

拡散テンソル画像

森 壱

(臨床神経, 48 : 945—946, 2008)

Key words : 磁気共鳴画像, 拡散テンソル, 異方性, トラクトグラフィー, 白質

拡散強調像は超急性期脳梗塞が直接描出可能という、他の画像検査法にない特徴により広く臨床応用されている。脳梗塞の検出においては、異方性による白質の信号が脳梗塞の検出に妨げになることから、等方性拡散強調像が通常もちいられてきた。しかし、脳における拡散は白質線維による異方性があるので、条件を満たした MRI 撮像をおこないテンソル解析すると、白質路の画像化 (color map : 線維方向の違いの表示, tractography : 特定の白質路の抽出) や白質線維路による拡散異方性の程度が定量化 (FA : 異方性比率) できる¹⁾。つまり、従来の等方性拡散強調像は、拡散テンソル近似モデルの固有値 (λ_1, λ_2 および λ_3) の平均値に注目した画像であり、tractography は第一固有ベクトル (e_1) に注目した画像である。また、FA 画像 (異方性比率画像) は固有値の標準偏差に注目した画像といえる。

最近、脳白質線維の方向性を加味した拡散テンソル画像と、その表示法の進歩があり、東京大学放射線科の青木茂樹准教授、阿部修講師と画像情報処理・解析研究室の増谷佳孝講師が開発した dTV (MR 拡散テンソル可視化ソフトウェア http://www.ut-radiology.umin.jp/people/masutani/dTV/dTV_frame-j.htm) により、臨床応用が可能となった。たとえば、放線冠を通るレベルの横断像では放線冠とその他の線維を区別するのは困難であるが、拡散テンソル画像では脳梁、上縦束、上前頭後頭束や帯状束との鑑別が容易にできる (Fig. 1)。また、放線冠内の皮質脊髄路の抽出も可能である。

この拡散テンソル画像は、①白質路の画像化 (Fig. 2) と②白質路の定量的評価に臨床応用される。白質路の画像化では、拡散テンソルトラクトグラフィーによる主要白質路の描出²⁾、その白質路と病変 (脳梗塞、血管奇形や脳腫瘍) との 3 次元的位置関係の解析³⁾による術中ナビゲーションや放射線治療への応用⁴⁾や、fMRI との組み合わせ⁵⁾などがおこなわれている。白質路の定量的評価としては、manual trace 法の欠点である再現性の問題や煩雑さを克服した半自動的な tract-specific analysis⁶⁾や、必ずしも仮説を必要とせずに全脳解析ができ、かつ、検定者間のバイアスが低い voxel-based analysis⁷⁾⁸⁾をおこなうことができる。また、健常人でのデータベースを構築しておけば、群間比較⁹⁾ではなく個人の検定もおこなえるようになる。このように、臨床から研究まで広く応用が期待される分野である。

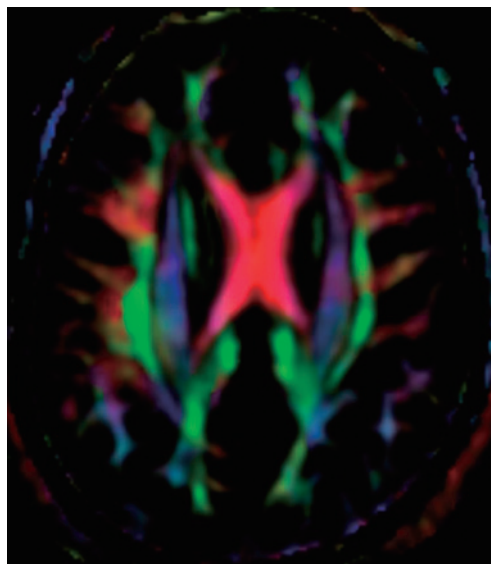


Fig. 1 “放線冠”を通る横断像 (color map)
各ボクセルの第一固有ベクトルは緑=前後、赤=左右、青=頭尾方向を示す。

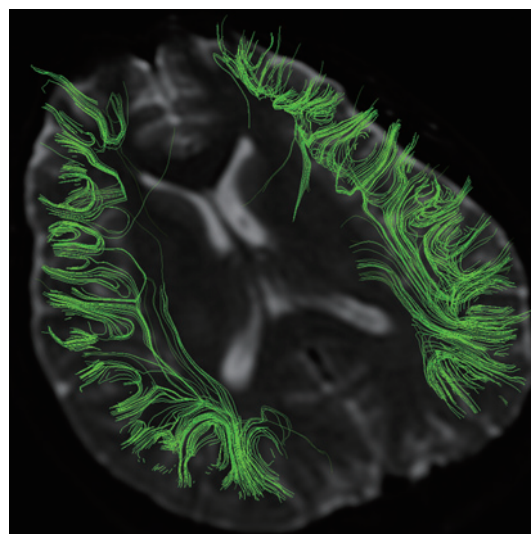


Fig. 2 弓状線維

拡散テンソル画像 (とくに tractography) の限界としては ① FA の閾値¹⁰⁾, ② 交叉線維の問題がある. 前者は, FA の閾値設定によって恣意的に線維路を描出できてしまう問題である. 生体内の解析のため, 描かれた線維に対する validation がえられにくいのも欠点である. また, 後者は, 皮質脊髄路, 脳梁と上縦束など神経線維交叉部で描出能が低下する問題である. 一つのボクセルを一つの拡散テンソルで代表させるため, ボクセル内で交叉していたり, 屈曲接触している神経線維は線維間を乗り越えるように描出されてしまう. そもそも, 異方性の組織学的背景が不明である点も問題である.

将来的には, MR angiography と同様に通常の MRI 撮像の一環として, 病変と近傍白質路との関係を示した拡散テンソル画像を提供し, 血液生化学などの臨床検査値と同様に, 全脳あるいは特定の白質路に対応した拡散テンソルパラメータを臨床に提供できるようになることを一つの目標と考えている.

文 献

- 1) Masutani Y, Aoki S, Abe O, et al: MR diffusion tensor imaging: recent advance and new techniques for diffusion tensor visualization. *Eur J Radiol* 2003; 46: 53—66
- 2) Mori H, Fujishiro T, Hayashi N, et al: Partially uncrossed pyramidal tracts shown by tractography in horizontal gaze palsy and scoliosis. *Am J Roentgenol* 2005; 184: S4—6
- 3) Itoh D, Aoki S, Maruyama K, et al: Corticospinal tracts by diffusion tensor tractography in patients with arteriovenous malformations. *J Comput Assist Tomogr* 2006; 30: 618—623
- 4) Maruyama K, Kamada K, Ota T, et al: Tolerance of pyramidal tract to gamma knife radiosurgery based on diffusion-tensor tractography. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2008; 70: 1330—1335
- 5) Kamada K, Todo T, Masutani Y, et al: Visualization of the frontotemporal language fibers by tractography combined with functional magnetic resonance imaging and magnetoencephalography. *J Neurosurg* 2007; 106: 90—98
- 6) Aoki S, Iwata NK, Masutani Y, et al: Quantitative evaluation of the pyramidal tract segmented by diffusion tensor tractography: feasibility study in patients with amyotrophic lateral sclerosis. *Radiat Med* 2005; 23: 195—199
- 7) Abe O, Yamada H, Masutani Y, et al: Amyotrophic lateral sclerosis: diffusion tensor tractography and voxel-based analysis. *NMR Biomed* 2004; 17: 411—416
- 8) Abe O, Yamasue H, Kasai K, et al: Voxel-based diffusion tensor analysis reveals aberrant anterior cingulum integrity in posttraumatic stress disorder due to terrorism. *Psychiatry Res* 2006; 146: 231—242
- 9) Yasmin H, Nakata Y, Aoki S, et al: Diffusion abnormalities of the uncinate fasciculus in Alzheimer's disease: diffusion tensor tract-specific analysis using a new method to measure the core of the tract. *Neuroradiology* 2008; 50: 293—299
- 10) Kunimatsu A, Aoki S, Masutani Y, et al: The optimal trackability threshold of fractional anisotropy for diffusion tensor tractography of the corticospinal tract. *Magn Reson Med Sci* 2004; 3: 11—17

Abstract

Diffusion tensor imaging

Harushi Mori

Department of Radiology, University of Tokyo Hospital

Diffusion tensor imaging of magnetic resonance imaging, including diffusion tensor tractography, is a unique tool to visualize and segment the white matter pathways in vivo and one can evaluate the segmented trace quantitatively. Three dimensional visualization of the white matter fibers, such as corticospinal (pyramidal) tracts, with relationship to brain lesions (infarcts, vascular malformations and brain tumors) is extremely helpful for stereotactic radiosurgery, preoperative evaluation and intraoperative navigation. Quantitative measurement of the tract is a very sensitive method to detect differences in the tract in neurodegenerative/neurocognitive/psychiatric patients such as amyotrophic lateral sclerosis, schizophrenia and Alzheimer diseases. Importance of this tool will become more significant in clinical and neuroscience fields in the future.

(Clin Neurol, 48: 945—946, 2008)

Key words: magnetic resonance imaging, diffusion tensor, anisotropy, tractography, white matter