

論文名：拡散強調画像の多変量解析による下歯槽神経の分画（要約）

新潟大学大学院医歯学総合研究科

氏名 須田 有紀子

【緒言】

末梢神経は神経血管束によって構成され、内在する組織間の微小循環により、神経線維を取り囲む環境の恒常性は保たれている。構成する組織のそれぞれの情報は神経機能総体の評価に有用となる。生体内の組織の水分子の拡散性は、組織の構造や機能的な特徴について情報を与える。拡散強調磁気共鳴画像 (diffusion-weighted magnetic resonance imaging: DWI) は末梢神経の水分子の拡散を計測可能である。DWI の拡散に対する感度は b 値 (b -value) で表され、2 つ以上の異なる b 値の DWI データにおける信号変化に信号モデルを当てはめることで、量的に見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient: ADC) が算出できる。信号モデルは一般に single exponential モデルが適用されるが、ボクセル内には複数の組織の拡散・灌流成分が含まれており、その厳密な信号モデルは定まっていない。我々は DWI データをモデルに依存しない方法で信号分離することで、神経の組織・機能的特性を反映した分画が得られると考えた。多変量解析の一つである独立成分分析 (independent component analysis: ICA) はブラインド信号源分離により DWI データから空間的に独立な成分とその信号成分に分離することができる。しかし ICA は統計学的に独立成分を複数分離するため、我々はその中から生体情報として有意な成分を抽出する必要がある。そこで同じく多変量解析のクラスタ解析を併用して独立成分を抽出し、得られた分画の生体情報としての意義を信号成分に含まれる信号減衰と分画の空間分布から解析し、検討した。

【目的】

三叉神経第三枝の枝である下歯槽神経血管束のヒト DWI データから、多変量解析により分画を求め、既存の解析および組織学的研究と比較、生体情報としての意義を検討する。

【方法】

正常被験者 13 名の下歯槽神経血管束の水平断 DWI データを、 b 値が $0-600 \text{ sec/mm}^2$ の 8 点でそれぞれ取得した。下歯槽神経血管束を関心領域に設定し、含まれる全ピクセルのそれぞれの信号値に対し、ICA では空間的に独立な成分 (IC) を分離した。有意な IC を抽出するため k-means クラスタリングで得られた 3 つのクラスタと空間的相関の高い 3 つの IC を抽出し下歯槽神経血管束の分画とした。これらの分画の評価として、速い ADC (ADC_f) と遅い ADC (ADC_s) の 2 つのコンパートメントを観測できる double exponential モデルによる解析との比較、分画の空間分布をヒト下歯槽神経血管束の組織学的研究と比較した。

【結果】

それぞれの被験者で信号減衰曲線が異なる 3 つの空間的に独立な分画を抽出することができた。全被験者の IC, クラスタを double exponential モデルと比較で、ADCf において、急峻な信号減衰を示すそれぞれ 1 つの IC とクラスタが、他の 2 つの IC とクラスタに比べて有意に大きかった。それぞれ残り 2 つの IC, クラスタ間には、ADCf と ADCs に関していずれも有意差は認めなかった。一方、それぞれの分画の空間分布では、double exponential モデルで有意差のなかった 2 つの分画が、有意に下歯槽神経血管束の上外側と下内側に分布した。これらの位置は、組織学的には神経支配領域が異なる神経小束が走行する部位に相当した。

【考察】

下歯槽神経血管束の DWI データに対し、ICA にクラスタ解析を併用することで、生体情報として意味のある分画を抽出することができた。本研究では DWI データで観察される「みかけの拡散係数」として含まれる成分に着目し、これを信号分離することで、神経の分画を求めマッピングできる可能性を示した。また、ICA で分離された複数の IC から有意な IC を抽出する方法に、もう一つの多変量解析の結果でフィルタリングする方法が下歯槽神経血管束の DWI データへ応用できることを明らかにした意義がある。得られた正常下歯槽神経の分画データは今後、神経の病的状態評価の基盤となりうるだろう。

本研究で得られた分画のうち、一つの分画は ADCf が有意に大きく、その値も水分子の自由拡散より大きいことから、灌流成分を強く反映した分画と示唆される。これは下歯槽神経血管束の血流とみられる微小循環によるものと推測された。残る 2 つの分画は下歯槽神経の神経小束であるオトガイ枝と切歯枝の空間的位置関係に類似していた。これらは double exponential モデルでは区別できなかったもので、本解析方法がより詳細にデータを分離できていたことを示している。

【結語】

ICA とクラスタリング解析を併用し、DWI データ内に混在する組織分画を分離・抽出できた。抽出した分画は、灌流成分の大きい 1 つの分画と、従来のモデルでは区別できないが、その空間分布で区別される 2 つの分画であった。DWI データの分画は、障害神経の評価のための基盤となりうる。