ノート

頭部領域における高速造影3d-MRDSAの描出能の検討

土井 司・野儀明宏・田岡俊明¹⁾・廣橋伸治¹⁾論文受付
2002年 7月15日論文受理
2002年10月 2日

Code No. 261

奈良県立医科大学附属病院中央放射線部
1)奈良県立医科大学放射線医学教室

緒 言

頭部のmagnetic resonance angiography(以下MRA)には、一般的に造影剤を使わないtime of flight(以下tof MRA)撮像法が利用されている。この撮像法は、脳内

の血管をほぼ均等に描出でき、血流分布を観察するのに適しているが、時間分解能を持たない画像である。そのため、脳腫瘍や動静脈奇形などの造影剤による濃染状況や支配血管を経時的に描出することを要求され

Evaluation of Appearance with High-speed CE-3dMRDSA in Brain

TSUKASA DOI, AKIHIRO NOGI, TOSHIAKI TAOKA,¹⁾ and SHINJI HIROHASHI¹⁾

Central Department of Radiology, Nara Medical University Hospital

1)Department of Radiology, Nara Medical University

Received July 15, 2002; Revision accepted Oct. 2, 2002; Code No. 261

Summary

We evaluated the fitting scan technique for CE-3dMRDSA, and found common ground that determines spatial resolution and time resolution (slab thickness and partition number). We also examined the relation between appearance and time resolution (volume of contrast medium and injection speed). To obtain good image contrast, the volume of contrast medium needs to be at least 7 ml and suitable for an injection speed of 3-5 ml/sec. However, when we increased the volume of contrast medium and decreased injection speed, changes in MRDSA images with time became worse. The measure of the bolus with contrast medium was found to determine image contrast. When contrast medium is injected earlier, it circulates earlier within the brain. If the scan time is not short enough, it is not possible to observe changes in MRDSA images. And when spatial resolution is improved, time resolution becomes worse. Therefore, it is important to find the point of compromise between spatial resolution and time resolution. If we look for anterior MIP images, the CNR in the spatial resolution didn't change, when the slice thickness is more than 3 mm. Because, the partial volume effect decide the image contrast. However, unless the view is from the front, slice thickness influences spatial resolution. Therefore, when we view MIP images from the lateral direction, slice thickness must be set at less than 2 mm. Results indicated that, in CE-3dMRDSA with the fitting technique, slice thickness should be less than 3 mm, partition number 16-20, slab thickness 48 mm, contrast medium volume 7-10 ml, and injection speed 3-5 ml.

Key words: Magnetic resonance imaging (MRI), MR digital subtraction angiography (MRDSA), Contrast medium, Spatial resolution, Time resolution

別刷資料請求先: 〒634-8522 橿原市四条町840番地
奈良県立医科大学附属病院中央放射線部 土井 司 宛

る場合には、造影剤を使用したMRA撮像法を利用して短時間に撮像する必要がある¹⁾。以前より当院ではSIEMENS社製MAGNETOM Impact expertを用いて二次元撮像法によるecho sharingを使ったMR digital subtraction angiography(以下MRDSA)を行っていた²⁾。この撮像法は、1 スキャンあたり1秒未満で撮像可能であったが、thick slice(30~50mm)であるため空間分解能とコントラスト分解能が不十分で鮮明な画像が描出できなかった。この度、高傾斜磁場装置が導入され、高速に高分解能な三次元(以下3d=three dimension)MRA撮像法が可能になった。そこで、われわれは3dMRA画像をより鮮明にするために、造影剤が描出されたMRA画像から原画像をサブトラクションした3dMRDSA画像について検討を行った。以下、この撮像法を「造影を併用した三次元MRDSA法」として「CE(contrast enhancement)-3dMRDSA」と呼ぶことにした。

3d撮像法は、位相エンコード数と長方形FOVを一定とした場合、撮像時間はpartition数により決定される。しかし、撮像範囲であるスラブ厚が一定だとすると、高速撮像を要求するときにはpartition数が少なくなり奥行き分解能が低下する。反面、高分解能画像を撮像しようとするとき撮像時間が延長する。また、情報量(描出能)としての効果は、造影剤量と造影剤注入速度にも影響を受ける^{3, 4)}。そこで、これらいくつかの因子が合わさって撮像されるCE-3dMRDSAの最適撮像条件を求めるために、描出能と空間分解能、時間分解能との関係性を評価した。

1. 方法

1-1 撮像方法

実験は、臨床において頭部造影検査の依頼を受けている心疾患を持たない40歳から60歳の被験者を抽出し、本人の同意を得て20Gのカニューラ針を肘静脈内側に確保し、造影剤を急速注入しデータを取得した。したがって、被験者により年齢、性別、心拍数、心機能が若干異なっており画一的データではない。

基本シーケンスは3d-FISP(fast imaging with steady state precession)撮像法とし、TE(エコー時間)は最小の0.97msec、TR(繰り返し時間)=2.4msec、flip angle=25°、FOV=250mm、長方形FOV=68.8%、frequency encode=256、phase encode=169(当装置の表現ではphase resolution: 66%)とした。撮像方向は、頸動脈から前・中大脳動脈が観察できる冠状断(coronal views)を基本とし、造影は、MEDRAD社製のダブルシリンジを用い、ガドリニウム造影剤を注入後同じ速度で生理食塩水20mlを後押しした。

3dMRAの撮像は、造影剤注入5秒後から撮像を開始し、連続して20phase=約30秒間の撮像を行った。

1-2 造影剤量の検討

適正な造影剤量を求めるために、注入速度を3ml/sec一定とし、造影剤量を5~11mlまで変化させ、各phaseのCNR(contrast-to-noise ratio)の変化を求めた。その時の撮像パラメータは、TR=2.32msec、TE=0.97msec、partition数=16、スライス厚=3mmである。

1-3 造影剤注入速度の検討

適正な造影剤注入速度を求めるために、先の条件にて造影剤量を10ml一定にし、注入速度を2~5ml/secまで変化させ画像の描出能ならびに画像コントラストを評価した。

1-4 空間分解能と時間分解能の検討

スラブ厚を一定にしたとき、partition数が空間分解能と時間分解能を決定する因子となるので、スラブ厚=48mm、造影剤量=10ml、注入速度=3ml/secを一定として、partition数を10から32(スライス厚は6~1.86mm)まで変化させ、各phaseのCNRの変化を測定した。その時1phaseあたりの撮像時間は、partition数が10の時に1.5secであり、partition数が32の時は4secである。

1-5 評価方法

頸動脈が描出されるまでに数phaseの破棄する画像があり、頸動脈に造影剤が最初に描出されるphaseを最初のphase(1)とし、静脈から造影剤がwash outされるまでのphaseについて、各phaseの画像から造影剤が撮像領域に達していないphase(1)の前のphaseをマスクイメージとしてサブトラクション処理を施した後、MIP(maximum intensity projection)処理をして評価画像として用いた。各phaseの画像を動画として見るとともに、最も動脈が描出されているphaseの画像を多角度より観察した。

画像評価は、サブトラクション後MIP処理されたcoronal viewの中大脳動脈部(Fig. 2左○印)の描出能を西沢らが行った画像の標準偏差よりCNRを求める下式により求めた⁵⁾。

$$CNR = \sqrt{\frac{(SD_T)^2 - (SD_{BG})^2}{(SD_{BG})^2}} \dots\dots\dots(1)$$

使用装置は、SIEMENS社製MAGNETOM Symphony Sonata(傾斜磁場強度: $40 \times \sqrt{3}$ mT/m, throw rate: 200mT/m/msec)である。

Fig. 1 CE-3dMRDSA images in which the volume of contrast medium was changed. TR: 2.32 ms, TE: 0.97 ms, partition number: 16, slice thickness: 3 mm, injection speed: 3 ml/sec. Images are third phase.

Fig. 2 Changes in CNR with changes in contrast medium volume and image phase (changes with time).

2. 結果

2-1 造影剤量

注入速度を 3ml/sec に一定にして、注入量のみを変化させた画像を Fig. 1 に示す。造影剤量が増えるほど血管が鮮明に描出されるのが観察できる。中大脳動脈部の描出能を (1) 式より求め、各 phase の CNR の変化をみると、造影剤量が多くなるほど CNR の値が高くなるとともに、より遅い phase でピークとなり、高い CNR を保ちつつ CNR の低下も緩やかである。つまり、造影剤量が多くなるほど、高い CNR を維持する phase が多く存在する傾向にあった (Fig. 2)。

2-2 造影剤注入速度

造影剤量を 10ml 一定にして、注入速度を 2~5ml/sec に変化した画像を Fig. 3 に示す。注入速度が 2ml/sec では末梢血管の描出能が悪く、3ml/sec 以上になると中大脳動脈末梢の描出能はほとんど変わらなくなった。ただ、注入速度が速くなると、動脈が描出されてから静脈が描出されるまでの時間が短縮され、注入速度が低いほど、わずかに CNR が低下するとともに、wash out される速度もわずかに低下した (Fig. 4)。Fig.

3 は、注入タイミングと撮像 phase を一致させることができなかったため、造影剤が最初に描出された phase の画像を phase (1) としているので、その描出能に差が生じている。

2-3 空間分解能と時間分解能

スラブ厚を 48mm 一定として、partition 数が 2 の時はスライス厚が 4mm となり 1phase あたりの撮像時間は 1.7sec となる。最も分解能が高い partition 数が 24 の時にはスライス厚が 2mm と薄くなるが、1phase あたりの撮像時間が 3.4sec と長くなる。したがって、partition 数の少ない方が時間分解能が良くなり、血流情報が画像によく反映されるようになるが、partition 数を多くして空間分解能を高めた場合には、時間分解能が悪くなり、造影剤が脳内に到達してから 3 枚目には静脈が描出された (Fig. 5)。CNR を測定した結果では、スライス厚が 4mm の時には、ピークが最も低く信号の低下も早かった。3mm 以下になると CNR がピークに達する時刻 (phase) が、partition 数が多くなるほど少し遅くなるだけで、最大値はほとんど変わらなかった。と同時に、CNR が低下する傾向も同様であった。

Fig. 3 CE-3dMRDSA images in which the injection speed of contrast medium was changed.

TR: 2.32 ms, TE: 0.97 ms, partition number: 16, slice thickness: 3 mm, contrast medium volume: 10 ml. Exact timing in terms of the injection of contrast medium and image phase is not possible. Therefore, phase 1 includes the first images, and contrast medium appears in the subtraction images.

Fig. 4 Changes in CNR according to changes in the speed of injection of contrast medium and image phase (changes with time).

Fig. 5 CE-3dMRDSA images with changes in the relation between spatial resolution and time resolution.

TR: 2.32 ms, TE: 0.97 ms, injection speed: 3 ml/sec, injection volume: 10 ml.

Fig. 6 Changes in CNR according to changes in slice thickness and changes with time in determining the relation between spatial resolution and time resolution.

(Fig. 6). この検討においても、注入タイミングと撮像phaseを合わせることができないので、phase(1)画像の血管の描出に差があるが、Fig. 5に見るように partition: 20のphase(1)画像に血管はほとんど描出されていないが、次のphaseでpartition数の少ない12や16の動脈の描出を追い越している。

3. 考 察

造影剤量が少ないと抹消部の描出能が低下し、十分な画像コントラストが得られず、少なくとも造影剤量は7mlが必要であることが示唆された。これは、注入速度が3ml/secで一定の場合、造影剤を注入している時間が7mlなら2秒余り、15mlなら5秒を要することとなり静脈からのwash outにも時間を要することから、頭部領域の場合、造影剤が多くなると脳内に造影剤が存在している時間が長くなり、1phaseあたりの撮像時間に血流の循環が進み、動静脈が同時に描出されやすくなるなど経時的な変化を捉えにくくなることが考えられる (Fig. 1)。

注入速度においては、速く注入すればするほど造影剤のボーラス性が高まり画像コントラストが高くなることが考えられる。しかしながら、脳内血管の描出能を比較した結果では、注入速度が3ml/sec以上でほとんど同等となった。それは、単位面積あたりの造影剤の量と画像コントラストに及ぼす効果がプラトーに近づくためだと思われる。また、注入速度を上げれば上げるほど脳内をめぐる造影剤の循環時間も早くなり、1phaseあたり同じ撮像時間で繰り返し撮像していると早いphaseで静脈相が描出されることになる (Fig. 3)。したがって、注入速度を上げれば造影剤のボーラス性が高まり高コントラストなMRDSA画像が描出されるが、経時変化を画像にて観察するにはさらに時間分解能を上げる必要がある。

同じスラブ厚を撮像する場合には、時間分解能と空間分解能は相反する関係にあるのは周知の事実である。したがって、partition数を増やして空間分解能を上げると、細かい血管が描出されるようになるはずであるが、3dMRDSA画像をMIP処理後正面方向に限って観察する場合には、スライス厚中に含まれる造影剤で満たされた血管の割合によるパーシャルボリューム効果により信号強度が決定されるので⁶⁾、partition数を増やして空間分解能を上げる効果がそれほどみられず、時間分解能が悪くなったため、動脈の経時的な変化を多くのphaseで見ることができず、早いphaseで静脈が描出されてしまう負の効果の方が強く出ているように考えられる。そこで、コントラスト分解能を保ちつつどこまでpartition数を減らせるかがポイントであると捉えてFig. 6の結果を見ると、スライス厚=2mmの時の最大値とほぼ同等となり、経時変化を短い撮像時間で捉えることのできるスライス厚=3mm, partition数=16程度が適当であると示唆される。ただ、Fig. 6は決められた撮像時間の繰り返しを1phaseとしてCNRを測定しているので、造影剤の経過と撮像時間にいくらかの誤差が含まれている。

しかしながら、MIP画像を多方向から観察する場合には、目的血管の80%以下 (turbo MRA撮像法の場合) のスライス厚が必要となり、その時は時間分解能を犠牲にしてもスライス厚=2mm以下が必要であると思われる (Fig. 7)⁷⁾。臨床において、Fig. 8に示す後頭蓋窩に存在する髄膜腫などには、sagittal方向での撮像が有用な場合があり、その時には側面方向からの観察時に左右の脳動脈が重ならないように撮像範囲を左頸動脈のみに絞って撮像すると、有用なsagittal方向のCE-3dMRDSA画像を得ることができる。

Fig. 7 CE-3dMRDSA images with changes in slice thickness (partition number) when viewed from multiple angles.

Fig. 8 Clinical images of meningioma in the right posterior fossa. CE-3dMRDSA images are improved when the two ICAs are separated when scanning in the sagittal direction.

4. 結 論

CE-3dMRDSAにおいて、MIP処理後の画像を正面方向からのみの観察に限るなら、partition数をある程度犠牲にしても時間分解能を上げるようにした方が情報量の多い画像が提供できることが分かった。また、MIP画像の側面方向を含む多方向からの観察を必要とする場合には、2mm以下のスライス厚が必要である。

したがって、CE-3dMRDSAの最適な撮像条件は、スラブ厚=48mm、スライス厚=3mm以下、partition数=16~20、造影剤量=7~10ml、造影剤注入速度=3~5mlが推奨できる。

なおこの論文の要旨は、2002SMRT in Honoluluにて発表した。

参考文献

- 1) Huang Y, Webster CA, and Wright GA: Analysis of subtraction methods in three-dimensional contrast-enhancement peripheral angiography. J Magn Reson Imaging, 15 (5), 541-550, (2002).
- 2) 野儀明宏, 土井 司, 笠井亜須佳: 2D-MRDSAにおける画質向上の検討. 日放技学誌, 57 (6), 706-712, (2001).
- 3) Maki JH, Prince MR, and Londy FJ: The effects of time varying intravascular signal intensity and k-space acquisition order on three-dimensional MR angiography image quality. J Magn Reson Imaging, 6 (4), 642-651, (1996).
- 4) Prince MR, Chenevert TL, Foo TKF, et al.: Contrast-enhanced abdominal delay time by automating the detection of contrast material arrival in the aorta. Radiology, 203 (1), 109-114, (1997).
- 5) 西沢かなえ, 福田信男, 蜂谷順一, 他: MR画像におけるコントラストノイズ比(CNR)の評価. 日磁医誌, 8 (4), (1989).
- 6) 土井 司, 水野吉将: MRIにおけるパーシャルボリュームによる信号強度の変化. 日放技学誌, 54 (10), 1200-1206, (1998).
- 7) 土井 司, 野儀明宏, 水野吉将: MIP処理後のMRA多方向観察における実効スライス厚の検討. 日放技学誌, 57 (6), 713-720, (2001).

図表の説明

- Fig. 1 造影剤注入量の違いによるCE-3dMRDSA画像(3phase目の画像を示す).
TR: 2.32ms, TE: 0.97ms, partition数: 16, スライス厚: 3mm, 注入速度: 3ml/sec一定
- Fig. 2 造影剤量の違いによる各phase(経時変化)に対するCNRの変化.
- Fig. 3 造影剤の注入速度の違いによるCE-3dMRDSA画像.
TR: 2.32ms, TE: 0.97ms, partition数: 16, スライス厚: 3mm, 注入量: 10ml一定
注入タイミングとphaseを一致させることができないので, 造影剤が最初に描出された画像を1枚目とし, 連続して4phase表示した.
- Fig. 4 造影剤注入速度の違いによる各phase(経時変化)に対するCNRの変化.
- Fig. 5 空間分解能と時間分解能の関係の違いによるCE-3dMRDSA画像.
TR: 2.32ms, TE: 0.97ms, 注入速度: 3ml/sec, 注入量: 10ml一定
- Fig. 6 空間分解能と時間分解能の関係により決定されるスライス厚の違いによる経時変化に対するCNRの変化.
- Fig. 7 多角度から観察する場合のスライス厚(partition数)の違いによるCE-3dMRDSA画像の違い.
- Fig. 8 後頭蓋窩の髄膜種に矢状断方向にてCE-3dMRDSAを行った臨床例.
観察時に左右の脳内の動脈が重ならないように内頸動脈が分離するように設定する.