



3. fMRI/VBM

— 臨床応用への展望と課題

福永 雅喜 自然科学研究機構生理学研究所

functional MRI (fMRI) と voxel based morphometry (VBM) は、MRIを用いて脳の活動状態と解剖構造の変化を描出する手法である(表1)。一般的な臨床装置にて収集した画像に統計学的画像処理を行い有意な変化をとらえる。両手法は、基礎および臨床神経科学研究に広く応用され、数多くの報告があるが、臨床診療の観点では、適用が進んでいるとは言えない。本稿では、fMRIとVBM(に類する脳構造解析法)について、臨床応用への展開を念頭に概説したい。

fMRI

1. fMRIの原理と計測法

fMRIとして利用されるMRI撮像法には、いくつかのバリエーションがある。最も広く利用されるのがblood oxygenation level dependent (BOLD) 法¹⁾

で、脳活動に伴う血行動態変化を、磁化率効果を介してT2*強調画像にてとらえる。脳活動の上昇は局所の酸素消費、つまり酸素代謝率(cerebral metabolic rate of O₂: CMRO₂)の上昇を招くが、これを代償するために脳血流量(cerebral blood flow: CBF)も上昇する。生体内での酸素運搬の主体は、血中のヘモグロビン(Hb)であるが、CMRO₂上昇に対してCBF増加が著しいため、酸素消費により増加する還元型Hb(deoxy-Hb)よりも、CBF増加に伴う酸化型Hb(oxy-Hb)の流入が大きくなり、deoxy-Hbの相対的濃度は脳賦活に伴い低下する。deoxy-Hbは常磁性、oxy-Hbは反磁性を示すが、常磁性物質は局所磁場を乱すため、不均一磁場に敏感なT2*強調画像を用いることで、deoxy-Hb変化の検出が可能となる。脳賦活状態では、非賦活状態と比較して相対的なdeoxy-Hb濃度が低下するため、MRIの信号強度は

上昇する²⁾。このように、BOLD法によるfMRIでは、その原理から、神経活動を間接的にとらえることに留意が必要である。また、非生理的環境(病理的状态)では、正常なneuro-vascular couplingが担保されないことにも注意を要する。

BOLD法は、血流量・血液量と血中Hbの磁性を複合したMRI信号として検出する。これらを分離観測することで、信号変化の要因をより厳密に規定するのが脳灌流MRI(perfusion MRI)によるfMRIである。CBFを対象とするarterial spin labeling (ASL)法と脳血液量(cerebral blood volume: CBV)を対象とするvascular space occupancy (VASO)法がfMRIに応用される。ASLは、動脈血を磁氣的にラベルすることで、流入する動脈血を画像化する³⁾。pCASL(pseudo continuous ASL)による全脳計測や、定量的計測への応用が期待されるが、画像感度が低いことに

表1 fMRIとVBMの特徴と問題点

● fMRI	
特徴	問題点
非侵襲性 特殊な装置を必要としない(臨床用装置で実施可) 脳の解剖構造と機能情報の収集が単一装置にて可能 DTI, ASL, MRSなどの併用にて多様な生理情報の収集が可能 動物による前臨床研究から臨床まで同一手法の応用が可能	非定量性 neurovascular coupling(血行動態を介した間接的観測) 体動に鋭敏 不均一磁場に由来する歪みや信号欠損が顕著 一般的に、課題遂行の繰り返しが必要(低感度)
● VBM	
特徴	問題点
非侵襲性 全脳を対象としたin vivoイメージング手法として高い空間分解能 反復測定が容易(縦断研究への応用) 撮像プロトコルの標準化が容易(多施設研究への応用)	灰白質、白質、CSFなどへのセグメンテーション結果に強く依存 個々の装置特性の影響(傾斜磁場の非線形性に由来する歪みなど)