

技 術

頸動脈プラーク評価のための MRI 検査方法について

真壁 武司* 守山 亮* 中村麻名美*
 丹羽 潤**

MRI Examination Method for the Carotid Artery
 Plaque Evaluation

Takeshi MAKABE, Ryo MORIYAMA,
 Manami NAKAMURA, Jun NIWA

Key words : Plaque — MRI — MP-RAGE — Thrombosis —
 Stenosis

はじめに

頸動脈プラークは、エコーやCT、MRI など様々な方法により評価され、またその組み合わせによって総合的に検討評価されている¹⁾²⁾。その中でMRIによる頸動脈プラーク撮像は、最も一般的なシーケンスであるが時間のかかる Spin echo (SE) 法を用いた心電図同期により評価がされている³⁾⁴⁾。また、時には小さな表面コイルによる高分解能撮像が行われているケース³⁾があり、簡便に短時間で行える評価方法とは言えない³⁾。そこで当院では最近、3次元 Gradient echo (3D-GrE) 法による T1 強調画像 (T1WI) である Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo Imaging (MP-RAGE)⁵⁾⁶⁾ を用いて心電図同期無しで通常の頸部用コイルを使用し、脳卒中リスクの高い不安定プラーク⁷⁾の血腫や血栓を描出してみた。また、同時に詳細情報を得るために時間を要する SE 法による心電図同期検査を行っている。

今回は、MP-RAGE の撮像条件の適正化をすると共に MRI を用いた頸動脈プラーク評価の進め方と問題点について検討した。

方 法

使用装置は、MAGNETOM Symphony 1.5T(SIEMENS) で使用コイルは CP-Neck Array coil を用いた。MP-RAGE は反転パルス (TI) のプリパレーションを有する turbo-FLASH⁸⁾ の 3D 拡張法である (Fig. 1)。MP-

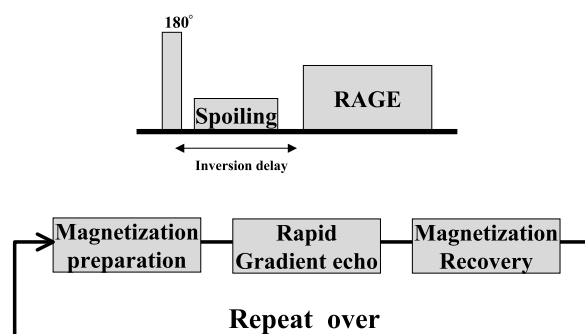


Fig. 1 MP-RAGE シーケンスの模式図

RAGE における評価は、組織コントラストを決定するために重要な因子である TI と繰り返し時間 (TR) について可変し自作ファントムを用いて各組織の信号強度を比較検討した。また、MP-RAGE では付加条件として water selective excitation (WSE)⁹⁾ による脂肪抑制法も併用可能でその効果についても比較した。また、心電図同期による T1WI, T2強調画像 (T2WI), プロトン密度画像 (PDWI) については MP-RAGE が撮像された臨床例にて同時撮像を行いその組織コントラストを比較した。

ファントムは、一ヶ月間常温で放置した凝固血液、ヘパリン入りの血液、筋肉等価とするための豚肉、生理食塩水、貝殻を粉末にした石灰化モデル、また脂肪として固形のラードと液体のオリーブ油をそれぞれ試験管に封入し硫化ニッケル水溶液に入れたものを作成した (Fig. 2)。

その他の撮像条件として MP-RAGE は、TE1.72msec (最短)、バンド幅 350Hz/pixel, FA15°, 加算回数 1 回、

*市立函館病院 中央放射線部

**市立函館病院 脳神経外科



Fig. 2 各組織の信号強度測定するための自作ファントム

実効スライス厚 1 mm, matrix 192×256 (interpolation 付加), FOV 300mm にて冠状断撮像を行った。

T1WI は 1 心拍同期にて TE13msec, バンド幅 130Hz/pixel, FOV 160mm, 加算回数 2 回, スライス厚 3 mm にて横断像を得た。また, T2WI, PDWI は TE12, 166msec のダブルエコーによる 2 心拍同期にて T1WI 同様の撮像を行った。

結 果

(1)MP-RAGE の評価

TR 2000msec と固定し TI を変化させた時の各組織の信号強度変化を Fig. 3 に示す。TI が短いほど凝固血液に比べ組織の信号強度は低下する傾向が強く, TI を延長すると筋肉と生理食塩水の信号が上昇した。また, 凝固血液に関しては TI 1500msec で信号はプラトーに達した。

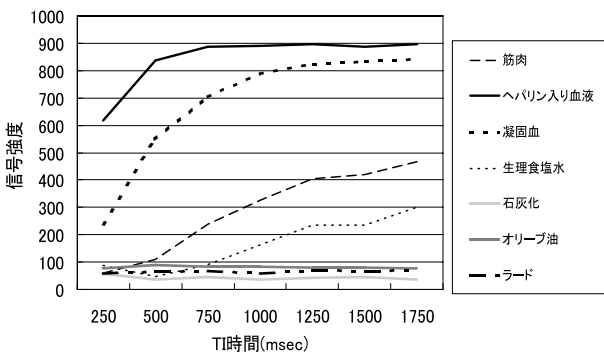


Fig. 3 MP-RAGE における TI 可変時の各組織の信号強度変化

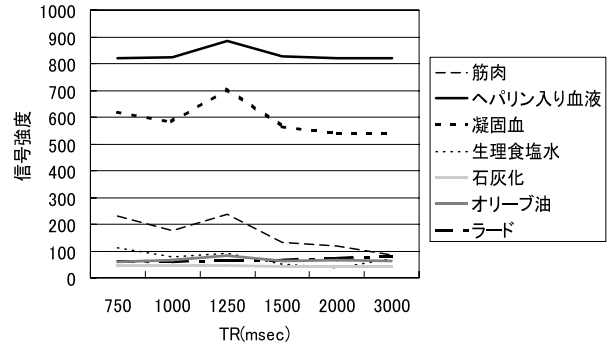


Fig. 4 MP-RAGE における TR 可変時の各組織の信号強度変化

TI 500msec と固定し TR を可変させた時の各組織の信号強度変化を Fig. 4 に示す。これより TR を延長することで筋肉, 凝固血液共に信号低下が見られたが信号強度の差は充分保たれていた。

脂肪抑制パルスの有無については Fig. 5 に示す。固体, 液体の脂肪モデル共に十分に信号の抑制が可能であった。

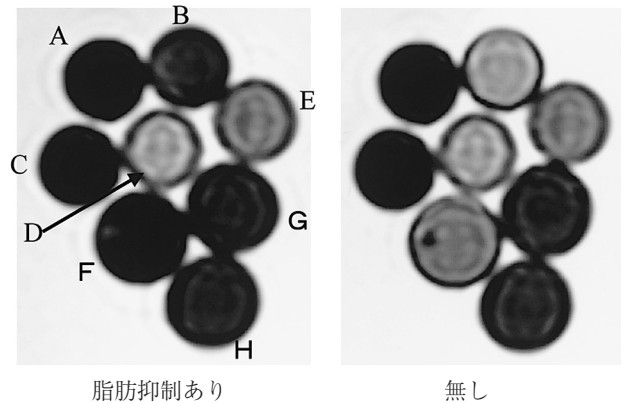


Fig. 5 脂肪抑制法の効果 (左: 脂肪抑制あり, 右: なし)

A: 石灰化, B: オリーブ油, C: 生理食塩水, D: ヘパリン入り血液, E: 凝固血液, F: 固形油 (ラード), G: 筋肉 (鶏肉), H: 筋肉 (豚肉)

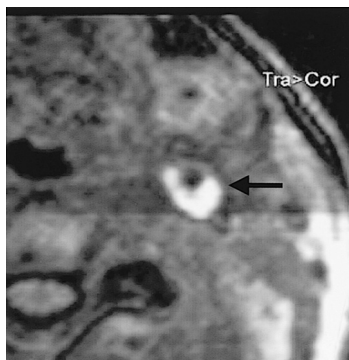
(2)心電図同期画像

実際の頸動脈狭窄症における MP-RAGE 画像を Fig. 6 に示す。3D 画像であるため横断像, 矢状断像を再構成することによりプラークの広がり診断が可能である。また, 同一患者における MP-RAGE, T1WI, T2WI, PDWI を対比させた画像を Fig. 7 に示す。MP-RAGE を行わないで狭窄範囲すべてを black blood SE 法で撮像すると各人の心拍数にもよるが 1 つのコントラストについて 10 数枚得るために 10 数分の時間が必要であったが MP-

RAGEにより目的部位を限定することで検査時間短縮が可能であった。



(a)



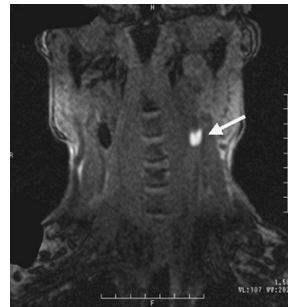
(b)



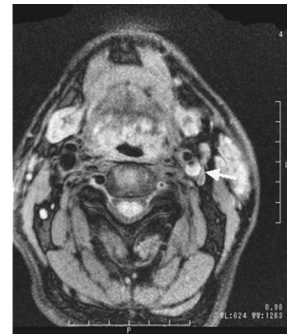
(c)

Fig. 6 MP-RAGEにて高信号に描出された頸動脈プラーク

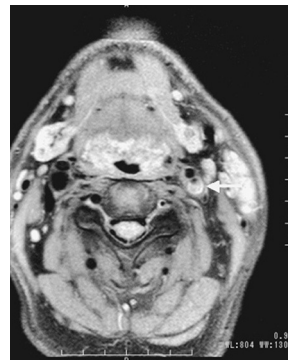
(a) 冠状断元画像 (b) 再構成横断像 (c) 再構成矢状断像



(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7 MP-RAGEにて高信号に描出された頸動脈プラークと同部位における black blood SE法による心電図同期画像

(a) MP-RAGE 冠状断元画像 (b) 脂肪抑制 T1強調画像
(c) 脂肪抑制プロトン密度画像 (d) 脂肪抑制 T2強調画像

考 察

頸動脈狭窄症におけるプラークの評価は様々あり、従来我々は3D-CTAngiography (3D-CTA) の元画像に注目しCT値を計測することによってプラークの質的診断を行ってきた¹⁰⁾。しかし、この方法では造影剤を高速注入することや被ばくのため患者に対する侵襲が大きい。また、我々の使用しているCT装置では空間分解能に限界があることや高度な石灰化があった場合、その下面に存在するプラークは描出できないことなど装置自体の限界もある。そのため被ばくも無くCTに比べ組織コントラストに優れるMRIを用いてプラーク評価ができれば臨床的に有用であると考えた。

MRIを用いた頸動脈プラークの評価は、近年盛んに行われているが心電図同期設定やコイルを目的部位に持つて行くことなど手技的に煩雑であり必ずしもすべての施設で行える検査ではない。また、シーケンスとしては心電図同期を用いたダブルIRによるBlack blood法³⁾¹¹⁾¹²⁾が主流であるがこの方法は2次元法であるため部分的な評価はできるが広がり診断はできない。これを解決するためには撮像方向を変える必要がある。またBlack

blood 法は、被検者の心拍数に左右され検査が長時間になる検査法である。従って、検査を効率的に行うためにスクリーニングとしてプラークを検出することを目的に3D-GrE法のMP-RAGEを用いて簡便に撮像できる条件を検討し、それを元にターゲットを決定し心電図同期検査を行う様に検査を進めるよう方向付けた。しかし、頸動脈プラークをすべて描出するためには、石灰化や安定プラークの厚い繊維性皮膜構造あるいは不安定プラークである脂質コアや血腫⁷⁾¹³⁾などを高いコントラスト雑音比(CNR)で描出しなければならず条件設定が複雑になる。

従って、今回はMRIの持つ高い組織コントラストでなければ判定できない不安定プラークである血腫やイベントを引き起こす可能性がある血栓を描出することに目的を限定した撮像条件を検討した。

MP-RAGEは反転パルスをプリパレーションパルスとして使用しておりこの時間設定によって組織コントラストが変化する。ファントム実験でTIの設定により凝固血液の信号強度がプラトーになる時間があることが確認できた。そのため筋肉モデルと最も信号強度の差が大きかったTI500~800msecの設定において凝固血液を感度よく描出できた。また、TIを延長すると筋肉や水の信号も上昇する傾向にあり、他の組織とのコントラストを考えた場合にもTIは500~800msecの間で設定することが良いと思われた。一方、TIを固定してTRを延長することで各組織の信号強度は、なだらかに低下し1500msec以上では筋肉と凝固血液以外の組織との信号差が無くなった。この事から凝固血液と他組織との信号差を考えるとTRは1500msec以下の設定で撮像するのが望ましいと思われる。以上のことから臨床応用では撮像時間を考慮しTR1100msec, TI560msecにて最短TEにより撮像を行うことにした。脂肪抑制効果については、固体、液体ともにWSE法によって信号低下が見られた。そのため頸動脈中において高信号のプラークを評価するためには周囲組織の信号が低下していた方が観察しやすいので付加条件としてWSEを加えることが望ましいと考えた。ファントム実験において頸動脈プラーク、特に血腫や血栓を描出するためのTR, TIを決定することができ、更に3次元撮像することでMPRにより横断や矢状断を再構築し広がり診断への対応も可能であり、本法によって簡便に高信号のプラークを描出することができるようになった。

一方、心電図同期検査は患者の心拍数に大きく依存するがT1WI, T2WIとPDWIそれぞれ1スライス撮像するためには1分30秒から2分程度必要である。そのため一つのコントラストを得るためには全体の検査時間を考慮しても10分以内には抑える方がいいと考えられた。こ

のためにもMP-RAGEによって危険なプラークを高信号に描出することが有用で、目的部位を限定して心電図同期による検査を行うことで時間短縮も可能となりルーチンワークのなかで頸動脈プラークの検査が行われるようになった。

ま と め

頸動脈プラークのMRI検査を効率よく行う上でMP-RAGEシーケンスの基礎検討を行い自作ファントムにより血腫や血栓が高信号で検出されることが確認できた。本法は、心電図同期が必要なく頸部用コイルによって検査可能で簡便に行える方法であると共に3次元データによる再構成によって広がり診断もできるため臨床的にも有用な方法であった。また、この情報を元にターゲットを設定することで心電図同期検査を短時間に終了することができるようになり検査効率の向上が可能となった。

文 献

- 1) Polak JF, Shemanski L, O' Leary DH, et al : Hypoechoic plaque at US of the carotid artery : an independent risk factor for incident stroke in adults aged 65 years or older. *Radiology*, 1998, 208, 649-654.
- 2) 大滝雅文, 田邊純嘉, 上出至洋, 他 : Three-dimensional CT angiography (3D-CTA) を用いた頸動脈狭窄症病変の評価と血行再建術. *脳神外科*, 1996, 24, 995-1002.
- 3) 頸動脈の血管壁MRI - 血管壁プラークの性状とその意義について -. *画像診断*, 2004, 24(9), 1088-1098.
- 4) E. Washington, O. Simonetti, A. Chiou et al : A Novel True FISP Technique for Visualizing Vascular Plaque. *Proc Intl Soc Mag Med* 2000, 8, 1666.
- 5) Jonh P. Mugler, James R. Brookeman : Three-Dimensional Magnetization-Prepared Rapid Gradient-Echo Imaging (3D-MP-RAGE). *Mag Res Med* 1990, 15, 152-157.
- 6) 真壁武司 : 3次元超高速撮像法(MP-RAGE)を用いた頭部撮像について~特に脳神経を中心に~. *北海道放技学誌*, 1996, 56, 23-29.
- 7) 北川一夫 : 高脂血症と脳卒中. *医学のあゆみ*, 2005, 212(6), 539-544.
- 8) 藤井清文 : 高速撮像法 - Turbo-FLASH, Turbo-SE, Turbo-GSE, EPIとはどういうものか -. *新編誰にもわかるMRI*. 1995, 秀潤社, 東京, p220-239.
- 9) 田淵 隆 : ProSet. MRI 応用自在, 2001, メジカル

- ビュー社, 東京, p70-73.
- 10) 丹羽 潤, 真壁武司, 今泉俊雄, 他: 無症候性頸動脈狭窄症のplaque評価- 3次元CT angiographyの所見から-. 函館医誌, 2002; 26(1): 1-5.
 - 11) Robert R. Edelman, Heinrich P. Mattle, Bernd Wallner, et al: Extracranial Carotid Arteries: Evaluation with "Black Blood" MR Angiography. Radiology, 1990, 177, 45-50.
 - 12) 笠井俊文, 土井 司 監修: MR撮像技術学. 2001, オーム社, 東京, p159-162.
 - 13) 丹羽 潤, 今泉俊雄, 橋本祐治, 他: 頸動脈内膜剥離術における3次元CT angiographyの有用性- 頸動脈プラークの質の評価-. The Mt.Fuji Workshop on CVD, 2003, 21, 5-9.