

論文の内容の要旨

論文題目 Changes in brain activity related to reading in the left and right visual fields studied with event-related fMRI

和訳 事象関連 fMRI を用いた左右片視野における音読時の脳内活動の変化に関する研究

指導教官 杉下守弘 教授

東京大学大学院医学系研究科

平成10年4月入学

医学博士課程

脳神経医学専攻

氏名 大村 一史

目的

分離脳研究や片側脳損傷例の研究から左右半球のうち左半球が主に音読機能を司っていることが明らかにされている。しかし、左右片視野への視覚刺激提示に対する左あるいは右半球内の音読のメカニズムは不明で、臨床例の研究から推定が行われているだけであった。左視野(右半球)に文字を提示し音読を行う際、入力された刺激は、右半球内の視覚連合野まで処理され、その後左半球の視覚連合野に伝達されるのか、あるいは右半球の側頭葉後下部(Broadmann の第 37 野)で処理された後に左半球へ至るのかといった脳内処理過程は明らかにされていない。また右視野(左半球)に刺激が提示されると、左半球のみで処理が行われ右半球では何も行われぬのか、処理が行われるとすればどのような脳内活動が起きるのかも明らかではない。これらの問題を明らかにするためには、左あるいは右視野にランダムに刺激を瞬間的に提示し、その音読の際の脳内活動を測定する必要がある。そのため本研究では、脳内の活動を非侵襲的かつ優れた時間的・空間的分解能で測定することが可能な事象関連機能的磁気共鳴画像法(event-related fMRI)を用い、健常者を対象にした左右片視野への視覚刺激の瞬間露出法により左右大脳半球における音読の脳内メカニズムを検討することを目的とした。日本語には漢字とかなの2つの文字体系が存在するため、音読の言語刺激として両者を採用し、漢字とかなの文字体系による音読の脳内メカニズムの差も合わせて検討した。

方法

被験者 右利きの健常者 21 名（男性 10 名、女性 11 名、18-38 歳、平均年齢 23.5 歳）。職業は大学生または大学院生であった。十分な説明を行い、書面による同意を得た。

課題 視覚刺激として小学校 1、2 年次に習得する 2 音節の漢字単語 1 文字およびその漢字に対応した 2 音節のかな単語 2 文字(32 単語)を用意し、以下の 3 つの実験条件を実施した(図 1 参照)。刺激単語は音読の難易度が可能な限り等質になるように選定した。漢字条件：左半球(右視野)または右半球(左視野)への 2 音節の漢字単語 1 文字の瞬間提示、かな条件：左半球(右視野)または右半球(左視野)への 2 音節のかな単語 2 文字の瞬間提示、固視点条件：画面中央の固視点注視。漢字およびかな条件の時間は 40 秒、固視点条件の時間は 20 秒で、漢字条件およびかな条件の前には必ず固視点条件が対照条件として用意された。漢字条件およびかな条件はそれぞれランダムに 4 回繰り返された。1 回の条件内で提示される刺激数はともに 16 単語で、左右の視野へは 1 対 1 の割合で配分された。漢字かな両刺激は固視点の左右ランダムに視角 2.5° 、一文字あたり 1° の大きさと瞬間露出された(刺激提示時間 = 150 msec、SOA = 2500 msec)。すべての被験者は event-related fMRI 実験を行う前に、固視点を注視したまま左右にランダムに瞬間露出される文字を読む練習を十分に行い、行動テストにより各個人の漢字およびかなの音読成績が記録された。event-related fMRI 実験中、被験者は MRI 装置内で仰向けに固定され、液晶プロジェクタによりスクリーン上に投影される刺激を、固視点を注視したまま心の中で音読するように教示された。実験刺激は撮像に合わせて MRI 装置から発生される信号に同期させてスクリーンに提示された。

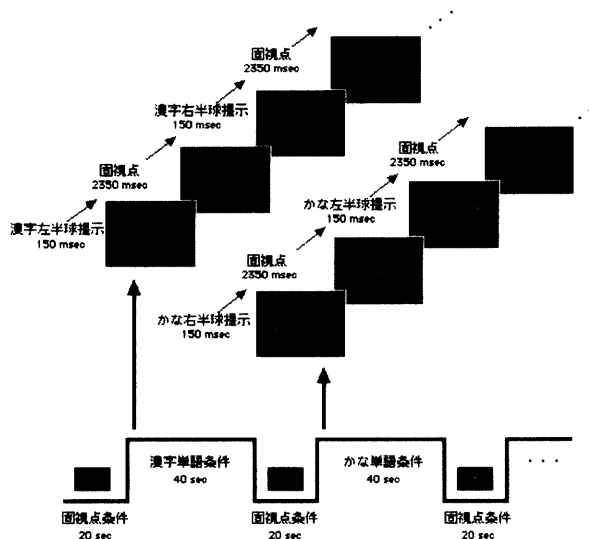


図 1. 実験デザイン

固視点条件 20 sec、漢字単語条件 40 sec、かな単語条件 40 sec、固視点条件 20 sec、固視点条件 20 sec、固視点条件 20 sec、...

fMRI 撮像 GE 社製 SIGNA Echospeed 1.5T CV/NV を使用。fMRI の時系列データとして、ボクセルサイズ $3.75 \times 3.75 \times 8$ mm の T2*強調画像を水平断で 18 スライスずつ全脳をカバーし、TE = 50 msec、TR = 2 sec の gradient EPI 法を用いて、1 スライスにつき 248 time point 撮像した。EPI データの撮像の前に、脳の標準化に用いる T1 強調画像をボクセルサイズ $0.94 \times 0.94 \times 1.3$ mm の水平断で全脳にわたって撮像した。

データ解析 ソフトウェア SPM99 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK) を使用。動き補正、時間方向の補正、T1 強調像と T2*強調像の coregistration、Talairach 空間への標準化、半値幅 8mm の Gaussian filter による平滑化の後、一般線形モデル(GLM: General Linear

Model)を用いて、母集団推定を行う random effect model による解析を行った。「漢字左半球提示－固視点」、「漢字右半球提示－固視点」、「かな左半球提示－固視点」、「かな右半球提示－固視点」の4つの対比および刺激提示半球による差異(「左半球提示－固視点」、「右半球提示－固視点」、両者の直接比較)を検討した。本分析では統計処理における有意水準を $p < 0.001$ (多重比較なし、4 ボクセル以上)に設定した。有意な活動が見られた関心領域に対して個人ごとの事象関連脳血流反応を平均し、刺激に対する脳血流反応を検討した。

結果

fMRI 実験前の行動テストの成績において被験者内 2 要因分散分析(文字×半球)を行ったところ、漢字かなの文字差、左右の半球差および両者の交互作用のいずれも有意ではなかった。音読の正答率は一例を除きすべて 90%以上であった。event-related fMRI における「漢字左半球提示－固視点」、「漢字右半球提示－固視点」、「かな左半球提示－固視点」、「かな右半球提示－固視点」の4つの対比を行ったところ、左半球提示における漢字とかなの比較および右半球提示における漢字とかなの比較では文字の違いによる賦活部位に明確な差は見られなかった。漢字とかなの文字体系による差が認められなかったため、続く分析では漢字とかなを同質の刺激と見なして分析を行った。

左半球提示に対しては左後頭側頭溝後部、左舌状回、左下前頭回および左中前頭回の後部と左中心前回中部との結合部、左右の頭頂間溝前部、帯状溝後部の活動が認められ、右半球提示では左右の後頭側頭溝後部と右舌状回、左右の下前頭回および中前頭回の後部と中心前回中部との結合部、左右の頭頂間溝前部、帯状溝後部の活動が明確に認められた(図 2 参照)。左半球あるいは右半球提示に対して、左後頭側頭溝後部、左下前頭回および左中前頭回の後部と左中心前回中部との結合部、および両側頭頂間溝前部には共通した賦活が見られたが、右半球提示の場合にのみ、右後頭側頭溝後部、右下前頭回および右中前頭回の後部と右中心前回中部との結合部の活動が顕著に表れた。左半球提示および右半球提示のそれぞれに対して、左右の後頭側頭溝後部、左右の頭頂間溝前部、左右の下前頭回および中前頭回の後部と中心前回中部との結合部における脳内活動の変化を比較するために事象関連脳血流反応を時系列的にプロットした。左半球提示ではこのすべての部位において左半球の活動が右半球の活動より大きく、事象関連脳血流反応のピーク潜時が、左後頭側頭溝後部では約 5 秒、両側頭頂間溝前部、左下前頭回および左中前頭回の後部と左中心前回中部との結合部では約 6 秒であった。右半球提示では両半球とも同程度の大きさの反応が確認された。しかし、右半球提示の場合、事象関連脳血流反応のピーク潜時が右後頭側頭溝後部では約 5 秒であったが、左後頭側頭溝後部では約 6 秒であった。同様に右頭頂間溝前部、右下前頭回および右中前頭回の後部と右中心前回中部との結合部の反応のピーク潜時は約 6 秒であったが、左頭頂間溝前部、左下前頭回および左中前頭回の後部と左中心前回中部との結合部では約 7 秒であった。

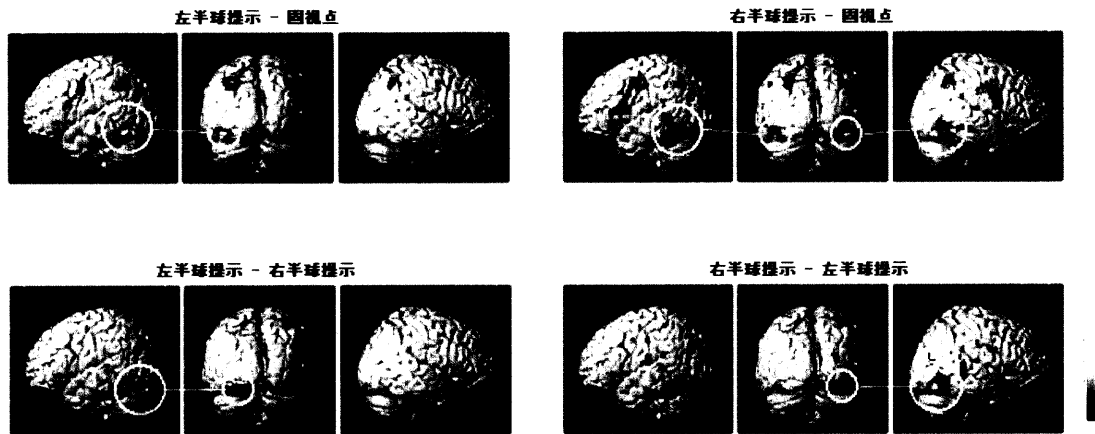


図 2. 左右大脳半球への刺激提示による脳内活動

考察

左右片視野提示に対する大脳半球の活動に左右差が認められた。左半球(右視野)提示の場合は後頭側頭溝後部、下前頭回および中前頭回後部と中心前回中部との結合部の活動は左半球内に限定された。しかし、右半球(左視野)提示では左半球だけでなく、右後頭側頭溝後部、右下前頭回および右中前頭回後部と右中心前回中部との結合部も活動し、右半球も音読に関わっていることが確認された。すべての条件で共通して賦活が見られた左後頭側頭溝後部、左下前頭回および左中前頭回後部と左中心前回中部との結合部、左頭頂間溝前部は文字の音読に必要な部位と考えられる。右視野に入力された刺激は、直接左半球で処理されるため、右半球が抑制され、右半球が関与せず左半球内のみで文字の音読が達成される。これに対して、左視野に入力された視覚刺激は、右半球の視覚領野から右後頭側頭溝後部へ伝達され、その後右頭頂間溝前部や、右下前頭回および右中前頭回後部と右中心前回中部との結合部に伝えられると共に、脳梁膨大部を通り左後頭側頭溝後部へと伝えられる可能性が示唆される。右半球提示における後頭側頭溝後部の事象関連脳血流反応のピーク潜時は、左後頭側頭溝後部に比べ、右後頭側頭溝後部の方が1秒ほど早かった。左視野(右半球)から入力された刺激の視覚情報が左半球に伝達される前に、右後頭側頭溝後部においてもある程度の初期段階の視覚的文字処理が施され、その後で文字処理に重要とされる左後頭側頭溝後部に伝達されるために、このような事象関連脳血流反応の時間的な差が見られたのかもしれない。両半球ともに、後頭側頭溝後部から頭頂間溝前部への情報伝達は頭頂間溝前部から下前頭回および中前頭回後部と中心前回中部との結合部への情報伝達よりも遅いという可能性も象関連脳血流反応から窺える。

漢字およびかなの音読においては賦活された脳部位に違いが見られなかった。漢字かなの音読には解剖学的な差がないという今回の実験結果は、実験刺激を十分に吟味した上で脳損傷例を詳細に分析した先行研究(Sugishita et al., *Brain* 115, 1563-1585, 1992)に一致する。漢字およびかなの音読に関する脳内処理過程の差異は、漢字かなの文字差というよりはむしろ実験刺激の音読の難易度や日常生活での使用頻度、文字形態の複雑さ等を反映している可能性が考えられる。