

[別紙 2]

審査の結果の要旨

氏名 渡辺 慎

本研究は、脳神経外科領域の手術において機能上重要な部位の操作に不可欠となった手術ナビゲーションシステムに、拡散テンソル画像の解析および DTT の表示という新たな機能を付加する試みである。既存のナビゲーションシステムで拡散テンソルデータを扱う場合、その解析結果はスカラ量としてシステムに転送し表示できるものの、テンソル解析や解析結果の術中での柔軟な更新は不可能であった。本研究では、拡散テンソルデータをそのまま扱え、術中に DTT の描画が可能な手術ナビゲーションシステムの開発を行い、手術での想定通りの動作を確認した。それに付随して、検証手段として拡散異方性を表現するファントムを作成するとともに、システムについて基礎的な検討を行った。これらの過程を通して、以下の結論を得ている。

・ファントムについて

正常ボランティアの頭部 MRI データを用いて、形態情報および DTT を組み合わせたファントムを作成しシステム検証に用いた。

今までに報告のなかったポリエステル糸を用いて、拡散異方性を持つファントムが作成でき、曲げや分岐の加工も可能であった。経時的な形態・性状の安定性については課題が残ったが、安定したファントムが得られれば *in vitro* での白質路のシミュレーション、撮像シーケンスの検証・調整や、MRI 装置の調整などに有用と考えられた。

・ナビゲーションシステムについて

市販の CCD センサ、PC ワークステーションおよび独自に開発したソフトウェアを組み合わせ手術ナビゲーションシステムを開発した。ファントムデータのレジストレーション操作や、ナビゲーション時のプローブ操作は容易であった。既存システムでも実行できていた形態情報のナビゲーションに加えて、同一システム内での DTT の描画を含む拡散テンソルデータの解析・表示およびナビゲーションも可能となった。精度については、解剖学的構造を基準点とした場合、目標点の誤差はボリュームデータの空間分解能未満に抑えられた。

・レジストレーションの計算方法と精度の関係

実際の手術でのリファレンスアークおよび頭皮マーカの座標データを元に、計算方法としてアフィン変換と剛体変換を用いてレジストレーション誤差のシミュレーションを行った。既に報告のある剛体変換の他、新たにアフィン変換でもマーカを指示する際の誤差 (FLE) とレジストレーション時の誤差 (TRE) との間に比例関係が認められた。誤差の絶対値は剛体変換の方が小さく実用的と結論された。

- ・リファレンスアークと手術対象の距離の関係

座標データを利用したシミュレーションにより、レジストレーション時の誤差 (TRE) は、リファレンスアーク上に配置された基準点の重心座標に近い点ほど小さいことを示した。手術部位とリファレンスアークの位置関係を設定する上で重要と考えられた。

- ・手術での動作

手術開始前のレジストレーション作業は既存システムよりも容易であった。既存システムと異なり再レジストレーション作業が必要であったが煩雑ではなく、ナビゲーション時にリファレンスアークの CCD センサでの追跡は不要であった。ナビゲーションでの表示位置は視覚上の評価や既存システムでの表示と一致した。手術中のシステム内での DTT 描画や、DTT を表示しながらのナビゲーションもリアルタイムで可能であった。

- ・今後想定される応用例

術中 DTT の描画機能を活用した応用法としては、まず電気生理学的手法との組み合わせが可能と考えられた。脳占拠性病変切除中に切除腔壁の白質を直接電気刺激して得られる subcortical MEP において、本システムでは刺激電極の表示と併せて、電極から一定の距離を通過する線維を抽出した描画も可能で、切除腔とその近傍の線維の三次元的な位置関係が把握しやすくなると判断された。この他、留置した電極と線維間の距離を術中に測定する場合などにも応用が可能と考えられた。

以上、本論文は、形態画像による解剖学的ナビゲーションと、拡散テンソル画像による機能的ナビゲーションを統合的に運用可能な手術ナビゲーションシステムの開発とその臨床応用に重要な貢献をなすものであり、学位の授与に値するものと考えられる。