

学位研究紹介

発語におけるヒト1次運動野の半球特異性
Human Primary Motor Cortex Shows Hemispheric Specialization for Speech

新潟大学医歯学総合研究科
歯科侵襲管理学分野

照光 真

Division of Dental Anesthesia,
Niigata University Graduate School of Medical and
Dental Sciences

Makoto Terumitsu

【緒言】

言語機能に関する半球特異性は、ヒトの脳の著明な特徴である。発話の運動プログラミングを行なう機能が多くの場合、左半球の下前頭回に機能分化をしているように、言語優位半球の高次脳皮質での言語産生の神経機構が非優位半球に対し明瞭に区別できるならば、運動出力に関連した1次運動野(M1)が同様に発話のために半球特異性を持っていると仮定することができるだろう。多くの構音器官は左右両側のM1からの両側性運動支配を受けているものの、いくつかのこれまでの研究は言語産生に関してM1が半球特異性を持ちうる間接的な証明を行なっている。しかし、発話を構成する要素、すなわち発声、構音や呼吸など)のそれぞれの機能の半球特異性を直接的に示す証明は今もって行なわれていない。

本研究では、超高磁場(3.0T) fMRIデータを independent component-cross correlation-sequential epoch (ICS) 解析を行ない、M1内の発話に関連した領域の空間分布の左右半球の相違を検索した。

【対象と方法】

右利きの健康な被験者13人が、以下に示す3種類の運動課題を行なった。[T] 発声を伴わない舌による構音(シラブル/ラ-レ-リ-ル-レ-ロ-ラ-ロ/を声を出さずに、舌の運動のみ)、[P] 舌の運動を伴わない発声(母音/エ/を発声)、[V] 発声と舌による構音(シラブル/ラ-レ-リ-ル-レ-ロ-ラ-ロ/を声に出す)。そ

れぞれの課題は30秒づつ遂行され、r-T-P-V-r-T-P-V-rの順に連続して行なった。なお、rはrest: 何もしないコントロールの状態を示す。(図1A)

fMRIデータは、Signa 3.0 Tesla (GE Medical System)を用いて以下のパラメータで gradient echo-planar 法により撮影を行なった。FOV 20 × 20cm, matrix 64 × 64, slice thickness 5 mm, slice gap 2.5mm, TR 1000ms, TE 30ms, flip angle 70degrees。1つの撮影スラブは、4スライスより構成され、磁場の均一性を保つため厚さを30mm以下に制限した。空間解像度は約3 × 3 × 5 mmである。

得られた各被験者のfMRI時系列データは、まずICS解析の最初の段階である独立成分分析(ICA)が64-CPUスーパーコンピュータ(SGI Origin 2000)により行なわれ、暗号信号源分離(blind separation)された結果、空間的に独立した270の成分が抽出された。次に、これらの成分から生理学的に意味のある成分を選択するため、6秒遅延のboxcar型による3種類の仮説関数と、各成分の持つ時系列変化とを相互相関解析(cc > 0.55)にかけ、空間的に独立な、3種類の機能的に区別された成分を分離した。(図1B) すなわちM1t: 声を伴わない構音(T, Vに共通してfMRI信号が増大)、M1p: 発声(P, Vに共通)、M1v: 発話運動(T, P, Vに共通)の機能に関する成分の空間分布がM1内に同定された。

さらに、これらの独立成分を空間的に標準化し、全被験者の成分を共通のMontreal Neurological Institute's template (MNI152)上にプロットした。(図2) それぞれの機能に関する成分のx, y, zの座標値の3元デー

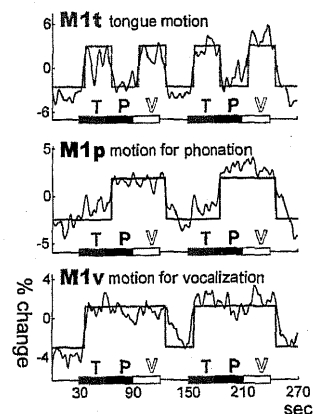


図1 ある成分のfMRI信号の時系列変化と3種類(M1t, M1p, M1v)の仮説関数。縦軸が信号の変化率、横軸は時間とそれぞれの課題を表す。

タをクラスター解析 (Ward 法, k-means 法) により左右半球間での空間分布の違いを比較した。

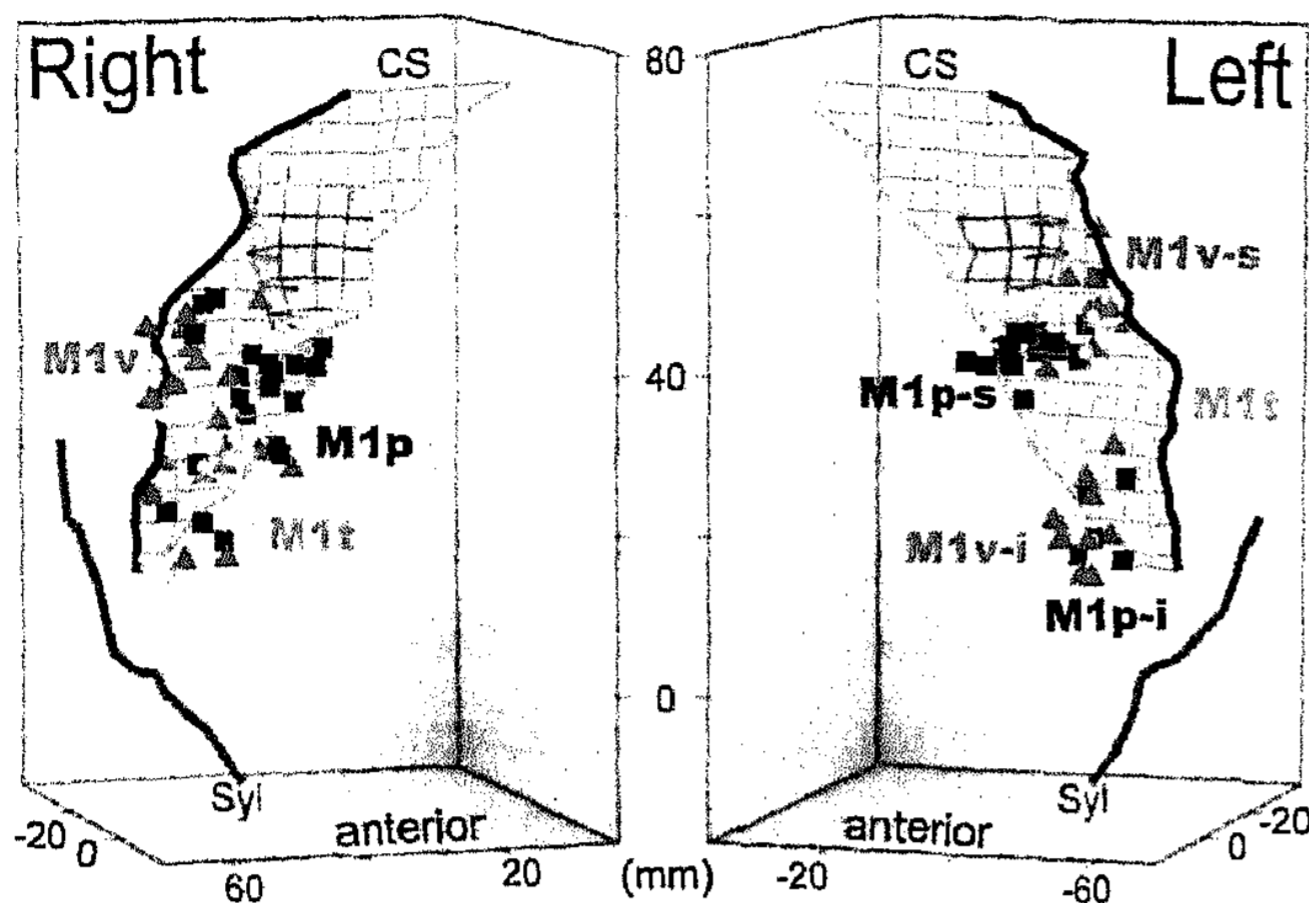


図2 fMRI データの ICS 解析によって得られた 13 人の被験者の独立成分を標準脳にプロットした。○: M1t (構音に関する音声を伴わない舌運動), □: M1p (発声), △: M1v (発語)。M1^s, M1ⁱ は、それぞれ superior, inferior を示す。CS は central sulcus, Syl は Sylvian fissure, 淡い灰色の楕円は手の運動領域を表わす。M1t の左右半球での対称的な分布に対して, M1p と M1v は左右非対称な空間分布がみられ, さらに左 M1 ではそれぞれ, 上下にクラスターが細分化していた。

【結 果】

M1 内に同定された 3 種類の成分は中心溝の解剖学的指標として用いられる手のノブ (手の運動感覚に関する領域) から 1 次運動野の下端に分布していた。M1t は左右半球にそれぞれひとつのクラスターを形成し, 対称な空間分布を示したものの, M1p と M1v は左右半球間で有意に異なる非対称な分布となった (図 2)。図 3 に階層的クラスター解析手法である Ward 法による結果を示す。非階層的手法の k-means 法においても同一のクラスター分類結果となり, 左右半球間で異なったクラスター化が明らかになった。左半球では, M1p と M1v の独立成分は, それぞれ明瞭な上下に 2 つのクラスターを形成したが, 右半球では明瞭なクラスターの細

分化はみられなかった。上下に分離した左半球の M1p と M1v のクラスター重心間距離は, それぞれ 31mm, 26mm であった。

【考 察】

この研究の成果は, ICS 解析によるところが大きい。ICS 解析の中の独立成分分析 (ICA) は, 多変量のデータから隠された成分を見つけ出すための新しい信号処理手法で, 主成分分析や因子分析の拡張とみなすことができるが, より高次元な統計量を扱うため ICA は, 従来の手法よりも強力な探索的解析方法である。しかし, 得られた独立成分から生理学的に意味のある成分を抽出する問題が残っている。これを解決するため, 複数の課題を連続して行い, 仮説関数との相互相関係数をとる方法が行なわれた。これらにより, 空間的に独立な, 機能的に区別された成分を M1 内に明瞭に求めることが可能であった。

M1 内のそれぞれの成分の空間分布について, まず音声を伴わない舌運動に関する M1t の左右対称的な空間分布は, 舌運動に関する球筋の両側性運動支配に起因すると考えられる。一方, M1p と M1v の非対称な空間分布は音声化に関連した課題に起因するものと推測される。さらに左 M1 で上下にクラスターが細分化していることは, そのクラスター間距離が足と手の運動に関する領域間距離である約 22mm をさらに上回っていることから, 上下に分離したクラスターがさらに分化した独立な機能を持つことを示唆している。これらは, 左右の M1 が発語に対し異なった役割を持ち, より高度な半球特異性を示す左 M1 が, 優位な役割を果たしていると思われる。

本研究は発語の中の音声に関する M1 が, 左右半球間で異なった半球特異性を持ち, 言語の優位半球にある左 M1 が高度な半球特性を示す直接的な証明行なった。

これらの所見は, 正常な発話の運動コントロールの神経機構へ新たな知見を加えるとともに, 発話の運動障害の診断, 治療への基盤となりうるであろう。

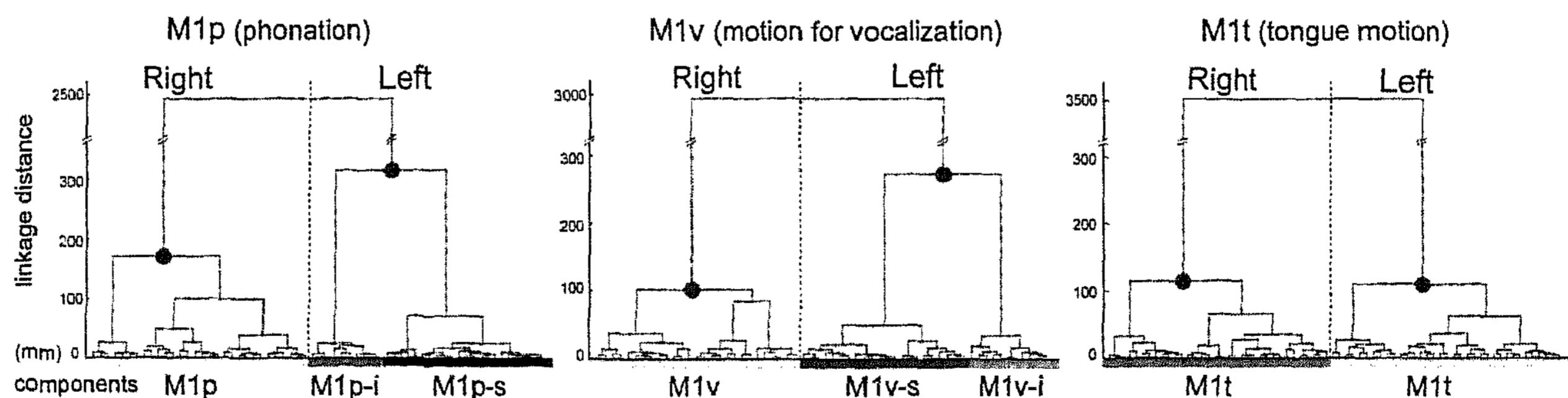


図3 クラスター分析 (Ward 法) による樹状図。2 つのクラスターが形成される段階 (丸印) における結合間距離は M1p と M1v とともに, 左 M1 の方が大きく M1t では左右差がない。これは左 M1 で, M1p と M1v とともに, 空間的に分離した 2 つのクラスターが存在することを意味する。横軸は各成分とクラスター, 縦軸は結合間距離 (クラスター内の成分間距離の和) を示す。