

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700462

研究課題名（和文） 神経束走行情報を用いた癲癇脳波活動源分布推定

研究課題名（英文） Source distribution estimation of epilepsy EEG by using nerve direction

研究代表者

深見 忠典（FUKAMI TADANORI）

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：70333987

研究成果の概要（和文）：

頭皮上で計測される脳波信号より、脳内における活動源を等価電流双極子により推定するためには、一双極子あたり6つのパラメータ（3次元空間における位置情報と双極子の向き）を必要とするため、複数の双極子で近似を行う場合、推定すべきパラメータが増大する。本研究では、双極子の向きを拡散テンソル画像より推定することで、推定における拘束条件を付加し、双極子位置の推定精度が向上することを確かめた。

研究成果の概要（英文）：

In equivalent dipole estimation from measured EEG distribution on the scalp, six parameters regarding the position and moment in 3D space are needed for one dipole. We need obtaining a large number of parameters when approximating the EEG distribution by multiple dipoles. Therefore, in this study, we estimated dipole moment from DTI (diffusion tensor imaging) images; gave them as additional conditions to the estimation. As a result, our results showed that dipole moment extracted from DTI images was useful to improve an accuracy of dipole estimation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
2013年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：生体情報処理、医用画像処理

科研費の分科・細目：人間医工学・生体医工学・生体材料学

キーワード：脳波、拡散テンソル画像、癲癇、焦点、双極子推定

1. 研究開始当初の背景

脳波や脳磁図を用いた非侵襲的な脳内の神経活動の推定は、術前の癲癇焦点部位推定のみならず、脳機能の解明に対する研究にも

重要な役割を果たしてきた。現在、癲癇焦点すなわち脳神経活動源推定には、多数のセンサーから得られるデータを基に活動源を電流双極子として近似し、逆問題を解く手法が広く用いられている。しかしながら、現状で

は、推定精度や解の不安定性から2点以下の活動源を仮定したものに限られる。これは、双極子数と共に増加する未知パラメータを伴う ill-posed 問題を解くことに起因する。電流双極子を設定するためには、その位置と向き（モーメント）を求める必要があり、仮定する双極子数の増加に伴い、未知パラメータ数は急増する。よって、安定的に解を求めるためには、何らかの付加情報が必要となる。そこで、我々は、双極子のモーメント情報を得るために拡散テンソル画像 (Diffusion Tensor Imaging: DTI) を用いることを着想した。なお、これまでの報告において、脳波の活動源推定において DTI を利用した研究論文は、見当たらない(Pubmed 検索)。

2. 研究の目的

我々は、水分子拡散の異方性を利用して神経束の方向を捉えることが可能であり、近年臨床において注目されている拡散テンソルイメージング (diffusion tensor imaging; DTI) に着目した。脳波や脳磁図の活動源として本体を成している抑制性と興奮性のシナプス電流の和は、神経線維に沿って流れると考えられるので、電流双極子推定に非常に役立つと判断した。これにより、双極子位置推定向上をさせることができるものと考え、研究を行った。

3. 研究の方法

脳神経活動の活動源推定は、頭蓋の導電率の低さゆえに侵襲的手法、すなわち頭蓋内に電極を設置して計測した電位分布を利用する方が精度は高いが、患者の負担も大きい。そこで非侵襲的手法による解析が望まれるが、ここでは頭皮上電位分布、すなわち脳波からの活動源推定を扱う。本研究で使用する電気双極子は脳波活動源、特に癲癇脳波のような局所的な活動源においてよく近似されることが知られている。

次に、本研究において、電流双極子を推定する手法について処理の流れを以下に示す。

(1) 頭部形状モデルを SPM(Statistical Parametric Mapping)ソフトウェアに備わっているセグメンテーション処理により頭皮、頭蓋、脊髄液領域を抽出し、3次元実形状モデルを作成した。なお、ここでは、頭皮上、頭蓋上、脳組織上にそれぞれ800点、900点、3000点の頂点を置き、三角形メッシュをそれぞれ1596個、1796個、5996個設定した。図1に3層の三角形境界を示す。緑色の境界が頭皮、青色の境界が頭蓋、赤色の境界が脳組織の表面を表している(図1)。頭部MR画像は、スライス間隔が0.94mm、1スライ

スが256×256pixelの画像データ273枚である。また、拡散テンソル画像はボクセルサイズが0.94×0.94×3.00mm、スライス厚が3.00mmであるデータ45枚である。MR画像のボクセルに1対1に対応させることで神経走行情報を得るため、補間処理を行ってスライス厚も0.94mmに統一した。

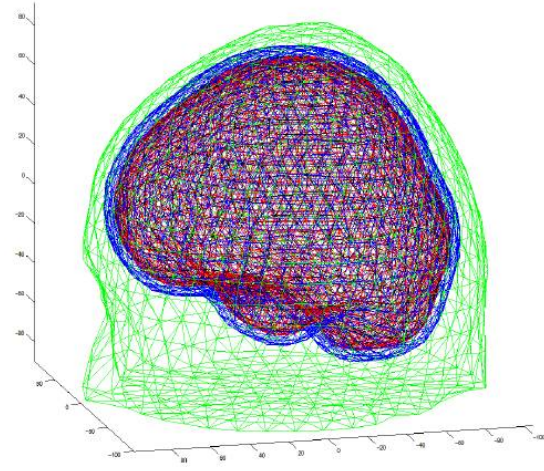


図1. 頭部形状モデル

(2) DTI画像より、脳内における神経走行情報を抽出する。(図2)

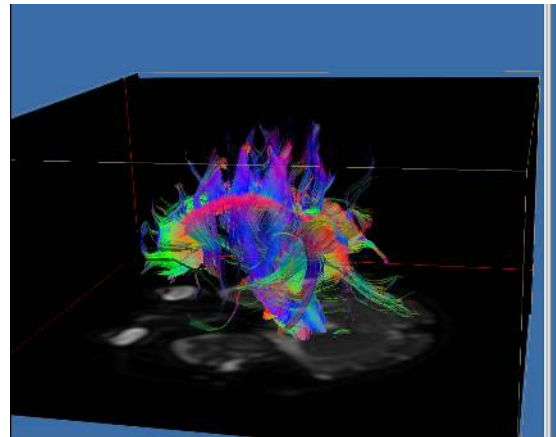


図2. DTI画像を用いた神経走行情報の抽出(DTI tractography)

(3) (1)で得られた頭部形状モデルを基に、境界要素法を用いて、任意の位置に電流双極子を設定した時に観測される頭皮上電位分布を計算する順問題を解く。この時、モーメント情報は、(2)で得られた神経走行の向きと一致させる。なお、導電率は、各領域内において一定であると仮定した。

(4) 頭皮上電位分布から、脳内の活動源を探索する逆問題を解く。任意の時刻における頭皮上電位分布において順問題により得られる電位分布の差が最小となるような活動

源パラメータを求める。

3. 研究成果

最初に、簡単なシミュレーションとし、双極子の向き情報を取得しなかった場合とした場合での頭皮上での電位誤差を調査した。図3の横軸は、双極子設置個数であり、縦軸は、双極子向きを考慮しなかった場合の誤差と考慮した場合の比を表している。すなわち、図の結果は、誤差比が1以上であるため、双極子の向き情報を DTI 画像により取得することで、誤差を減少させることができることを示している。ここでは双極子数が1～5個設定した場合について調査を行っているが、単一双極子のみならず、双極子数を増加させた場合であっても、DTI 画像情報は、双極子推定に有効であることが分かった。

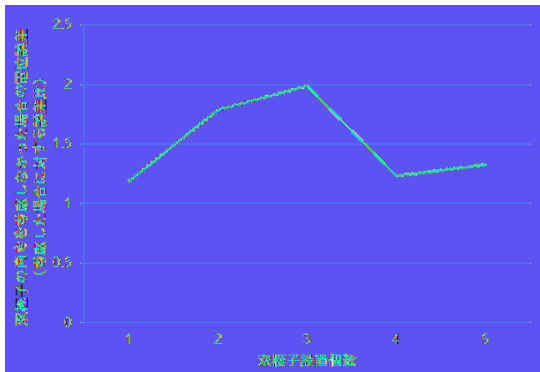


図3. 双極子設置個数に対する双極子の向きを考慮しなかった場合とした場合の誤差比

次に、実際に MRI 画像から頭部形状を抽出した後、それを用いて双極子推定を行った。ここでは、Tarailach 標準脳において定義される座標系を用いた。双極子の探索は、シンプレックス法を用いて双極子設定によって順問題を解くことによって得られる頭皮上電位分布が真の（計測により得られた）電位分布との差を目的関数として、その最小化問題を解くことにより行われる。また、探索開始点から点の移動が行われるたびにミリメートルの分解能で空間の座標を整数のボクセルインデックスに変換、すなわち画像中の対応するボクセルを算出し、その位置に対応した神経走行情報を取得する。しかしながら、モーメントの向きは明らかではないため、2種類の向きにおいて順問題により得られた電位分布ベクトルから、頭皮上電位分布との差を計算し、値が小さくなるほうの向きを採用する。

図4には、双極子探索開始位置と焦点位置間距離と推定誤差の関係を示している。図のように双極子探索開始位置と焦点位置間距離が増加するにつれ、推定誤差も増加してい

るのが分かる。探索開始位置が焦点位置から20mm以内であれば誤差も5mm程度に

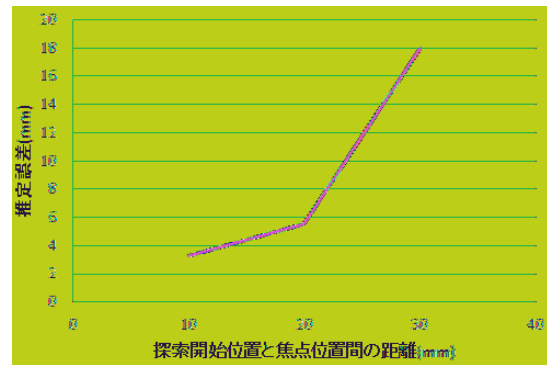


図4. 探索開始位置と焦点位置間距離と推定誤差

抑えられるが、それ以上離れた点からの探索では、推定誤差が急激に大きくなる結果であった。これは、焦点位置から遠い点を探索開始点に設定した場合、局所最小解に陥り、真の焦点位置に辿りつかないということを示している。

以上の結果より、双極子の向きを DTI 等により取得することにより、頭皮上の電位誤差は減少することは示され、双極子推定精度向上に繋がることは確認できた。しかし、実際の双極子位置探索においては、探索開始位置が推定精度に与える影響が大きく、予め焦点位置を類推することが必須であると考えられる。今後は、fMRI などにより、探索範囲を限局することで、推定精度向上を試みたい。

本研究では、焦点が限局されている癲癇をターゲットにしているが、本手法が確立すれば、脳内活動源分布の推定が可能となるため、認知や判断といった広がりを持つ脳神経活動の推定にも適用できる。よって、臨床診断や治療のみならず、今後の脳機能研究にも貢献できるものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① T.Fukami, T.Shimada, F.Ishikawa, B.Ishikawa, "Investigation into indices of aging and schizophrenia using the photic driving response", *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*, vol.9, no.10, 2013. (in press) (査読有)

〔学会発表〕(計2件)

- ① T.Umetsu, T.Fukami, K.Nemoto, K.Ishii, T.Asada, "Estimating temporal change of brain structure based on existence probability of

tissue” , *Proc. of International Forum on Medical Imaging in Asia 2012 (IFMIA 2012)*, 65, 2012.11.16-17. (Korea, Daejeon)

② T.Fukami, T.Shimada, F.Ishikawa, B.Ishikawa, Yoichi Saito, “Evaluation of Brain Aging by EEG Analysis of Photic Driving Response”, *Proc. of International Conference of Complex Medical Engineering*, pp.161-164, 2010.7.13-15. (Australia, Gold Coast)

[その他]

ホームページ

<http://eieweb.yz.yamagata-u.ac.jp/~fukami/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

深見 忠典 (FUKAMI TADANORI)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：70333987