

画像フィルターの 3D time-of-flight MR angiography の 画質に及ぼす影響

岩山恵理子¹, 長縄 慎二¹, 越川都紀子², 深津 博¹,
石口 恒男¹, 石垣武男¹, 木村徳典³

¹名古屋大学医学部放射線医学教室 ²公立陶生病院放射線科 ³東芝

はじめに

近年, MR 画像は k-space フィルターや adaptive フィルターなどの種々の処理が行われている^{1)~3)}. 多くの装置においては, フィルターのエッジ強調やスムージングの強さやその組み合わせは自由に設定することができるが, その臨床的な効果については必ずしも明確にはされていない. この研究では頭部 3D time-of flight (TOF) MRA 画像において種々のフィルター処理が画質に与える影響について検討した.

対象と方法

対象は健常者 1 名と, もやもや病患者および動脈瘤と右中大脳動脈狭窄のある患者各 1 名である.

使用装置は東芝製 Visart 1.5T で, QD-head-coil を使用し, 頭部 3D TOF MR angiography を撮像した. 撮像条件は TR/TE/FA=42/6.8/20, FOV=14×14 cm, 撮像マトリックス=160×256, スライス厚 1.6 mm, 撮像枚数 50~80, 撮像時間 5~7 分で, MTC (magnetization transfer contrast) pulse を併用した. k-space フィルターと adaptive フィルターの

調節により, エッジ強調とスムージングの程度の組み合わせを変化させた 5 種類のフィルター処理を行った. Fig. 1 に今回使用した 5 種類のフィルター処理を示した. E は edge enhancement を, S は smoothing を示した. S の数字は, 蝶形骨洞の標準偏差 (SD) の逆数の比を示している. また E の数字は数値化が困難なため, 概念的に示してある. E3 はエッジを特に強調したフィルター, S3 はスムージングを特に強調したフィルターで, S1E2, S1E1, S1 は中間の強さのフィルターで, 装

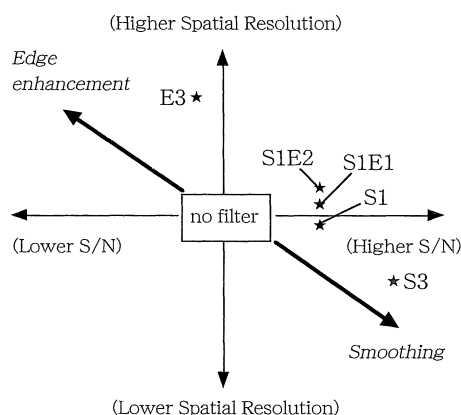


Fig. 1. Schematic diagram of concepts and characters for 5 filters

キーワード filter, 3D TOF MR angiography

置の取扱い説明書で推奨されているものである。これら5種類のフィルター処理とフィルター処理無しの計6種の原画像を作成したのち、MIP (maximum intensity projection) を行い、比較検討した。

健常者1名においては、各処理での中大脳動脈に直交する1cmの線上の信号強度のprofile curveと、内頸動脈と脳実質のcontrast to noise ratio (C/N) の測定によってエッジ強調とスムージングの程度を定量的に評価した。C/Nはregion of interest (ROI) を内頸動脈と脳実質にとり、内頸動脈と脳実質の信号の差を、蝶形骨洞のairのSDで除して求めた。3軸にzero-fill interpolation (ZIP) を適用したものと適用しないものについてMIP像を2名の放射線科医が合議の上で視覚的に比較した。次に動脈瘤患者ともやもや病患者、動脈瘤と狭窄のある患者各1名の画像について、3軸にZIPを行い、同様のフィルター処理を行い病変の描出について2名の放射線科医が視覚的に比較した。

結 果

中大脳動脈におけるprofile curve (Fig. 2A) では、エッジ強調の強いE3は急峻な立ち上がり呈し、脳実質の信号の不均一が目立つ。逆にスムージングの強いS3は平坦化し、脳実質の信号の安定化がみられた。S1E2, S1E1, S1のprofile curveはほぼ重複しているが、フィルター処理無しに比べ軽度ピークの低下と脳実質の信号の均一を呈しており、その両立が確認できた (Fig. 2B, Table)。

内頸動脈のC/NはS3では高値を、E3は低値を呈した。S1E2, S1E1, S1のフィルターはフィルター処理無しに比べ高いC/Nを呈し、エッジを強調するにつれ軽度C/Nの低下がみられた (Fig. 2C)。

Table. Standard Deviations of the Pixel Value at the Brain Parenchymal Part of the Signal Profile Curves

No filter	2762.63
S3	735.74
S1	1740.09
S1E1	1754.55
S1E2	1789.31
E3	7079.31

Note. -E3 which has strong edge enhancement shows unstable background brain parenchymal signal.

S3 which has strong smoothing effect shows stable background signal. S1E2, S1E1 and S1 show more stable background signal than that without filtering.

ZIPを適応していない画像では、フィルター処理無しの画像に比べ、S3は内頸動脈の信号の不均一が改善したが、E3では描出が不明瞭となった。推奨3条件 (S1E2, S1E1, S1) でも、エッジ強調の度合いが強くなるに伴い描出が不明瞭となり、中大脳動脈、前大脳動脈の描出の不均一も観察された (Fig. 3A)。

3軸にZIPを適応した画像では血管の描出がなめらかになり、推奨3条件での差異は観察されなかった (Fig. 3B)。

動脈瘤の症例においてはS3ではコントラストが高く、E3では不明瞭となり、狭窄はS3では不明瞭となったり、E3では途絶しているように見える傾向にあった (Fig. 4)。もやもや病で見られる細血管は、S3, E3の両方で不明瞭となった。推奨3条件ではいずれの症例においても明らかな差異は観察されなかった (Fig. 5)。

考 察

頭部MRAにおいて、ノイズを低減し、小血管を描出するため、フィルター処理が一般的に

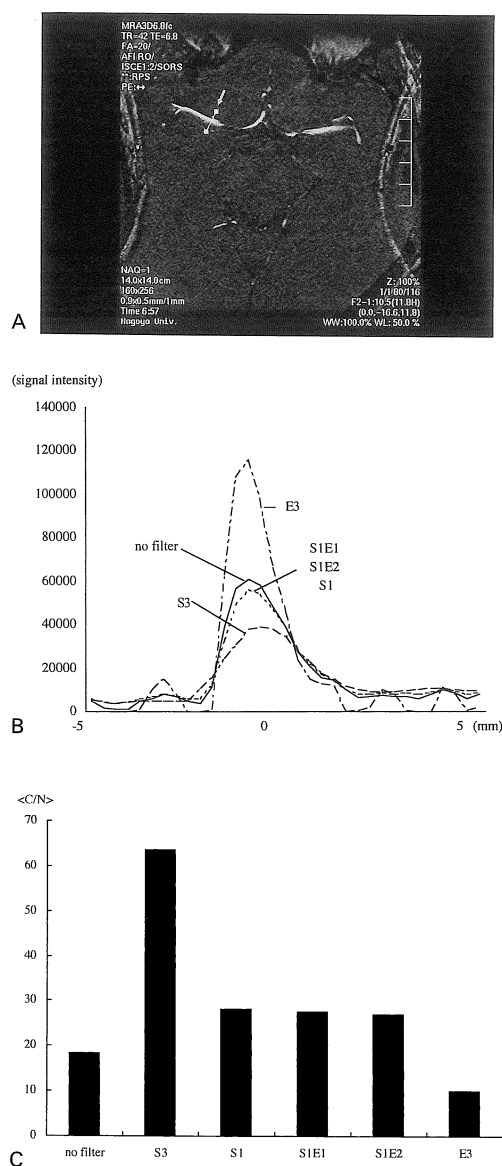


Fig. 2.

行われている^{1)~3)}。エッジ強調やスムージングの程度を変えることにより、装置によっては種々の程度のフィルターをユーザーが自由に使用できる。

一般的なフィルター処理の流れを Fig. 6 に示す。

Fig. 2. 3D TOF MRA in 36-year-old male, normal volunteer

A : Signal intensity profile were measured on the 1 cm line (arrow) which is perpendicular to the middle cerebral artery.

B : Signal intensity profile curves of middle cerebral artery.

E3 which has strong edge enhancement show the steep peak and unstable background signal. S3 which has strong smoothing effect shows smooth peak and stable background signal. S1E2, S1E1 and S1 show comparable shape, however their peaks are slightly lower than that without filter and their backgrounds are more stable than that without filtering.

C : Contrast to noise ratio value of internal carotid artery. S3 shows highest value. E3 shows lowest value. S1E2, S1E1 and S1 show higher value than no filter, with stronger edge enhancement, C/N decrease slightly.

k-space フィルターは生データに対して適用されるフィルターである。MRI で得られる生データは周波数空間データのため、k-space フィルターが適用しやすく、高速に処理できる。機能的には、線形で場所依存のない、いわゆる linear space invariant (LSI) フィルターである⁴⁾。LSI フィルターは最も単純なフィルターであり、画像 signal to noise ratio (S/N) を向上させようとするとき空間分解能が低下し、逆にエッジ強調により高い空間分解能を得ようとするとき S/N が低下する傾向がある。その後フーリエ変換が行われ、real-space フィルターが適用される⁴⁾。これは LSI フィルターのほかに、adaptive フィルターがある⁴⁾。Adaptive フィルターとは、構造の特徴に応じてスムージングやエッジ強調の程度を変えることにより、エッジやラインなどの高周波成分は保存したまま、S/N の向上を図る構造適応型のフィルターである。Adaptive フィルターを使用すると、スムージングによる S/N の向上と、エッジ強調による空間分解能の向上をある程度同時に実現させることができるといわれている⁴⁾。

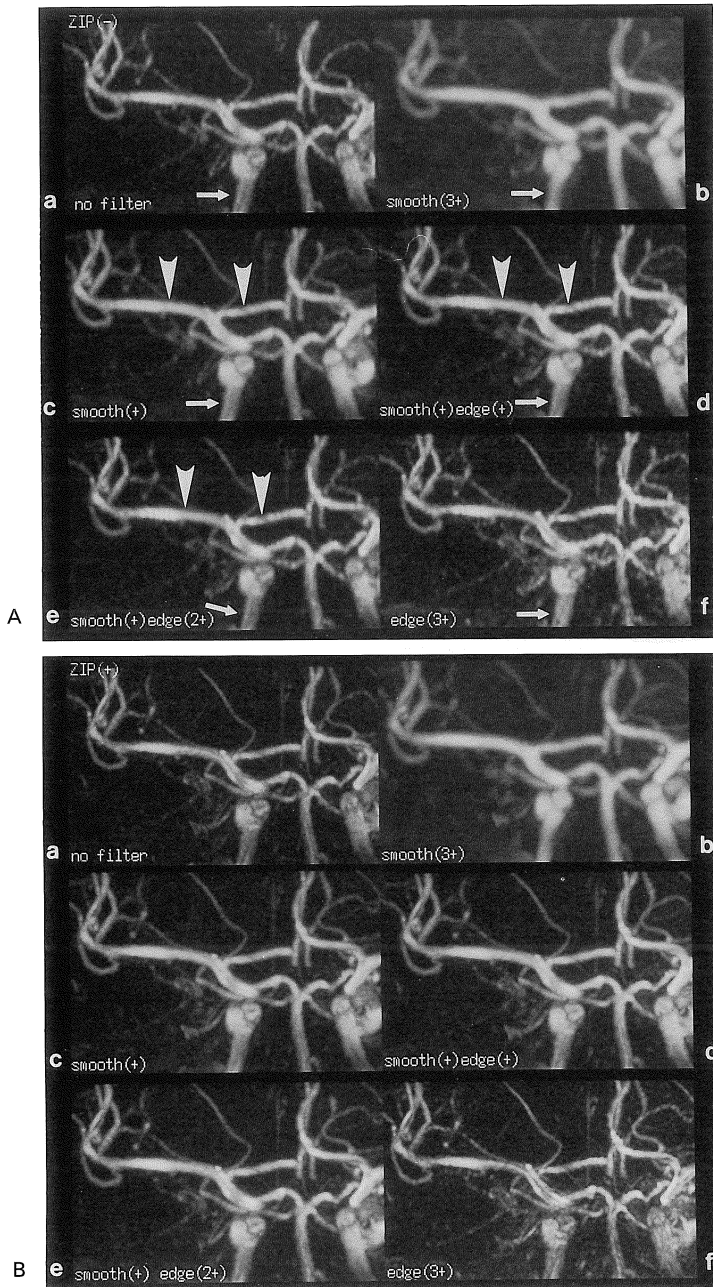


Fig. 3. Normal 3D TOF MRA in 36-year-old male

A : MRA images without zero-fill interpolation (ZIP). (a) no filter, (b) S3, (c) S1, (d) S1E1, (e) S1E2, (f) E3

Image processed by S3 shows uniform signal of internal carotid artery (IC) (arrow). Image by E3 shows some signal loss of IC. Among S1E2, S1E1 and S1, with stronger edge enhancement, signal loss of IC as well as signal loss of middle cerebral artery and anterior cerebral artery (arrow heads) get prominent.

B : MRA images with ZIP.

We can appreciate the smooth visualization of the vessels. No significant differences are observed among S1E2, S1E1 and S1.

その後システム上やイメージャー上での補間処理を経て、読影者の目に入る。

フィルター処理無しの画像に比べ、フィルタ

ー処理を行った画像は、ノイズが低減され、血管がなめらかに描出された。しかし、極端な処理を行うと病変が過大評価、又は過小評価され

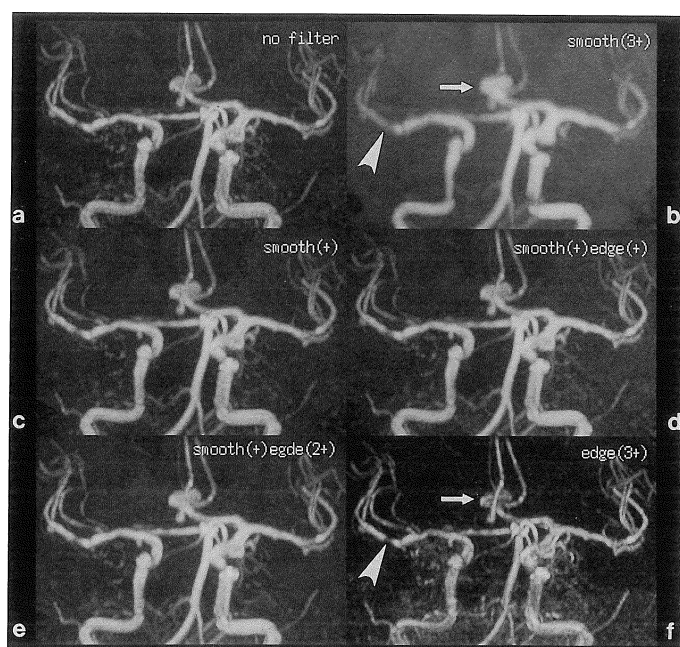


Fig. 4. 72-year-old male with anterior communicating artery aneurysm and right middle cerebral artery stenosis. (a) no filter, (b) S3, (c) S1, (d) S1E1, (e) S1E2, (f) E3. The aneurysm is prominent on S3 (arrow) but looks like tortuous vessel on E3. Stenosis is underestimated on S3 (arrow head) and overestimated on E3. No significant differences are noted among S1E2, S2E1 and S1.

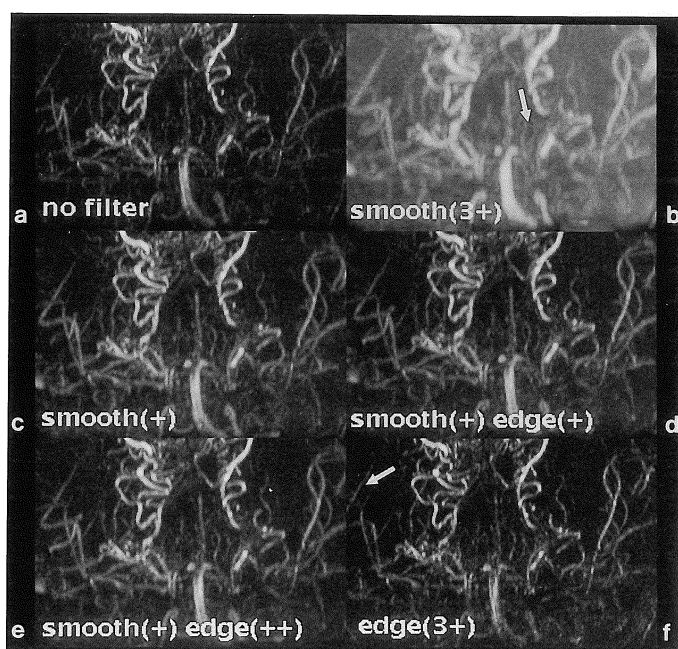


Fig. 5. 28-year-old female with Moya-Moya disease. (a) no filter, (b) S3, (c) S1, (d) S1E1, (e) S1E2, (f) E3. Moya-Moya vessel is unclear on both of S3 and E3 (arrows). No significant differences are noted among S1E2, S1E1 and S1.

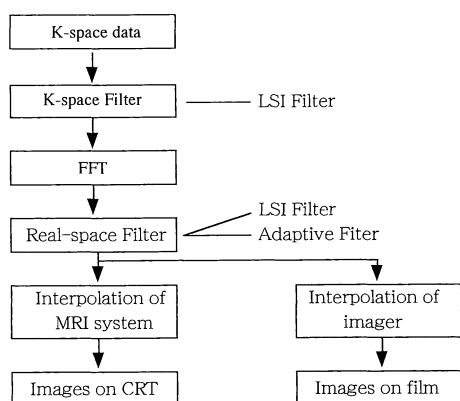


Fig. 6. Flow chart of image filter

たり、病変が不明瞭となったりする例がみられた。ZIP を適応した臨床例では、フィルター処理無しと推奨されるフィルター3種の違いが明瞭ではなかった。極端な処理でなければ、フィルター処理無しの画像に比べ、病変の描出が改善されたり、不明瞭になったりする例はみられず、実際にフィルター処理は必要かどうかという疑問はもたれるが、より S/N の低い画像では差異が明らかになると思われ、また数多く読影する際の眼の疲労度にも差がでるかもしれない。

MRA において ZIP を適応する有用性が一般に認められているため、臨床例では3軸に ZIP を適応した画像に対するフィルター処理の検討を行ったが、ZIP 無しの画像の方が短時間で処理可能で、フィルターの効果がよくとえられ、フィルター処理の検討には有用と思われた。

フィルターの性能は企業から公開されないので、各フィルター処理をより正確に定量的に評

価するにはファントムによる基礎的検討も必要と思われた。

今回は施行しなかったが、BEST (blood vessel enhancement by selective suppression technique) フィルター⁵⁾のような更に高次のフィルター処理の効果の検討も今後必要と思われる。

結 語

種々のフィルター処理は画質に大きな変化をもたらす可能性がある。しかし、その特性を理解して撮影、診断すれば臨床的に有用であると考えられた。

文 献

- 1) Chen H, Li A, Kaufman L, Hale H : A fast filtering algorithm for image enhancement. IEEE transactions on medical imaging 1994 ; 13 : 557-564
- 2) Orkisz MM, Bresson C, Magnin IE, Champin O, Douek PC : Improved vessel visualization in MR angiography by nonlinear anisotropic filtering. Magn Reson Med 1997 ; 37 : 914-919
- 3) 高原太郎, 栗原泰之, 黒木一典, 中島康雄, 石川徹 : Non-linear filter (Cosmetic filter) が3次元造影 MR Angiography の画質に与える影響. 日磁医誌 1997 ; 17 (Suppl) : 199
- 4) Jain AK. Image filtering and restoration. In : Thomas K, ed. Fundamentals of Digital Image Processing. Englewood Cliffs, NJ07632, USA : Prentice Hall, 1989 ; 267-299
- 5) Chen H, Hale J : An algorithm for MR angiography image enhancement. Magn Reson Med 1995 ; 33 : 534-540

The Effect of Image Filters on 3D Time-of-Flight MR Angiography

Eriko IWAYAMA¹, Shinji NAGANAWA¹, Tokiko KOSHIKAWA²,
Hiroshi FUKATSU¹, Tsuneo ISHIGUCHI¹, Takeo ISHIGAKI¹,
Tokunori KIMURA³

¹*Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine
65 Tsurumai-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8550*

²*Tosei Hospital*

³*Toshiba Corporation*

Recently, various image filters such as k-space filter or adaptive filter are applied on MR images. However, their clinical values and drawbacks have not been investigated systematically. The purpose of this study was to clarify the effect of various image filters on 3D time-of-flight MR angiography (3D TOF MRA).

All filter processings were performed on the MR scanner console. Five filters which have various degree of k-space filtering and adaptive filtering were applied on the source images of 3D TOF MRA. They had various degree of combination for smoothing effect and edge enhancement effect. The five filtered and non-filtered images were evaluated qualitatively and quantitatively on volunteer and patient with aneurysm or Moya-Moya disease. In the quantitative analysis, we could confirm adaptive filters could achieve both edge enhancement and smoothing effect. In the qualitative analysis, a large aneurysm could be visualized more conspicuously on strong smoothing filter. Moya-Moya vessels were most conspicuously visualized on intermediate filtering.

Filtering can cause the great image quality alteration. However, if we understand its effect and drawbacks, image filters can be valuable in the clinical MR angiography.