原 著

0.5T-MRIを用いた頭部領域における少量造影剤投与
3D-time of flight MR-venographyの検討井手口忠光・米村政昭¹⁾・村中 光・松下茂彦・田畑信幸・宮島隆一
赤澤史生・川路康之・財前 誠・八島久徳・小川臣人・池田尋隆論文受付
2001年1月19日論文受理
2001年4月23日

Code No. 261

国立病院九州医療センター放射線部

1) 国立熊本病院放射線科

緒 言

magnetic resonance angiography (MRA) の出現により、現在脳血管の描出が非侵襲的に行えるようになった。

た。日常臨床においてMRAは、動脈系の検査に多く使用されているが、静脈系の描出による臨床応用は数少ない^{1,2)}。しかし、頭蓋内原発性脳腫瘍のなかで最

3D Time-of-flight Intracranial MR-venography with a Small Amount of Contrast Medium Administration at 0.5-Tesla MRI

TADAMITSU IDEGUCHI, MASAOKI YONEMURA,¹⁾ TORU MURANAKA, SHIGEHICO MATSUSHITA, NOBUYUKI TABATA, RYUICHI MIYAJIMA, FUMIO AKAZAWA, YASUYUKI KAWAJI, MAKOTO ZAIZEN, HISANORI YASHIMA, SHIGETO OGAWA, and HIROTAKA IKEDA

Department of Radiology, National Hospital Kyushu Medical Center

1) Department of Radiology, National Kumamoto Hospital

Received Jan. 19, 2001; Revision accepted April 23, 2001; Code No. 261

Summary

The purpose of this study was to determine the volume of contrast medium sufficient for three-dimensional (3D) time-of-flight (TOF) MR-venography (MRV) of the intracranial venous systems. 3D-TOF MRV was performed with contrast medium (Gd-DTPA: 0 ml, 5 ml, 15 ml) on 20 subjects. With the 3D-TOF sequence, post-processing maximum intensity projection (MIP) images were constructed throughout the entire imaging volume. Visual evaluation of the five stages by five radiologists with at least three years of experience was performed in respect to the independence of contrast medium volume from the suppression effect of arteries and visualization of the deep cerebral veins. The deep cerebral veins and transverse sinus were not clearly visualized on 3D-TOF MRV without contrast medium. "Excellent" and "good" evaluations accounted for 72% in terms of the suppression effect of the artery in the group administered 5 ml. This rate was significantly higher than the 33% in the group administered 15 ml. "Excellent" and "good" evaluations accounted for 68% in terms of visualization of the deep cerebral veins in the 5-ml group, a significantly higher rate than the 44% in the 15-ml group. In the examination of contrast medium volume independence in an identical case, the artery suppression effect occurred at a rate of 100% in the comparison of 5 ml administration with 15 ml administration. In conclusion, when carried out with a small amount of contrast medium (about 5 ml), 3D-TOF MRV was useful for demonstrating the intracranial venous system.

Key words: Magnetic resonance venography (MRV), 3D time of flight, Low-dose contrast medium

別刷資料請求先: 〒810-8563 福岡市中央区地行浜 1-8-1
国立病院九州医療センター 放射線部 井手口忠光 宛

も頻度が高い髄膜腫など、多くの疾患において頭部静脈系の描出による臨床的な意義は大きい。現在主流となっているMRIにおける頭部静脈系の撮像法はthree-dimensional (3D)-phase contrast (PC), two-dimensional (2D)-time of flight (TOF) 法であるが、いずれの方法もいくつかの問題点がある。PC法は造影後増強効果がある組織でも、流れのない部分は高信号とならないため、腫瘍と静脈の位置関係が不明瞭である。また、2D-TOF法では撮像スライス厚設定の薄さに限界があり、高解像度の頭部静脈像を得ることが難しい。われわれはこれまでに、頭部静脈系描出に最適な撮像法を検討してきたが、その結果、造影剤を投与した3D-TOF法が2D-TOF法に比較して高鮮鋭度の画像を得ることができた。しかし、撮像スラブ面内に流れる動脈の磁化の回復も早く、動静脈が同時に描出されるという欠点があった。そこで今回われわれは、3D-TOF法において足側にpre-saturation pulseを印加し、さらに投与する造影剤を少量にすることで撮像スラブ面内の動脈磁化の回復を通常使用量と比べ遅くし、高解像度の静脈のみを描出する検討を行ったので報告する。

1. 対象

対象は、平成10年8月から平成11年7月まで国立熊本病院で頭部MRIを施行した患者20名で、その内訳はMRI画像上、異常所見が認められなかった18例(男性7例、女性11例; 平均年齢 53.5 ± 18.5 歳)および髄膜腫1例(75歳、女性)、神経線維腫症1例(18歳、女性)である。このうち2名の患者に関しては2回の撮像を行い、合計症例数は22症例である。

2. 方法および使用機器

まずはじめに、MRI造影剤投与5分後に3D-TOF法を用いて、頭部の撮像を行った。使用機種は超電導型0.5T (tesla)-MRI装置PHILIPS GYROSCAN T5-IIである。造影剤(Gd-DTPA)投与量は0ml群2例、5ml群5例、15ml群15例の計22例であり、このなかには5mlと15mlでの2回の撮像を行った患者2名を含んでいる。検討する少量造影剤は、通常臨床で使用する投与量15mlの、約1/2の T_1 短縮効果を示す5mlを選択した。0mlおよび5ml投与群と15ml投与群に使用したpulse sequenceはFFE法で撮像条件はrepetition time (TR)=32ms / echo time (TE)=6.9ms / flip angle=17°/field of view (FOV)=200である。撮像スライス厚は1.2mmで0.6mmの重ね合わせで撮像を行い、実効スライス厚を0.6mmとした。スライス数は100で、その時のスラブ厚は6cmである。また、足側方向に動脈を抑制するpresaturation pulseを印加した。そのpresaturation pulse thicknessは、使用する機器の最大設定値である

100mmを使用した。撮像時間は約8分である。撮像終了後 maximum intensity projection (MIP) 法で投影し、10度ずつ再構成し、計12枚のMIP像を得た。評価の方法は、0ml・5ml・15mlの投与を行った対象22名のMIP像を用いて、動脈抑制の程度を、経験年数3年以上の5名の放射線科医による、5段階(5=excellent 動脈が完全に抑制されている。4=good 動脈がほとんど抑制されている。3=adequate 適度に動脈が抑制されている。2=poor 動脈が少し抑制されている。1=very poor 動脈がほとんど抑制されていない)の視覚評価により検討した。また深部静脈(透明中隔静脈、内大脳静脈、脳底静脈、Galen大静脈)の描出能についても同様に、5段階(5=excellent 深部静脈の描出が完全である。4=good 深部静脈がほとんど描出されている。3=adequate 深部静脈が適度に描出されている。2=poor 深部静脈が少し描出されている。1=very poor 深部静脈がほとんど描出されていない)の視覚評価を行った。

次に、同一症例2名において異なる2種類の造影剤量(5mlと15ml)の投与後撮像を行い、造影剤投与量の違いによる、動脈抑制効果および深部静脈・横静脈洞の描出能の変化を検討した。いずれもMIP法で投影した画像を用いて同一症例における、造影剤減量による動脈抑制効果の有無、ならびに深部静脈および横静脈洞描出能変化の有無について5ml投与画像と15ml投与画像での比較を行った。有意差検定はMann-Whitneyおよび χ^2 適合度検定を用い危険率5%以下を有意差ありとした。

3. 結果

まずはじめに、0ml、5mlおよび15mlの造影剤投与したmagnetic resonance venography (MRV)の視覚評価の結果をFig. 1およびFig. 2に示す。5ml投与群の動脈の抑制効果は、excellentとgoodを合わせると、全体の72%になり15ml投与群の33%と比較し明らかに高率であった。ちなみに検定では、両者間に1%の危険率で有意差が認められた。5ml投与群の深部静脈の描出能はexcellentとgoodを合わせると全体の68%になり15ml投与群の44%と比較し良好であり、検定で両者間には5%の危険率で有意差がみられた。0ml投与群の動脈抑制効果は、excellentが100%であったが、深部静脈の描出能はvery poorが90%であり、造影剤を用いない3D-TOF法による頭部静脈系の描出は困難であった。Fig. 3に0ml投与群の代表症例を、またFig. 4, 5に動脈の抑制効果および深部静脈の描出能が良好であった代表症例を供覧する。次に、Fig. 6およびFig. 7には、同一症例における5ml投与画像と15ml投与画像の比較による、MRVの動脈の抑制効果および深部静脈・横静脈洞の描出能の変化に関する視覚評価の結果

Fig. 1 Results of visual evaluation of arterial suppression after contrast medium administration (0 ml, 5 ml, 15 ml) in 3D-TOF MRV.

Fig. 2 Results of visual evaluation of recognition of deep cerebral veins after contrast medium administration (0 ml, 5 ml, 15 ml) in 3D-TOF MRV.

Fig. 3 3D-TOF MRV without contrast medium. The deep cerebral veins and transverse sinus are not clearly visualized.

Fig. 4 A case of excellent 3D-TOF MRV with administration of a small amount of contrast medium (stereo-display). The artery was clearly suppressed, and the deep cerebral veins were visualized clearly.

を示す。動脈抑制効果は、少量造影剤投与画像の100%に見られ多量造影剤投与画像に比較して有意(危険率, 0.1%)に高率であった。造影剤投与量の違いによる深部静脈描出能の変化は20%にみられ、横静脈洞の描出能については変化はみられなかった。Fig. 8に同一症例において造影剤を5mlと15ml投与量したMRVの症例を供覧する。造影剤の投与量が少ない方が動脈の描出は抑制されている。また、深部静脈および横静脈洞の描出には、ほとんど変化はみられない。

4. 考 察

日常臨床における頭部MRAは、脳動脈瘤、脳血管奇形、血管狭窄病変など、おもに動脈系の検査に使用されることが多く、静脈系の描出による臨床応用は数少ない^{1,2)}。2D-TOF法を用いた高解像度のMRVを得る手法がいくつか報告されているが、その解像度は現段階ではスライス厚をさらに薄く設定できる3D-TOF法に比べると劣る。3D-TOF法は元画像やそのMPR像の空間分解能が高く、病変の詳細な観察に有用であり、神経血管圧迫の診断などにも用いられている^{3,4)}。

3D-TOF法は、速い流れに感度が高く、短いTEを設

Fig. 5 A case of excellent 3D-TOF MRV with administration of a small amount of contrast medium (stereo-display). The artery was almost entirely suppressed, and visualization of the deep cerebral veins was excellent.

Fig. 6 Effect of arterial suppression by decreasing the amount of contrast medium in the same case.

Fig. 7 Change in recognition of the deep cerebral veins and transverse sinus by decreasing the amount of contrast medium in the same case.

定できるため高い信号雑音比を得ることができる。欠点は撮像時間がやや長く、体動の影響を受けやすく、飽和効果のため一般に、末梢の細い血管や血流の遅い静脈系の描出は不良であるといわれている⁷⁾。しかしMRI造影剤であるGd-DTPAを投与すると、 T_1 短縮効果により周囲組織に対する血管の信号は増強し、末梢血管や静脈系の描出を改善することができ、また造影剤投与により飽和効果を抑制できるといわれている^{5,6)}。MRAに造影剤を用いることの意義は、コントラストを上昇させることのほかに、spinのsaturationによる信号低下を抑制し、dephasingによる信号のロスを大幅に減少させることが可能な点にもある⁷⁾。

しかし興侶らは、造影MRAは動静脈を同時に増強

してしまうため、その分離が困難といった欠点があると報告している⁷⁾。以前われわれも、3D-PC、2D-TOF、3D-TOF法を用いて頭部静脈系に最適な撮像法を検討し、その結果造影3D-TOF法は、2D-TOF法に比較して高鮮鋭度のMRVを得られたが、やはり同様に動静脈が同時に描出された。

そこで今回われわれは、3D-TOF法を用いた頭部領域MRVにおいて、投与する造影剤を少量にし、さらに足側方向に動脈を抑制するpresaturation pulseを印加することで、撮像スラブ面内の動脈血の磁化の回復を15ml投与に比べ遅くし、静脈のみを描出するという、新しい試みを行った。通常、MR造影検査で使用するGd-DTPAは0.2ml/kg (0.1mmol/kg)であり、その血中

Fig. 8 A case of 3D-TOF MRV after administration of contrast medium at 5 ml (a) and 15 ml (b).

The artery was clearly suppressed by decreasing the volume of contrast medium, whereas recognition of the deep cerebral veins and transverse sinus was not changed.

T₁値は5分後に最大の短縮を示し 132 ± 16 msecになると報告されている⁸⁾。われわれが以前、蒸留水に造影剤を希釈して行ったT₁値測定では、1.25 mmol/lで130 msec, 1.00 mmol/lで160 msec, 0.75 mmol/lで200 msec, 0.5 mmol/lで250 msecという結果が得られた。そこで今回、血液のT₁短縮効果が造影剤を15 ml投与した場合の約1/2倍になる造影剤量5 mlを選択し、検討を行った。15 mlおよび少量造影剤5 ml投与した動脈抑制効果の視覚評価は、15 mlの場合excellentとgoodを合わせると全体の症例数の33%であったものの、5 mlの少量投与では72%となり大幅に改善された。投与する造影剤を少量にしたことで、動脈血のT₁短縮効果が15 mlに比べ少なくなりまた、足側方向に動脈を抑制するpresaturation pulseを印加することにより、撮像スラブ面内で動脈血の磁化の回復が遅れたためと考えられる。0 ml投与群の動脈抑制効果は、excellentが100%であったが、深部静脈の描出能はvery poorが90%であり、3D-TOF法を用いたMRVは少量でも造影剤を使用しないと静脈の描出は困難であるとの結果が得られた。この結果はこれまでの報告とよく一致する⁹⁾。また深部静脈の描出能も、造影剤が5 mlの場合excellentとgoodを合わせると全体の68%になり15 ml投与時の44%と比較し改善された。その理由は、5 ml投与群の動脈抑制効果が大きく、動静脈の重なりが少なくなり、視覚評価による深部静脈の描出能が向上したと考えられる。

次に、同一対象例において造影剤の投与量を、15 mlから5 mlに減量することで動脈抑制の効果は、効果が100%、なしが0%であった。造影剤減量により

動脈血中のT₁短縮効果を少なくし、またpresaturation pulseの印加により、撮像スラブ面内での動脈磁化の回復が遅れた効果と考えられる。同一対象例において造影剤の投与量を、15 mlから5 mlに減量することでの深部静脈の描出能は、変化ありが20%、変化なしが80%、横静脈洞の描出能に関しては、変化ありが0%、変化なしが100%であった。造影剤を減量すると動脈および静脈のT₁短縮効果は、通常使用量に比べ同程度に減少するが、動脈が撮像スラブ内で抑制されているために、MIPを用いた頭部静脈の描出能に、ほとんど影響がなかったと考えられた。同一対象例を比較することで年齢差などによる脳血流量の要因等を除外でき、投与する造影剤を減量することで、動脈描出を抑制することが可能であることまた、深部静脈および横静脈洞の描出能も造影剤減量による影響はほとんどないことが示された。ちなみに、今回の同一対象症例であった神経線維腫症では、造影剤を少量にすると腫瘍の描出は15 ml投与と比べコントラストは低下したが、静脈との位置関係は十分に把握できた。以上、今回の検討結果より3D-TOF法を用いた少量造影剤投与における頭部領域MRVは、日常臨床で使用している頭部動脈系におけるpulse sequenceを用い、造影剤を少量投与し、足側方向に動脈を抑制するpre-saturation pulseを印加するだけで、高解像度のMRVを得ることができる臨床上有用な新しい手法であると考えられる。

5. まとめ

今回、0.5T MRI装置を用いて頭部静脈系の描出を、少量造影剤投与による3D-TOF法にて検討を行った。

- 1) 5mlの造影剤投与を行ったMRVの動脈の抑制効果は、視覚評価によりexcellentとgoodを合わせると全体の72%になり15ml投与時のexcellentとgoodを合わせた33%と比較し大幅に改善された。
- 2) 深部静脈の描出能は、造影剤が5mlの場合excellentとgoodを合わせると全体の68%になり15ml投与時の44%と比較し改善された。
- 3) 0ml投与の場合、動脈抑制効果はexcellentが100%であったが、静脈の描出はほとんど認められなかった。
- 4) 同一対象例において造影剤の投与量を少量にすることにより、動脈抑制の効果は効果ありが100%、なしが0%であった。
- 5) 同一対象例において造影剤の投与量を少量にすることにより、深部静脈の描出能は変化ありが20%、変化なしが80%であり、横静脈洞の描出能

に関しては、変化ありが0%、変化なしが100%であった。新しい試みである、頭部領域における少量造影剤投与3D-TOF MRVは投与量を少量にすることで、高分解能の静脈像を得ることができた。

謝 辞

本研究を行うにあたり、写真観察にご協力いただいた国立病院九州医療センター 安森弘太郎、岡村 均、森本 健、野々下豪の各放射線科医に心から御礼申し上げます。

また投稿の機会を与えてくださいました奈良医科大学付属病院の土井 司先生に深謝いたします。

本論文の要旨を第56回日本放射線技術学会総会にて発表した。

参考文献

- 1) 井川房夫, 魚住 徹, 桑原 敏, 他: MR-angiographyにおける静脈系の描出. CI研究, 16(3), 225-230, (1994).
- 2) Lewin JS, Masaryk TJ, Smith AS, et al.: Time of flight intracranial MR venography. AJRN, 15, 1657-1664, (1994).
- 3) Meaney JFM, Miles JB, Nixon TE, et al.: Vascular contact with the fifth cranial nerve at the pons in patients with trigeminal neuralgia: Detection with 3D FISP imaging. Am J Roentgenol, 163, 1447-1452, (1994).
- 4) 蓮尾金博, 三原 太, 石岡久和: MRI診断と造影MRIの10年の進歩と展望—中枢神経系—. 日独医報, 43, 21-39, (1998).
- 5) Jung HW, Chang KH, Choi DS, et al.: Contrast-enhanced MR angiography for the diagnosis of intracranial vascular disease: Optimal dose of gadopentetate dimeglumine. Am J Roentgenol, 165, 1251-1255, (1995).
- 6) Truwit CL: Venous angioma of the brain: History, significance, and imaging findings. Am J Roentgenol, 159, 1299-1307, (1992).
- 7) 興梠征典, 吉住和弘, 高橋睦正: MRI診断と造影MRIの10年の進歩と展望—頭頸部—. 日独医報, 43, 40-52, (1998).
- 8) 吉田和雄, 古瀬和寛, 金桶吉起: Gd-DTPA 投与による脳腫瘍組織緩和時間の変化—T1値経時変化とtissue-blood ratioの腫瘍種別による差異—. 脳神経, 40(6), 531-537, (1988).
- 9) 三木 均, 濱本 研: 3Dタイム・オブ・フライト法によるMRアンギオグラフィ. INNERVISION, 8(6), 11-14, (1993).

図表の説明

- Fig. 1 0ml, 5mlおよび15ml造影剤投与.
3D-TOF MRVによる動脈抑制効果の視覚評価の結果.
- Fig. 2 0ml, 5mlおよび15ml造影剤投与.
3D-TOF MRVによる深部静脈描出の視覚評価の結果.
- Fig. 3 造影剤を投与しない3D-TOF MRVの症例.
深部静脈や横静脈洞がほとんど描出されていない.
- Fig. 4 造影剤 5ml投与によるexcellent 3D-TOF MRVの症例(ステレオ表示).
動脈がよく抑制され、深部静脈の描出もほぼ良好である.
- Fig. 5 造影剤5ml投与によるexcellent 3D-TOF MRVの症例.
動脈がほぼ抑制され、深部静脈の描出はかなり良好である.
- Fig. 6 同一対象例において、造影剤減量による動脈抑制効果の視覚評価.
- Fig. 7 同一対象例において、造影剤減量による深部静脈・横静脈洞の描出能の変化.
- Fig. 8 造影剤を 5ml(a)と15ml(b)投与した同一対象例の3D-TOF MRV.
造影剤を少量にすることで動脈がよく抑制され、深部静脈、横静脈洞の描出にほとんど変化がみられない.