



Title	Phase reorderingを用いた呼吸停止下胸腹部3次元造影MR angiography
Author(s)	天沼, 誠; 杉本, 映一; 平田, 寿 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1995, 55(8), p. 550-554
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18413
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Phase reorderingを用いた呼吸停止下胸腹部3次元造影 MR angiography

天沼 誠¹⁾ 杉本 映一¹⁾ 平田 寿²⁾ 榎本 京子¹⁾ 渡部 恒也¹⁾
木村 敏彦³⁾ 滝沢 修³⁾ 平敷 淳子¹⁾

1) 埼玉医科大学放射線医学教室 2) 小川赤十字病院放射線科

3) シーメンス旭メディテック

Contrast-enhanced 3D MR Angiography of the Chest and Abdomen with Breath-holding Using Phase Reordering

Makoto Amanuma¹⁾, Eiichi Sugimoto¹⁾,
Hisashi Hirata²⁾, Kyoko Enomoto¹⁾, Tsuneya Watabe¹⁾,
Toshihiko Kimura³⁾, Osamu Takizawa³⁾
and Atsuko Heshiki¹⁾

This report presents the feasibility of phase-reordered contrast-enhanced three-dimensional MR angiography in 32 consecutive patients with vascular abnormalities in the chest and abdomen. To suppress motion artifacts due to respiratory corruption, a phase-reordering technique was introduced so that the low frequency components of the phase data were obtained first during the imaging period. Image quality and degree of motion suppression were assessed by four radiologists independently without information on breath-holding time.

Abnormalities were detected in 30 cases (93.8%), and their extent was correctly assessed in 28 cases (87.5%). More confident assessment was possible in abnormalities of the pulmonary vessels and thoracic aorta than in those of the abdominal aorta and portal venous system. With phase reordering, more than 20 seconds of breath-holding ensured image quality sufficient to correctly assess the vascular abnormalities. While this technique is easy and requires only single breath-holding, it can provide excellent MRA without slice-to-slice spatial misregistration.

Research Code No. : 508.9

Key words : MR angiography, 3D imaging,
Gd-DTPA, Motion correction,
Phase encoding

Received Apr. 26, 1994 ; revision accepted Jun. 29, 1994

1) Department of Radiology, Saitama Medical School

2) Department of Radiology, Ogawa Redcross Hospital

3) Siemens-Asahi Medical Technologies Ltd.

はじめに

2次元time-of-flight(2D TOF)法やphase contrast(PC)法を用いた胸腹部領域のMR angiography(MRA)は、大血管の異常を中心にその有用性が報告されている¹⁾⁻⁵⁾。しかし、これらの方法は撮像時間が長い、呼吸停止部位が一定でないと得られる画像の血管の連続性が悪いなどの問題点を有し、頭頸部や下肢などのMRAに比較すると必ずしも臨床的な有用性が確立した方法論とはいえない。われわれはGd-DTPAの持続静注下に高速撮像法を施行し、呼吸停止下のMRAを得る試みを報告してきた^{6), 7)}。従来の方法と比較し1ないし2回の呼吸停止で撮像が終了するために、検査時間が短く、呼吸によるmotion artifactのない血管の連続性にすぐれた画像が得られる可能性を有している。今回位相のreorderingを併用し、1回の呼吸停止で撮像可能な胸腹部3次元造影MRAを試みた。初期の臨床経験からこの方法による(1)大血管異常の描出能、(2)撮像部位による適応、(3)呼吸停止時間と画質との相関、の3点を中心に検討した。

対象および方法

対象は1993年11月より1994年2月までの4カ月間に埼玉医科大学放射線科において造影剤を用いてMRAを施行した胸腹部症例32例(男性21例、女性11例、平均年齢56.8歳)で、疾患の内訳は肺癌血管浸潤1例、胸部大動脈瘤7例、腹部大動脈瘤6例、解離性大動脈瘤2例、大動脈炎症候群2例、偽性大動脈縮窄症1例、胃食道静脈瘤11例、肝細胞癌門脈浸潤1例、上腸間膜静脈静脈瘤1例である。いずれも血管造影(18例)、造影CT(29例)あるいはspin echo法によるMR検査(31例)により血管系の明らかな異常の存在が確認できるもののみを対象とした。

装置はSiemens社製Magnetom H15 SP(静磁場強度1.5T)、パルス系列は3次元FLASH法(TR/TE/FA/NEX=10/4/18/1)を使用した。撮像断面を冠状断とし、3次元スラブ分割数32、実効スライス厚4ないし4.5mmとすることで、ほぼ胸部あるいは腹部全体を撮像領域に含めることが可能であった。ただし解離性大動脈瘤症例2例においてのみ、撮像断

面を大動脈長軸を含む斜め矢状断に設定した。FOVは疾患に応じて35ないし40cmの範囲で可変したが、胸部、腹部の両者に病変が疑われた2症例では50cmとした。面内のマトリクスサイズを128×256とした場合の撮像時間は42秒であり、今回の検討はこの撮像条件のもとで行った。なお、撮像時間短縮の目的からgradient moment nullingは用いていない。

Reorderingは、面内の位相エンコードにおいて、通常のlinearly ordered phase encodingの初めに得られるべき高周波成分1/4のデータ収集を撮像の最後にまわし、画像コントラスト、信号雑音比(以下SN比)を決定する上で最も重要な低周波成分1/2のデータを、撮像の前半で収集する方法を試みた⁸⁾。スライス選択方向の位相エンコードは通常どおりである。造影剤の投与法はGd-DTPA 20mlを生理食塩水で6倍希釈して120ccとし、手背静脈より秒間2ccの割合で持続静注した^{7), 9)}。注入開始から撮像開始までの時間は目的とする血管に応じて20-60秒に変化させた⁷⁾。

撮像は最大吸気位にて呼吸停止下に行い、撮像開始からの呼吸停止時間を患者の腹部を視覚的に観察することにより計測した。各症例を呼吸停止可能時間により20秒以下、20-30秒、30-40秒、42秒間の4群に分類した。ただし呼吸停止中断後の呼吸運動パターンについては考慮しなかった。また、呼吸運動の有無が視覚的に判定困難であった例は対象から除外した。

得られたMRA再構成画像および原画像の情報から画像コントラストとmotion artifactを中心に次の点を検討した。(1)目的とする血管(肺動静脈、胸部大動脈、腹部大動脈、門脈)と周囲組織のコントラスト、(2)目的とする血管異常の

存在診断能、(3)目的とする異常の存在範囲診断能、(4)呼吸停止時間と呼吸に起因すると考えられるmotion artifactの程度。

血管描出能、病変診断能の判定基準としては、評価に十分な情報が得られている：2点、評価可能な画像が得られている：1点、得られた画像のみからは評価は不可能である：0点、の3段階で、呼吸によるmotion artifactについてはmotion artifactが存在せず明瞭な画像が得られている：2点、軽度のmotion artifactを認めるが評価に影響はない：1点、motion artifactのために評価不能0点、の3段階とした。画質判定はMRIおよび血管造影に従事する計4名の画像診断医によって独立に施行し、呼吸停止時間についての情報は与えず、年齢、性別、診断名、MRA原画像および再構成像により行った。ただし判定上、必要に応じて他の診断画像を比較のために参照させた。4名の得点を総計し、0-2点をpoor、3-5点をgood、6-8点をexcellentとし、goodおよびexcellentを診断可能例とした。

結 果

Table 1に全症例に対する画質評価結果を示す。32病変に対し、血管コントラスト31例(96.9%)、疾患の存在診断能30例(93.8%)、存在範囲診断能28例(87.5%)で診断可能な画像が得られたと評価された。また、7症例においてMRA施行前に他の方法では認められていなかった血管異常、病変が検出された(大動脈瘤1、総腸骨動脈動脈瘤1、鎖骨下動脈動脈瘤1、動脈狭窄2、門脈側副血行路2)。

撮像部位別には、肺動脈、胸部大動脈領域の診断能が最も高く、門脈領域ではこれが低下する傾向が見られた(Fig.1)。

各呼吸停止時間ごとの症例数は、20秒以下6例、20-30秒8例、30-40秒7例、42秒間完全に停止可能11例であった。Fig.2に停止呼吸時間ごとのmotion artifactの平均得点を示す。呼吸停止が長時間可能であった症例ほどmotion artifactの程度は小さく、診断能の高いMRAが得られる傾向

Table 1 Results of subjective assessment of MRAs in 32 cases

	Excellent	Good	Poor
Contrast	18	13	1
Existence	25	5	2
Extent	15	13	4
Artifact	17	14	1

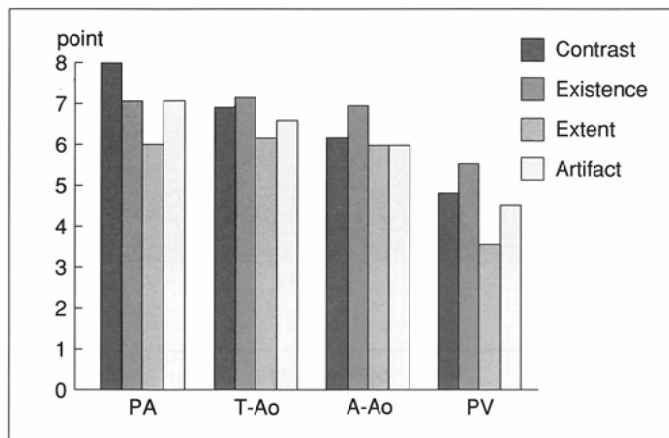


Fig.1 Image quality of MRAs in different imaging areas
PA: pulmonary arteries, T-Ao: thoracic aorta, A-Ao: abdominal aorta, PV: portal venous system

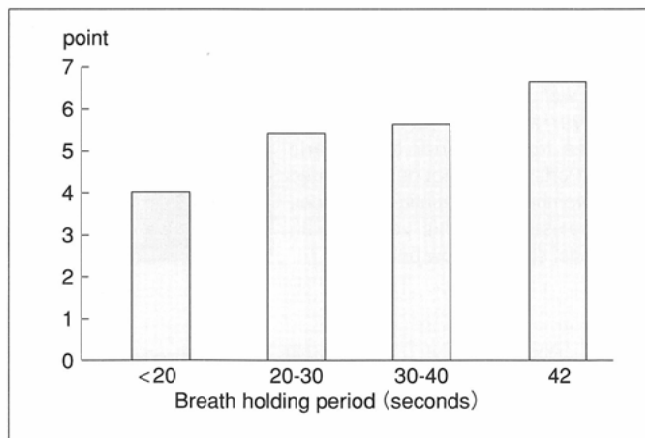
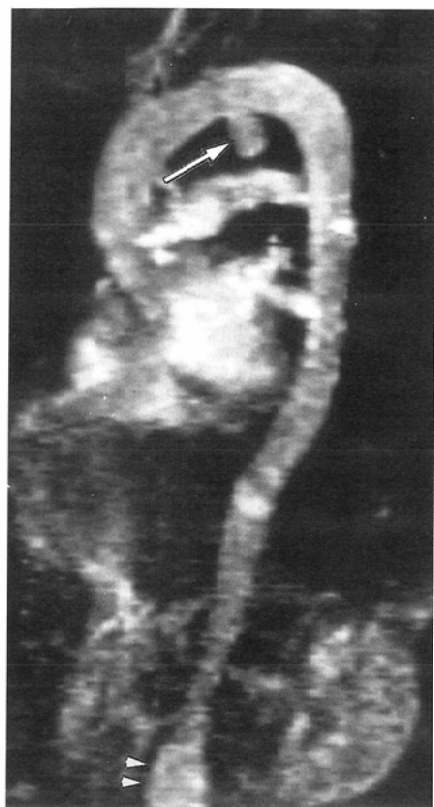
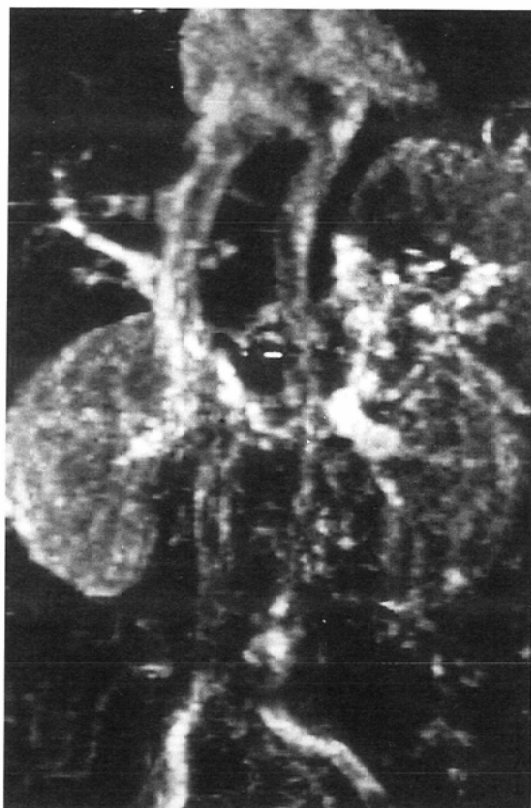


Fig.2 Degree of respiratory motion suppression relative to the breath holding periods
The transverse axis represents intervals of breath holding.



(A)



(B)

Fig.3 MRAs with 20-30 seconds breath holding

(A) Thoracic aortic aneurysm in a 54-year-old man. 30 degrees oblique MRA demonstrates a small sacular aneurysm outpoching from the aortic arch (arrow). Note an incidentally found infrarenal aortic aneurysm (arrow heads).

(B) Gastric varices in a 70-year-old woman. Due to motion artifact origin and extent of the varices are unclear. This image was scored as poor.

Fig.4 MRAs with 30-40 seconds breath holding

(A) Aneurysm of the descending thoracic aorta in a 76-year-old man. Oblique coronal MRA provides information about its size, location, and extent.

(B) Superior mesenteric varices in a 60-year-old woman. MRA shows a dilated right ovarian vein (arrow) which continues from superior mesenteric varices. Portal vein is not demonstrated due to thrombosis by hepatic cell cancer. Note coexisting splenic varices with splenorenal shunt (arrow heads).



(A)



(B)

にあり、評価不能であったのは呼吸停止時間10秒以下の1例のみであった。20秒以下の呼吸停止では得られた画像は必ずしも判定が容易ではなかったが(Fig.3), 20秒以上の呼吸停止例では全例においてその診断、評価が可能であった(Fig.4, 5)。

考 察

MRAは頭頸部領域においてその有用性を確立し、日常診療においても不可欠な画像診断法となっている。これに対して胸腹部領域のMRAは、これまで多くの方法が試みられ

ているが必ずしも確立したものはない。今日最も一般に用いられている撮像法は2D TOF法であるが³¹⁾⁻³³⁾、胸腹部領域における主要な大血管は主に頭尾方向の走行をとるため、血流信号を得るために有利な撮像断面は水平断となる。このため、データ収集は多くのスライス、したがって繰り返す呼吸停止を必要とし、検査時間が長くなる。撮像時間の節約から通常用いられることの多い冠状断でのデータ収集は、スピン系の飽和効果のために大血管内血流の均一な高信号を保つことが困難となる。この欠点は3D法においてはより顕著となり、一般には3D法は限られた領域以外では胸腹部領域のMRAには用いられていない¹⁰⁾。PC法は均一な血流信号が得られ、腎動脈、大動脈などの領域での応用がなされている^{41), 5)}。しかし、撮像対象に応じたvelocity encoding (VENC) value の設定が必要であること、3軸方向でのデータ収集が原則となること、エコー時間が長くなることなどが問題として挙げられ、TOF法に比較してなお用いられる頻度は少ないのが現状である。

今回使用した方法は3次元TOF法の血流の飽和効果をGd-DTPAによるT1短縮効果により代償したものであり、1回の呼吸停止で撮像を終了することが可能である。造影剤投与から撮像までの時間を調節することにより、上大静脈、肺血管、大動脈、近位下肢動脈、門脈など多くの大血管を対象に広く応用できると考えられる^{6), 7), 9), 11)-13)}。データ収集断面を冠状断とすることにより広い撮像領域をとることができ、今回のように目的とする病変以外の異常を指摘することも可能になるとと思われる。

胸部、腹部の大部分をある程度の解像度を保ちながら撮像領域に含めるために32分割の断面を用いているが、このために必要な呼吸停止時間は42秒である。呼吸停止が途中で中断した場合にはmotion artifactのため画像の劣化が生じ、これまでの大きな問題点であった。今回用いたパルス系列ではこのartifactを軽減することを目的に位相のreorderingを併用した。基礎的な実験では20秒の停止が可能であれば比較的良好な画像が得られており⁸⁾、今回の検討でも20秒以上の呼吸停止症例は全例で診断可能と判定された。reorderingが有効なのは呼吸停止時間が30秒以下の場合であるが⁸⁾、今回検討した32例中30秒間呼吸停止ができなかったものが14例

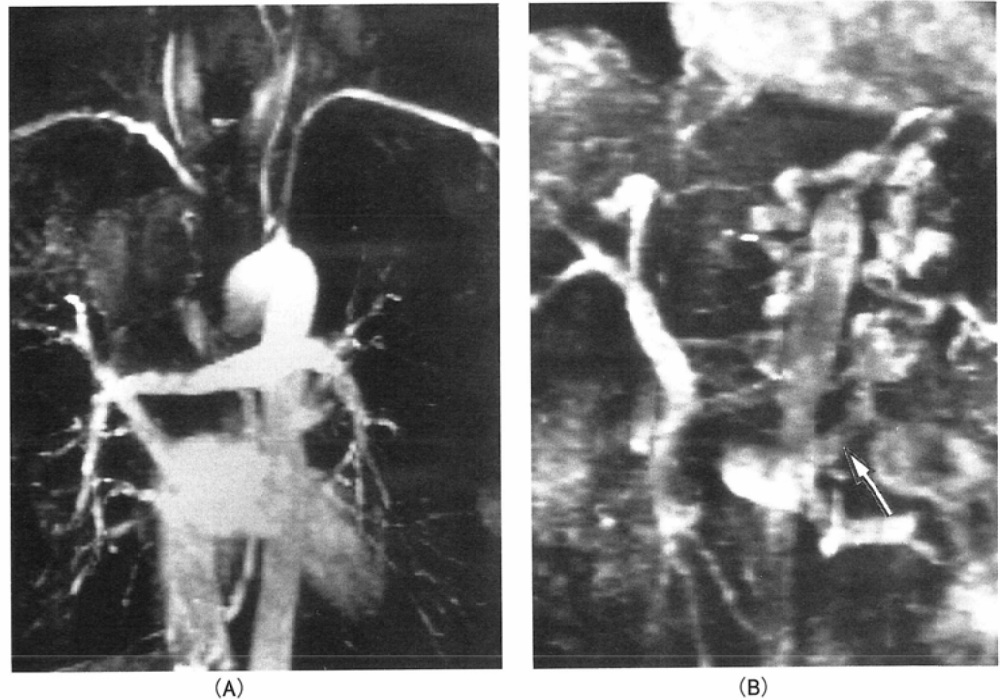


Fig.5 MRAs with full breath holding

(A) Lung cancer in a 58-year-old man. MRA demonstrates a large tumor involving the upper lobe branch of the right pulmonary artery. From original images tumor extension into the superior vena cava was also detected and operatively confirmed.

(B) Gastroesophageal varices in a 64-year-old woman. MRA reconstructed from selected 25 original partition images. Developed gastroesophageal varices with splenorenal shunt (arrow) are demonstrated.

存在し、これらの症例ではこのパルス系列が画質の改善に貢献したものと考えている。ただし位相角0度に相当するデータは撮像開始約10秒後に得られるため、呼吸停止が数秒以下のような症例には診断に堪える画像は期待できない。

造影剤を用いた3D MRAでは、短時間で呼吸のartifactがない画像が得られるのみならず、原画像は特定の血管が高信号を呈するT1強調画像である。血流と静止系のコントラストの点からは必ずしも好ましくないが、付随する異常の発見や病変部位の正確な把握などの点ですぐれている。MRA診断における原画像の診断的重要性は従来より指摘されているが³⁴⁾、本法では原画像の情報がしばしば同時に施行したスピンエコー法を上回り、その診断上の役割はより強調されるべきである。

撮像部位別に見ると、肺血管や大動脈領域の異常が門脈領域に比較して診断能が高いことが示唆された。この原因として、前者においては対象とする血管およびその異常が比較的粗大であることが多く、その検出が容易であることが挙げられる。同時に注入部位からの撮像対象までの造影剤の到達距離が小さく、より撮像のタイミングが設定しやすいこと、肺循環を除き動脈系のみを選択的な造影効果が得られることなども理由として考えられる。ただし、門脈領域の異常でも30秒以上の呼吸停止が可能なら病変の検出率は高く、従来の2D TOF法に比較してはるかにすぐれた画像が得られている。

問題点としては空間分解能の低さが挙げられる。今回の検討における単位ボクセルの大きさは $1.4 \times 2.7 \times 4 \text{ mm}$ であ

り、頸部動脈分枝や腎動脈などの詳細な評価には限界があると考えられる⁶⁾。また、すでに述べたように、造影剤注入部位からの到達距離の大きい領域を対象とした場合には描出血管の選択性が低下する。門脈領域の異常でコントラストや病変検出能のみならず、motion artifactの程度も他の領域より劣っていた(Fig.2)のは血管の選択的なコントラストが低いために、artifactが相対的に大きく評価されたためと考えられる。これらの領域では造影剤注入濃度、速度、タイミングなどをより詳細に検討し、工夫を加えることが必要である。

血流と背景組織のコントラストを決定する上で、造影剤注入から撮像開始までのタイミングが重要な意味を持つが、reorderingに伴い、MRAを構成するコントラストの重みづけの時間的な分布が変化する⁸⁾。画像コントラストに重要な意味を持つ位相の低周波成分が初めに得られるために¹⁵⁾、少なくとも撮像開始の時点では造影剤が目的とする血管に到達している必要がある。画像評価上は問題なかったが、大動脈弁閉鎖不全症を合併した胸部大動脈瘤の1例で造影剤の到達時間が長く、腹部大動脈がまったく描出されていなかった。このような循環時間の延長することが予想される症例では、撮像開始時間を延長するなどの配慮が必要となる。実際には撮像直後に画像を確認し、造影効果が不十分であれば、その場で撮像を繰り返すことにより、多くの場合評価の可能なMRAが得られている。

今回は複数の部位、病変を含めた初期経験の総括にとどめたが、今後は各疾患、各部位ごとに血管造影、他のMRA

の方法論などと比較することにより、その適応の成否を決定していく必要がある。本法は簡単に1回の呼吸停止で撮像が終了するために、通常の検査に容易に組み込むことが可能であり、造影効果が持続している間に繰り返すことにより、経時的な変化や多方向からのデータ収集などの応用も考えられる。大血管の異常を評価する上で症例によっては血管造影に代わり得る検査法として期待される。

結 語

1. 位相のreorderingを併用した3次元高速撮像法を用い、胸腹部血管異常32例に対して、呼吸停止下のMRAを試みた。
2. 肺動脈、大動脈、門脈領域の血管異常に対し1回の呼吸停止で診断能の高いMRAを得ることが可能であった。32例中、存在診断については30例(93.8%)、存在範囲診断については28例(87.5%)で評価が可能であった。
3. 異常の診断能は肺動脈、胸部大動脈領域で高く、腹部大動脈、門脈領域がこれに続いた。造影剤注入部位から離れた領域ではより投与方法に工夫を要すると考えられた。
4. 呼吸停止時間が長い症例ほどすぐれたMRAが得られた。reorderingにより20秒以上の停止が可能であった26例では、全例で良好なMRAを得ることができた。
5. 本法は検査時間が短く、呼吸性artifactの少ない血管の連続性にすぐれたMRAを得ることが可能であり、種々の血管異常に対して広く応用可能な技術として期待できる。

文 献

- 1) Grist TM, Sostman HD, MacFall JR, et al : Pulmonary angiography with MR imaging ; preliminary clinical experience. Radiology 189 : 523-530, 1993
- 2) Sallevelt PEJM, Barntsz JO, Ruijs SHJ, et al : Role of MR imaging in the preoperative evaluation of atherosclerotic abdominal aortic aneurysms. Radiographics 14 : 87-98, 1994
- 3) Gehl HB, Bohndorf K, Klose KC, et al : Two-dimensional MR angiography in the evaluation of abdominal veins with gradient refocused sequences. JCAT 14 : 619-624, 1990
- 4) Debatin JF, Spritzer CE, Grist TM, et al : Imaging of the renal arteries: value of MR angiography. AJR 157 : 981-990, 1991
- 5) Debatin JF, Sostman HD, Knelson M, et al : Renal magnetic resonance angiography in the preoperative detection of supernumerary renal arteries in potential kidney donors. Invest Radiol. 28 : 882-889, 1993
- 6) 天沼 誠, 渡部恒也, 平敷淳子 : 呼吸停止下Gd-DTPA持続静注による腎動脈の高分解能MR Angiography. 日本医放会誌 54 : 292-294, 1994
- 7) 天沼 誠, 長谷川真, 榎本京子, 他 : Gd-DTPAを用いた呼吸停止下大動脈の3次元MR Angiography. 日本医放会誌 54 : 1352-1358, 1994
- 8) 天沼 誠, 木村敏彦, 滝沢 修, 他 : 呼吸停止下3次元MRI ; Phase reorderingによるmotion artifact抑制効果の基礎的検討. 日本医放会誌 55 : 222-227, 1995
- 9) Lewin JS, Laub G, Hausmann R : Three-dimensional time-of-flight MR angiography ; applications in the abdomen and thorax. Radiology 179 : 261-264, 1991
- 10) Prince MR : Gadolinium-enhanced MR aortography. Radiology 191 : 155-164, 1994
- 11) 戸上 泉, 三谷政彦, 北川尚広, 他 : 3次元撮像法を用いた肺のMR angiography. 日本医放会誌 52 : 1602-1604, 1992
- 12) 磯田治夫, 牛見尚史, 増井孝之, 他 : 息止め、造影剤使用によるpulmonary 3-dimensional time-of-flight MR angiographyの臨床検討. 臨床放射線 39 : 65-74, 1994
- 13) 三谷政彦, 戸上 泉, 加藤勝也, 他 : 胸部腫瘍性病変におけるMR angiography—上大静脈系に対する評価—第52回日医放総会抄録集 369, 1993
- 14) Wolpert SM, Caplan LR : Current role of cerebral angiography in the diagnosis of cerebrovascular diseases. AJR 159 : 191-197, 1992
- 15) Korin HW, Riederer SJ, Bampton AEH, et al : Altered phase-encoding order for reduced sensitivity to motion in three-dimensional MR imaging. JMRI 2 : 687-693, 1992