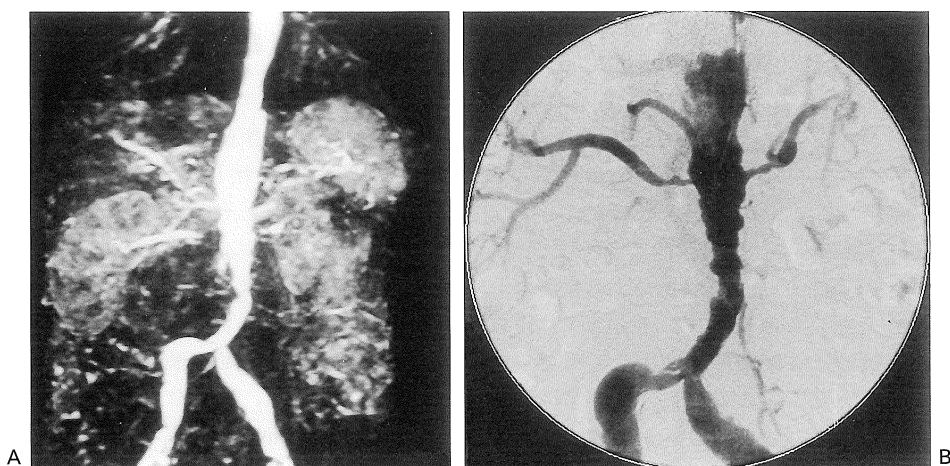


Fig. 4. Contrast-enhanced 3D subtraction MR angiogram (A) and digital X-ray angiogram (B) of aortitis syndrome

A : MR angiogram show multiple stenosis at abdominal aorta, bilateral renal arteries and iliac arteries. Renal arteries revealed high grade stenosis (99% or total occlusion).

B : Digital angiogram show bilateral renal artery and common iliac artery stenosis. The stenotic index of renal arteries were 75–80%. In this case, MR angiography revealed overestimation.

raphy が主流になりつつある^{1)~5)}。腹腔や骨盤内動脈および分枝血管の描出には呼吸や腸管の運動を抑えたり、高信号を呈する脂肪組織を抑制したりすることが必要であり、そのための一回の息止めによる高速撮影法^{2),5),13)}や脂肪抑制法^{6)~8)}、subtraction 法^{9),10)}などが開発されてきた。今回の efgre3d 法は 21 秒の息止め収集法で、subtraction 後に MIP 処理および slice ZIP¹²⁾で補完して画像を作成し、高信号の血管の連続性や辺縁描出が改善されたため、コントラストの良好な画像が得られている。

これまでに高磁場装置を用いた腎動脈病変の造影 3D MR angiography の有用性が報告されている^{2),5),14)}。Tello ら¹⁴⁾は狭窄度 50% 以上の主幹腎動脈狭窄に対する MR angiography の sensitivity 100%, specificity 98% と報告しているが、0.5T 装置を用いた我々の検討では sensitivity 84%, specificity 65% と満足できるものではなかった。血管造影に比し MRI 法では常に病変を過大評価する傾向にあり、そのため特に specificity が低下すること以外に撮像のタ

イミングの遅れのために静脈の重なりで読影が困難になったり、撮像時間を息止め可能な 21 秒にするために bandwidth を大きくしたため S/N 比が小さくなったこと、位相方向の空間分解能が劣ること、MR 信号自体が高磁場装置に比して弱いこと、また検査対象年齢が高いため確実な息止めが出来なく、subtraction 後に腎動脈病変の評価が困難になることなど、種々の原因が考えられる。

閉塞性動脈硬化症の診断に造影 3D MR angiography の有用性が多数報告されている^{3),4),15)~18)}。特に骨盤内の腸骨動脈領域は脂肪抑制法^{6)~8)}や subtraction 法^{9),10),15),18)}の導入で画質が飛躍的に向上してきている。0.5T 装置を用いた我々の検討では sensitivity 90%, specificity 74% で、高磁場装置による報告^{4),15),16)}が 95% 以上の sensitivity や specificity であるのに比し specificity に問題を残したが、sensitivity はほぼ満足できるものであった。腸骨動脈から膝窩動脈までの広範囲を一度に撮像するには二、三の工夫が必要であった。

我々は Gd-DTPA 19 ml を約 50 秒間で手動注入しながら、事前に求めた TD 後に腹部大動脈を息止め下に撮像し、続いて下肢動脈領域にテーブルを 30 cm 自動移動させ、約 15~18 秒後に撮像している。広範囲の血管病変の検索とともに、検査時間の短縮や造影剤の節約のためにテーブル移動法の有用性が最近報告されている^{4),16)~19)}。正確なテーブル移動による確実な subtraction で画質が改善し、以前の 2D-TOF 法に比し飛躍的に診断精度が向上してきている。我々の方法で膝窩動脈の描出が 56 例中 4 例 (7.1%) で不良であったが、1 例は心房細動、3 例は外腸骨動脈閉塞による造影剤の遅れであった。テーブル移動を 2 回行い、足背動脈までフルカバーする報告^{15)~19)}も見られるが、臨床的には膝窩動脈までで十分と思われる。しかし、我々の方法は撮像範囲が 75 cm であり、身長 180 cm 以上では大腿動脈中間部までしか描出できない限界もあった。

腹部大動脈を描出するための Gd-DTPA 投与量は 0.1 mmol/kg で十分とされ¹³⁾、体重 50 kg 前後では Gd-DTPA 19 ml で腹部および下肢領域を造影することが可能であったが、体重が 65 kg 以上になると 19 ml では特に分枝動脈の描出が不十分であった。しかし、現行の保険上の制約のためこれ以上は投与していない。

現在一部の高磁場装置には血管内信号の持続モニタ下に至適タイミングでスキャンを開始する方法 (MR smartprep) などが内蔵されており^{20),21)}、test injection なしに撮像の至適タイミングが得られている。我々は test injection により TD を求め、撮像を開始している。TD は心拍数や心機能、狭窄病変の存在などで症例ごとにバラツキが大きいので、必ず測定することが必要である。MR smartprep のような機構が 0.5T の機種に導入されれば理想的だが、我々の test injection 法はいずれの施設でも実施可能で簡便であり有用と思われる。

結 語

0.5T 装置を用いた造影 3D subtraction MR angiography の臨床的有用性について報告した。高磁場装置に比し MR 信号の弱い本装置でも、腹部大動脈とその分枝および下肢動脈の描出が可能であった。特に息止めとテーブル移動による撮像法で検査時間が飛躍的に短縮し、test injection による循環時間の測定を基にした撮像開始時間の設定で確実な画像収集が可能になった。しかし、撮像の至適タイミングの設定に test injection が必要であるなど、今後中磁場装置における改善が必要と思われる。

文 献

- 1) Lossef SV, Rajan SS, Patt RH, Carvlin M, Calcagno D, Gomes MN, Barth KH : Gadolinium-enhanced magnitude contrast MR angiography of popliteal and tibial arteries. *Radiology* 1992 ; 184 : 349-355
- 2) Prince MR, Narashimham DL, Stanley JC, Chenevert TL, Williams DM, Marx MV, Cho KJ : Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its branches. *Radiology* 1995 ; 197 : 785-792
- 3) Adamis MK, Li W, Wielopolski PA, Kim D, Sax EJ, Craig KK, Edelman RR : Dynamic contrast-enhanced subtraction MR angiography of the lower extremities : initial evaluation with a multisection two-dimensional time-of-flight sequence. *Radiology* 1995 ; 196 : 689-695
- 4) Rofsky NM, Johnson G, Adelman MA, Rosen RJ, Krinsky GA, Weinreb JC : Peripheral vascular disease evaluated with reduced-dose gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology* 1997 ; 205 : 163-169
- 5) Snidow JJ, Johnson MS, Harris VJ, Margosian PM, Aisen AM, Lalka SG, Cikrit DF, Trerotola SO : Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography for aorta-iliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath hold. *Radiology* 1996 ; 198 : 725-732

- 6) 天野康雄, 弦間和仁, 榎 利夫, 川俣博志, 岡島雄史, 渡 潤, 土橋俊男, 隈崎達夫: 脂肪抑制併用造影 3 次元 MR angiography による閉塞性動脈硬化症の診断と治療効果判定. 日磁医誌 1996; 16: 316-321
- 7) 笠原利行, 高原太郎, 中島康雄, 石川 徹, 田中良一, Van Cauteren M: 骨盤部的高速脂肪抑制付加 3D 造影ダイナミック MRA を用いた選択的動脈, 静脈撮像. 日磁医誌 1997; 17: 149-156
- 8) 高原太郎, 大西 毅, 山口敏雄, 黒瀬太一, 松本純一, 川口 洋, 山内栄五郎, 作山攜子: 脂肪抑制法を用いた骨盤部高速 3 次元造影 MRA の有用性. 日磁医誌 1998; 18: 156-163
- 9) 渡辺祐司, 道家雅子, 天羽賢樹, 石守崇好, 奥村 明, 小田一成, 光藤和代, 三並 珪, 百々義廣: ハーフフーリエ法とサブトラクション処理を併用した Gd-造影 3D MRA. 日医放会誌 1997; 57: 61-63
- 10) 肥合康弘, 山下康行, 船間芳憲, 他: Subtraction 法による骨盤, 四肢領域の 3D 造影 MR angiography—血管描出能の検討—. 日磁医誌 1998; 18: 164-170
- 11) MRI 設置医療機関名簿: 「新医療」1999 年 6 月号: 118-137
- 12) Du YP, Parker DL, Davis WL, Cao G: Reduction of partial-volume artifacts with zello-filled interpolation in three-dimensional MR angiography. JMRI 1994; 4: 733-741
- 13) Lentschig MG, Reimer P, Rausch-Lentschig UL, Allkemper T, Oelerich M, Laub G: Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the major vessels at 1.0T: dose-response findings and angiographic correlation. Radiology 1998; 208: 353-357
- 14) Tello R, Thomson KR, White D, Becker GL, Tress BM: Standard dose Gd-DTPA dynamic MR of renal arteries. JMRI 1998; 8: 421-426
- 15) Sueyoshi E, Sakamoto I, Matsuoka Y, Ogawa Y, Hayashi H, Hashmi R, Hayashi K: Aortoiliac and lower extremity arteries: comparison of three-dimensional dynamic contrast-enhanced subtraction MR angiography and conventional angiography. Radiology 1999; 210: 683-688
- 16) Ho KYJAM, Leiner T, de Haan MW, Kessels AGH, Kitslaar PJE, van Engelshoven JMA: Peripheral vascular tree stenoses: evaluation with moving-bed infusion-tracking MR angiography. Radiology 1998; 206: 683-692
- 17) Earls JP, DeSena S, Bluemke DA: Gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography of the entire aorta and iliac arteries with dynamic manual table translation. Radiology 1998; 209: 844-849
- 18) Watanabe Y, Dohke M, Okumura A, Amoh Y, Ishimori T, Oda K, Dodo Y: Dynamic subtraction MR angiography: first-pass imaging of the main arteries of the lower body. AJR 1998; 170: 357-360
- 19) Meaney JF, Ridgway JP, Chakraverty S, Robertson I, Kessel D, Radjenovic A, Kouwenhoven M, Kassner A, Smith MA: Stepping-table gadolinium-enhanced digital subtraction MR angiography of the aorta and lower extremity arteries: preliminary experience. Radiology 1999; 211: 59-67
- 20) Prince MR, Chenevert TL, Foo TK, Londy FJ, Ward JS, Maki JH: Contrast-enhanced abdominal MR angiography: optimization of imaging delay time by automating the detection of contrast material arrival in the aorta. Radiology 1997; 203: 109-114
- 21) Wilman AH, Riederer SJ, King BF, Debbins JP, Rossman PJ, Ehman RL: Fluoroscopically triggered contrast-enhanced three-dimensional MR angiography with elliptical centric view order: application to the renal arteries. Radiology 1997; 205: 137-146

Contrast-enhanced Subtraction MR Angiography of the Abdominal Aorta and Lower Extremity Arteries : Usefulness of Stepping-table Method on a 0.5T System

Kentaro MATSUMURA¹, Kiyoto SATO¹, Masaki AONO¹,
Kenji INOSHITA¹, Naoko UTSUMI², Kenji HASHIDA², Taro ISHIZAWA²

¹*Department of Internal Medicine, Kagawa Inoshita Hospital
830 Hanaina, Ohnohara-cho, Mitoyo-gun, Kagawa 769-1613*

²*Department of Radiology, Kagawa Inoshita Hospital*

To assess the stepping-table contrast-enhanced three-dimensional (3D) subtraction MR angiography of abdominal aorta, renal arteries and lower extremity arteries, we compared MR angiography with conventional digital radiography for accuracy of vessel stenosis in 56 patients. Stepping-table gadolinium-enhanced 3D subtraction MR angiographies were acquired with a middle field MR system (0.5T). Breath-hold 3D MR angiography was used to obtain 3D fast SPGR (spoiled gradient-echo) sequence [TR 7.6 ms, TE 1.6 ms, flip angle 45°, FOV 45 cm, 256 × 128 matrix, bandwidth 31.2 kHz, 1 NEX, 6 mm section thickness-26 section] with fat suppression [Spec IR : spectral inversion at lipid], MIP (maximum intensity projection) and ZIP (zero padding interpolation processing). The imaging table was moved automatically 30 cm between two acquisition. For the stenotic vessel segments, MR angiography was 84.2% sensitivity and 65.1% specificity in renal arteries, and 89.7% sensitivity and 73.8% specificity in lower extremity arteries.

Stepping-table contrast-enhanced 3D subtraction MR angiography was feasible and useful for help in identifying arteriosclerosis obliterans, but the specificity of renal artery was unsatisfactory in this middle field MR system.