

tractographyによる皮質脊髓路描出法の比較検討： one-ROI法とtwo-ROI法

森 壘¹⁾ 増谷 佳孝¹⁾ 青木 茂樹¹⁾ 阿部 修¹⁾
林 直人¹⁾ 増本 智彦¹⁾ 山田 晴耕¹⁾ 吉川 健啓¹⁾
國松 聡¹⁾ 大友 邦¹⁾ 梶沢 宏之²⁾

1) 東京大学医学部放射線科

2) GE横河メディカルシステム

Simple Visualization of the Corticospinal Pathway using Tractography: One-ROI and two-ROI methods

Harushi Mori¹⁾, Yoshitaka Masutani¹⁾,
Shigeki Aoki¹⁾, Osamu Abe¹⁾, Naoto Hayashi¹⁾,
Tomohiko Masumoto¹⁾, Haruyasu Yamada¹⁾,
Takeharu Yoshikawa¹⁾, Akira Kunimatsu¹⁾,
Kuni Ohtomo¹⁾ and Hiroyuki Kabasawa²⁾

Diffusion tensor imaging (DTI), a magnetic resonance (MR) technique to analyze diffusion anisotropy of the brain, is able to demonstrate subtle white matter anatomy. Tractography is expected to be a unique, non-invasive tool to provide more pertinent insights into brain structure and orientation not accessible by conventional MRI. In this report, preliminary experiences of visualization of the corticospinal tract using tractography are described. DTI of the brain was performed in 5 normal volunteers using single-shot echo-planar imaging, then tractography was generated by our original software. We determined that the two-region-of-interest (ROI) method is superior to the one-ROI method.

Research Code No.: 503.9

Key words: Corticospinal pathway, Diffusion, Tensor, Tractography, MR imaging

Received Sep. 24, 2002; revision accepted Nov. 22, 2002

1) Radiology, University of Tokyo

2) GE Yokogawa Medical Systems

別刷請求先

〒113-8655 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学医学部附属病院放射線科

森 壘

はじめに

脳における拡散現象は白質線維に沿った異方性があり、拡散テンソルにより解析できる。われわれは3次元コンピュータグラフィックスの手法を利用して、tractographyによる脳の各部位における拡散異方性の視覚的評価法を開発し、発表した¹⁾。今回、tractographyを使った皮質脊髓路の簡易描出法としてone-ROI法とtwo-ROI法を比較検討したので報告する。

対象および方法

対象は健常ボランティア5名(平均34.8±3歳、すべて男性)であり、左右合計10大脳半球について評価した。single-shot echo planer imagingによる拡散テンソル画像の収集はGE社製Signa Horizon LX 1.5Tを用いた。各種パラメータは以下の通り：TR/TE=6000/78.3ms, 3~5mm厚, gapless, FOV 24×24cm², NEX=2~4, matrix 128×128, b=1000, 6~13軸。

われわれの開発したtractographyは汎用表示ソフトウェア(VOLUME-ONE)と拡張ソフトウェア(VizDT-II)による拡散係数最大方向の追跡表示である。任意断面上の任意形状関心領域(ROI)による開始点と標的領域の設定ができる。two-ROI法では開始ROIおよび標的ROIの両者を通してものが表示される。開始ROI内では一定密度の開始点から軌跡の計算が始まる。また、軌跡上の各点の拡散異方性に応じた色づけができ、最大追跡方向の信頼性が分かる。つまり、赤色は線状拡散、黄色は面状拡散で、白色は球状拡散を表す。異方性(FA値)や見かけの拡散係数(ADC値)による軌跡終端条件などの各種設定もできるが、今回は初期設定のまま使用した。

one-ROI法による描出：開始ROIの設定は拡散テンソルのb=0画像を用い、前交連レベルの横断像内で行った。まず、ウインドウとレベルの操作によって画像を2値化し、Yagishitaら²⁾の言う内包後脚の高信号域を抽出して開始ROIとした。

two-ROI法による描出：開始ROIは中脳上部レベルのb=0

横断像で中脳半分を選択した。また、標的ROIはpre-central knobが見える最下端レベルの横断像で開始ROIと同側の中心前回に設定した。

1. 定性評価

1-1. 軌跡の信頼性の視覚的評価：それぞれの方法によって描出された軌跡が経路の途中で異方性の低下なく連続しているか視覚的に3点評価した。点数定義は1点=軌跡のほとんどが白く描出, 2点=大脳半球内の軌跡の途中で一部が白く描出, 3点=軌跡終端以外はほぼ均一に赤く描出, とした。

1-2. 軌跡の相同性の視覚的評価：それぞれの方法による軌跡を同一空間内に重ねて表示し, 両者の異同を視覚的に3点評価した。点数定義は1点=両法による軌跡のほとんどが重なりなく分離, 2点=多くは重複しているが一部が分離, 3点=ほとんどすべての軌跡が重なる, とした。

2. 定量評価

それぞれの方法による軌跡の頭側終端の分布を定量的に評価した。具体的には終端が一次運動野や補足運動野にある軌跡の数とその他の領域に終わる数を計測した。軌跡の本数自体はROI面積や開始点密度設定で変化するため, 経路中の総本数に対する割合(%)を比較した。統計計算はpaired-t-testを用いた。

結 果

1. 定性評価

1-1. 軌跡の信頼性の視覚的評価：健常者5例10経路についてone-ROI法, two-ROI法のいずれでも評価は3点であり, 軌跡の信頼性を確認した。

1-2. 軌跡の相同性の視覚的評価：視覚的相同性は 2.0 ± 0.1 点であった。two-ROI法による軌跡はone-ROI法よりやや内腹側を走行する傾向にあった(Fig. 1)。また, one-ROI法の背側成分は中心後回に終止するものが多かった。いずれの方法でもprecentral knobより外側の皮質へは分布していなかった。

2. 定量評価 (Table 1)

one-ROI法による描出では約4割の軌跡が運動野以外の

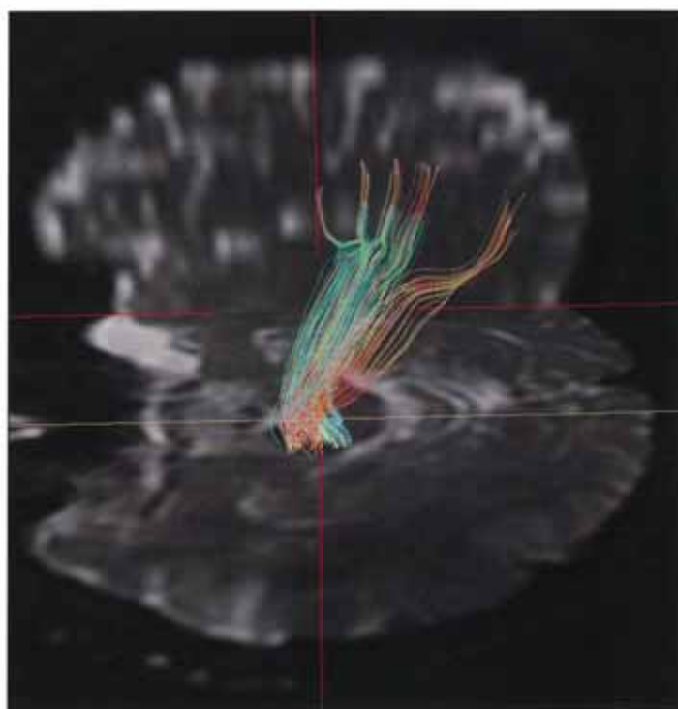


Fig. 1 visual comparison between of the two methods
Red tracts= one-ROI method, blue tracts= two-ROI method

感覚野などに分布した。これに対し, two-ROI法ではほぼすべての軌跡が運動野に分布した。two-ROI法でも1大脳半球では標的ROIを超えた頭頂部で一次感覚野に向かう軌跡が少数見えた。両法の軌跡分布の違いには統計的有意差を認めた。

考 察

広義の皮質脊髄路(錐体路, 直接賦活系)には皮質運動細胞路, 皮質感覚細胞路と皮質毛様体路の3系統が含まれるが, 臨床的に主に問題となるのは狭義皮質脊髄路の皮質運動細胞路である。基底核レベルの皮質脊髄路はT2強調像での内包後脚における高信号域として認識できる²⁾が, その他の放線冠レベルなどでの皮質脊髄路の同定は通常の画像検査では難しい。拡散テンソルを用いてこのmissing linkを簡便かつ信頼を持って描出できるか検討するのが今回の目的である。

one-ROI法とtwo-ROI法のいずれの描出法でもprecentral knobより外側での軌跡描出能が悪い。これはtractographyが

Table 1 Proportion of tracts

	average number of tracts (%)		
	motor-premotor area	other areas	total
one-ROI method	39.7 $\pm$ 7 (56.3 $\pm$ 7) *	27.7 $\pm$ 5 (43.5 $\pm$ 7)	67.7 $\pm$ 7 (100)
two-ROI method	55.2 $\pm$ 7 (97.5 $\pm$ 3) *	1.2 $\pm$ 1 (2.5 $\pm$ 3)	56.4 $\pm$ 7 (100)

*significant difference ($p < 0.01$)

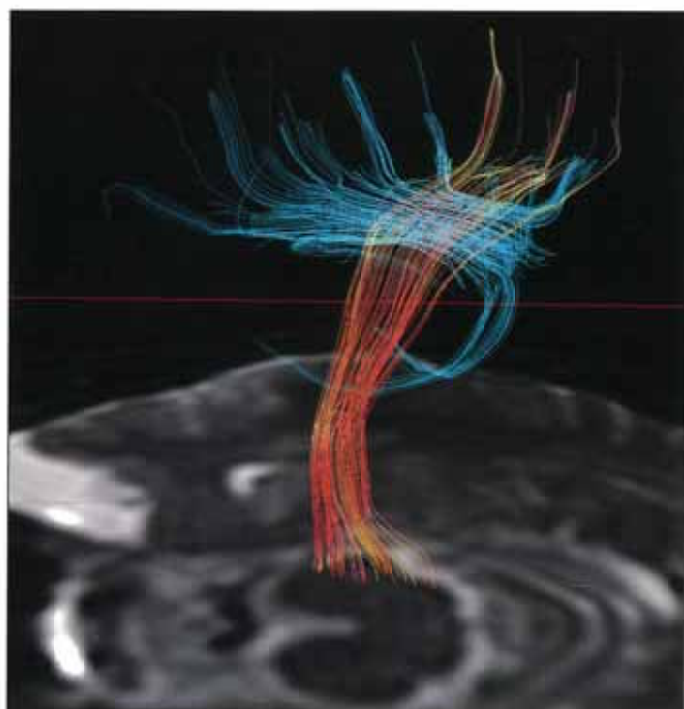


Fig. 2 Crossing fiber problem
Red tracts= right corticospinal pathway,
Blue tracts= right superior longitudinal fascicle

一般的に抱える神経交差部の問題であり、部分容積現象が異方性低下をもたらすからである。具体的には皮質脊髓路の外側で上縦束と交差しているために外側での描出が悪い (Fig. 2)。

今回の結果からは、いわゆる内包後脚の高信号域は遠心性の皮質運動細胞路のみならず一次感覚野に向かう求心性の神経路も含むと考えられる。また、内包後脚の高信号域よりやや内腹側の領域にも皮質運動細胞路が走行する可能性を示唆している。この病理学的確認には細胞染色による線維追跡など特殊検査技術が必要である。one-ROI法とtwo-ROI法での経路がこのように多少異なることはtractographyを臨床応用する上で注意を要する。つまり、one-ROI法で描出された軌跡が放線冠の病変に重なっていても運動機能に

ついで臨床像と差異を生じる可能性がある。従って、皮質脊髓路の描出にはより正確なtwo-ROI法をできるだけ使用する必要がある。しかし、one-ROI法とtwo-ROI法での描出像のオーバーラップは大きいと、病変による中心前回の圧排変形が強く標的ROI設定が困難な場合には、より簡便なone-ROI法による代用が許容され则认为。

今回の検討によりone-ROI法およびtwo-ROI法を使ったtractographyで簡便に皮質脊髓路が描出されることが確認された。tractographyは梗塞などの白質病変による臨床症状の説明や予後予測、脳腫瘍の浸潤評価³⁾やナビゲーションなどにすぐにでも応用できると期待される。今後はこれらの簡易描出法の信頼性について症状との比較など実際の臨床症例での検討を行いたい。

文 献

- 1) 増谷佳孝, 阿部 修, 青木茂樹, 他: MR拡散テンソル画像の解析による脳白質神経線維追跡: 追跡の信頼性を考慮した選択的Tractography. Med Imag Tech 20: 584-592, 2002
- 2) Yagishita A, Nakano I, Oda M, et al: Location of the corticospinal tract in the internal capsule at MR imaging. Radiology 191:

455-60, 1994

- 3) Holodny AI, Schwartz TH, Ollenschleger M, Liu WC, Schulder M. Tumor involvement of the corticospinal tract: diffusion magnetic resonance tractography with intraoperative correlation. J Neurosurg 95: 1082, 2001