

## 1. 頭部における拡散強調画像

山田 恵, 西村恒彦

京都府立医科大学 放射線学教室

### Diffusion Weighted Imaging for the Central Nervous System

Kei Yamada, Tsunehiko Nishimura

Department of Radiology, Graduate School of Medical Science, Kyoto Prefectural University of Medicine

#### Abstract

Diffusion tensor imaging (DTI) tractography to elucidate the course of the pyramidal and sensory tracts has recently become feasible for routine clinical practice. Typical imaging time for DTI in our institute is usually within ten minutes, and postprocessing of the acquired data to generate preliminary results for presurgical planning takes only 15 to 20 minutes. This brief review will describe DTI methodology, optimization of the image quality and data post-processing, and utilization of the data for patient care.

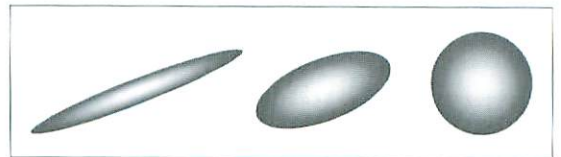
**Keywords :** Diffusion-weighted imaging, Diffusion tensor imaging, Fiber tracking, Tractography

#### DWI と DTI

拡散強調画像(diffusion-weighted imaging ; DWI)は磁気共鳴画像(magnetic resonance imaging ; MRI)を用いて脳内の水分子の拡散能を評価するのに使用される手法である。この撮像法は水分子の拡散のし易さだけではなく、拡散の方向性にも強い影響を受けることが臨床応用早期から知られていた<sup>1)</sup>。これは神経線維が特定の方向へ束となって走行するためである。白質における軸索の細胞膜やミエリン鞘は神経線維束に直行する方向の拡散を妨げる作用を持ち、これにより水分子の拡散等方性(isotropy)が失われる。このような状態を“拡散異方性(anisotropy)”があると表現する。拡散異方性の情報を選択的に記録することを目的としたのがdiffusion tensor imaging (DTI)である。

DTIで得られる情報には拡散異方性の強さとベクトル情報の二者がある。拡散異方性の強さを示

す係数としてはfractional anisotropy (FA)の他にrelative anisotropyやvolume ratio<sup>2)</sup>が知られているが、これらの中でFAが最もノイズに強くよく用いられる。FAは0から1の間の数値をとり、1に近いほど強いanisotropyを持った状態を表し、0は完全なisotropic(異方性がない)の状態を示す(Fig.1)。



**Fig.1** The figure illustrates diffusion ellipsoids of different shapes. The tensor for a pixel with high anisotropy will have a pointed appearance as shown on the left, while the tensor for a pixel with low anisotropy will become closer to a spherical shape.

## Fiber trackingを行なうのに 望ましいDTIの条件

良質の画像のポイントとしては以下の3項目に大別され、1. 通常より薄いスライス厚(2~3mm程度でギャップレス撮影)、2. 高いsignal-to-noise ratio (SNR)、そして3. 歪みが少ない画像である。特に画像の歪みは算定されるFAやベクトルに強い影響を与え得るため、parallel imagingの手法であるSensitivity Encoding (SENSE)<sup>3,4)</sup>を用いたMR撮像は必須の技術といえる。Single-shot echo planar imaging (EPI)を用いる場合が多いため、SENSEによる歪み抑制は重要である。さらに拡散強調の傾斜磁場をかける方向を6軸より増やすことで精度の向上が可能である。当施設におけるルーチンの撮像条件は1.5 teslaの全身用MR装置 (Philips Medical Systems, Gyroscan Intera)を用いたsingle-shot EPIでTR = 6000, TE = 88, flip angle = 90°, diffusion sensitizing gradient (DSG)は15方向、b-valueは1000sec/mm<sup>2</sup>で加算回数は2回である。Parallel imagingの一方法であるSENSEを使用し128×53の分解能で撮像を行なう。SENSEのreduction factorは2を使用するので再構成画像は128×106の分解能を持つ。最終的にはzero-fillingで128×128の解像度の画像を構築し、これをfiber trackingの元画像とする。スライス厚は3mmでスライス間のギャップをゼロとして撮像をしている。Field of view (FOV)は230×230mmのため1個1個のピクセルサイズは1.8×1.8×3mmである。撮像時間は4分程度である。脳腫瘍の術前の場合はこの3倍程度の時間をかけて撮像しており、画像のゆがみ補正も合わせて施行している。

## Fiber tracking法

### 原理

DTIで得られる情報をもとにして隣接するピクセル同士に異方性のベクトルに連続性があるか否かを検討することで、巨視的な神経線維の走行を想定するのがfiber trackingの簡単な概念である<sup>5,6)</sup>。対象とする神経線維路を描出するには、その通過点と想定される解剖学的部位に関心領域 (region of interest ; ROI)を設置し、同部位を通過する線維をプログラムに抽出させることになる。Fiber

trackingの手法として現在最も普及しているものの一つは、Moriらにより提唱された方法でfiber assignment with continuous tracking (FACT) 法と呼ばれる<sup>5)</sup>。

### 関心領域 (ROI) の設定

ROIは1個ないし複数個設置する。ROIを1個のみ設置するよりは複数個設置した方が、より特異性の高い画像を得ることができる。ROIの設定にあたっては正確な解剖学的知識をもって行なう必要があるのは言うまでも無いことであるが、得られた画像に関しても、それが解剖と合致するものか否かを毎回確認しながら解析を進める必要がある。すなわち本手法はあくまでも神経線維束の間接的な確認の方法であり、gold standardは過去に蓄積された解剖学的知識である。

### Stop criteria

ベクトルの連続性を追跡するに際して、プログラムがあるcriteriaに達した時にはその追跡を停止してやる必要がある。これをstop criterionと呼び、FACTプログラムではこれが2種類存在する。この2種の因子とはFAとvectorの内積 (inner product) である (Fig.2)。両者を調整することによりトラッキングの精度や感度に変化が起り得るので、描出された神経線維路の結果を見て折り合いの良い条件を探してやる必要がある。

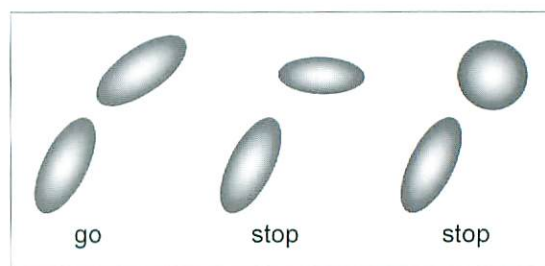


Fig.2 Stop criteria are illustrated in this figure. When two adjacent pixels are aligned within the predetermined angle, the tracking will continue. It will stop when this predetermined angle it exceeds. The tracking also stops when it encounters a pixel with low anisotropy.

## Fiber trackingの臨床応用の現状

Fiber tracking法の臨床応用には多大な期待が寄せられており、特に脳腫瘍の術前検査として皮質脊髓路を含む重要な神経線維路の位置を推定できる点は有用性の高い分野の一つと考えられる<sup>7)</sup>。また脳梗塞においても臨床応用は進んでおり、特に予後との関連に関する研究は臨床的意義が深い可能性がある<sup>8)</sup>。さらに小児神経領域ではperiventricular leukomalaciaの予後予測への期待が寄せられている他、正常のデータベースの作成も進んでいる<sup>9)</sup>。これを利用すれば将来的には小児の神経発達を拡散強調画像にてモニタリングすることが可能となるかもしれない。

### ●文献

- 1) Moseley ME, Cohen Y, Kucharczyk J, et al : Diffusion-weighted MR imaging of anisotropic water diffusion in cat central nervous system. *Radiology* 1990 ; 176 : 439-445.
- 2) Sorensen AG, Wu O, Copen WA, et al : Human acute cerebral ischemia : detection of changes in water diffusion anisotropy by using MR imaging. *Radiology* 1999 ; 212 : 785-792.
- 3) Golay X, Pruessmann KP, Weiger M, et al : PRESTO SENSE : an ultrafast whole-brain fMRI technique. *Magn Reson Med* 2000 ; 43 : 779-786.
- 4) van den Brink JS, Watanabe Y, Kuhl CK, et al : Implications of SENSE MR in routine clinical practice. *Eur J Radiol* 2003 ; 45 (in press).
- 5) Mori S, Crain BJ, Chacko VP, et al : Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Ann Neurol* 1999 ; 45 : 265-269.
- 6) Conturo TE, Lori NF, Cull TS, et al : Tracking neuronal fiber pathways in the living human brain. *Proc Natl Acad Sci USA* 1999 ; 96 : 10422-10427.
- 7) Yamada K, Kizu O, Mori S, et al : Clinically feasible diffusion-tensor imaging for fiber tracking. *Radiology* 2003 ; 227 : 295-301.
- 8) Konishi J, Yamada K, Kizu O, et al : MR tractography for the evaluation of functional recovery from lenticulostriate infarcts. *Neurology* 2005 ; 64 : 108-113.
- 9) Hermoye L, Saint-Martin C, Cosnard G, et al : Pediatric diffusion tensor imaging : normal database and observation of the white matter maturation in early childhood. *Neuroimage* 2006 ; 29 : 493-504.