

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K15344

研究課題名（和文）経頭蓋直流電気刺激による道具の認知能力向上の可能性とその神経メカニズムの検討

研究課題名（英文）Investigation into possible cognitive enhancement of tool recognition by transcranial direct current stimulation (tDCS) and its neural mechanism

研究代表者

石橋 遼 (ISHIBASHI, Ryo)

東北大学・加齢医学研究所・助教

研究者番号：90750266

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：多様な道具を使用できることはヒトの際立った機能であるが、その神経基盤には未だに明らかでない点が残る。研究代表者のこれまでの研究から、ヒト脳では道具の「操作」と道具使用の「目的」は別々の脳部位で表象されていると示唆されている。本研究ではこの道具使用の二側面が脳内で独立して表象されていることを検証するため、近年認知神経科学的研究で盛んに用いられる表象類似度解析を道具認識中の脳活動に対して行った。その結果、文化の違いに関わらず、道具使用の「目的」は「操作」の情報とは独立に側頭前部領域に表象されていることが示された。本研究によって当該脳領域で道具の高次な情報表現がなされていることが初めて実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

認知機能障害として起こりうる現象の一つに、運動や感覚に重大な障害がないにもかかわらず日常生活の行為ができなくなるという症状がある。症状のパリエーションは責任病巣の違いに起因すると考えられるが、道具の意味的側面に関する障害の責任病巣と目される側頭前部領域については、脳機能イメージングによる認知機能特定が困難な部位であるため臨床研究と基礎研究の対応付けが難しい状況にあった。本研究で用いた撮像法・分析法により、両者の対応はより明確に検討できるようになった。またこの成果に基づいて、日常行為の障害として道具使用に困難がある場合に機能回復や症状進行の軽減を目指す脳刺激法を開発することも可能になった。

研究成果の概要（英文）：Capability of using various tools is a discriminating feature of human being. However, the neural basis of this ability is still under investigations. My previous studies indicated that 'manipulation' of tools and 'function' of tool (i.e. purpose of the tool use) are represented independently in different parts of the human brain. In the current study, I examined which brain regions represent such different types of tool information during human tool recognition by applying the representational similarity analysis (RSA) to the brain activation data obtained with fMRI. The results showed that the 'function' of a tool is represented in the anterior temporal lobe while 'manipulation' of tools in superior parietal lobule. The former finding is confirmed in both British and Japanese young adults, through two experiments. This study demonstrates that the activation patterns in bilateral anterior temporal lobes involves the higher-order semantic representation of tool concepts.

研究分野：実験心理学

キーワード：道具使用 意味認知 表象類似度解析

1. 研究開始当初の背景

本研究は経頭蓋直流電流刺激(**tDCS**)が脳の皮質活動を促進して道具の認知使用能力を向上させる可能性に着目し、この事実を実験で確かめると同時にそのメカニズムを機能的磁気共鳴画像法(**fMRI**)とそのデータの分析手法の一種である表象類似度解析(**RSA**)を用いて検討することを当初の研究目的とした。**tDCS**は頭蓋上に設置した電極を通じて微弱な電流を任意の脳部位に適用することにより、該当電極直下の皮質部位の活動を一時的に増大あるいは減少させる手法である。申請者らの直近の研究で、この手法を用いることにより日常的に使用する道具(はさみ、ペン、カップ等)の機能や操作方法の認知が向上することが示されている。これは脳内においては単なる皮質活動全体の増大ということだけではなく該当する機能・操作表象の神経表現が精緻化することにより達成されているのではないかと考えた。そこで本研究では**tDCS**を適用する前後で、課題遂行中の脳活動を**fMRI**を用いて観測し、その神経表象の精緻度の変化を検証することを最終目標とした。

2. 研究の目的

本研究ではまず表象類似度解析(**RSA**)で実際に道具に関する「機能」や「操作」などの意味的情報表現を行っている脳部位を安定して検出できることが前提となる。過去に代表者が英国内で試みた**fMRI**実験のデータでは検出力の不足が疑われたが、分析手法の改善の可能性も示されていた。道具の意味表象情報を脳活動から検出する方法が重要となるため、まず**RSA**を用いて道具の「機能」「操作」情報の表現を行っている領域を検出する手法の確立を目指した。

3. 研究の方法

材料：側頭葉の変性により意味認知に障害を持つ患者らの道具認知・使用能力を検討した**Bozeatら(2002)**を参考に**90**個の道具(事務用品や、工具、調理用具など)の写真を収集して使用した。

以下の**3**種類の方法を組み合わせ用いた

- 1)** 道具の親近性(**familiarity**)指標を用い、十分によく知られている道具(リッカート尺度上で「**1**全く知らない」~「**5**よく知っている」の**5**段階の評定で平均**4**以上)を見たときの神経活動のデータのみを分析対象とする。
- 2)** これまでに使用していた道具の機械的機能(「ものを切る」「物体を固定する」「微小な物体を動かす」など)にくわえ、より高次の「機能」表現のモデルとなる道具使用状況(「料理」「工作」「掃除」など)に基づいた機能の意味的類似度行列を確立する。
- 3)** これまでに採用していた**2**段階の線形モデル(個人の脳データ解析 その結果を用いて全員の脳データを解析)ではなく混合効果モデル(**linear mixed-effect model**)を用いて一度に分析対象全員の脳活動データから、一貫して特定の意味情報を示すと考えられる脳領域を推定した。

上記**3**点に加え、対象とする脳活動データとして**2**種類を用いた。一つには申請者が過去に英国内の被験者を対象として取得した**fMRI**データ(**22**名分)を用いた。さらに本研究期間中に日本国内において同じ写真刺激・**MRI**撮像手法を用いて**18**名分のデータを用いた。本報告書では英国での取得データについて上述**1),2)**についての結果を報告する。また、日本国内(東北大学脳**MRI**センター)において新規に取得したデータについて**1)**の結果を報告する。

4. 研究成果

探索的に検討を行うため、脳内の**3mm × 3mm × 3mm**の各分析単位(ボクセル)において統計的検定の基準として第一種過誤の危険率 $\alpha = 0.05$ を一貫して用いた。まず英国における取得済みデータ(**N=22**)について、**1)**および**2)**の修正を行った分析結果を図**1**に示す。十分な親近性を持つ道具刺激の数は**68**個であった。意味表象類似度のモデルとしては「機械的な機能(**mechanical function**)」「状況的な機能(**contextual function**)」「操作(**manipulation**)」に加え、それぞれの道具の物理的構造の特徴(ハンドルの形状、重さ、堅さ、**T**字状構造の有無、回転するパーツの有無など)に基づいた「道具の**3**次元構造の特徴(**structure**)」の**4**種類を使用した。結果として、機械的機能(どのような機械的用途で使うか)と状況的機能(どのような状況で使うか)の両方が左右の側頭葉の前方部分において、脳活動パターンとの対応を持つことが示された。すなわち、道具の機能が(機械的な意味でも状況的な意味でも)似ている道具を見ている時の脳活動は、これらの脳部位で脳活動パターンとして類似していることが分かった。これに対して「操作(**action**)」の類似度と対応する脳活動パターンを示したのは左右の上

頭頂小葉近辺の領域であった。これらの結果はこれまでの研究の示唆するところと良く合致し、上頭頂小葉と前側頭葉とで道具の異なる意味情報が実際に「表象されている」ことが示されたと言える。

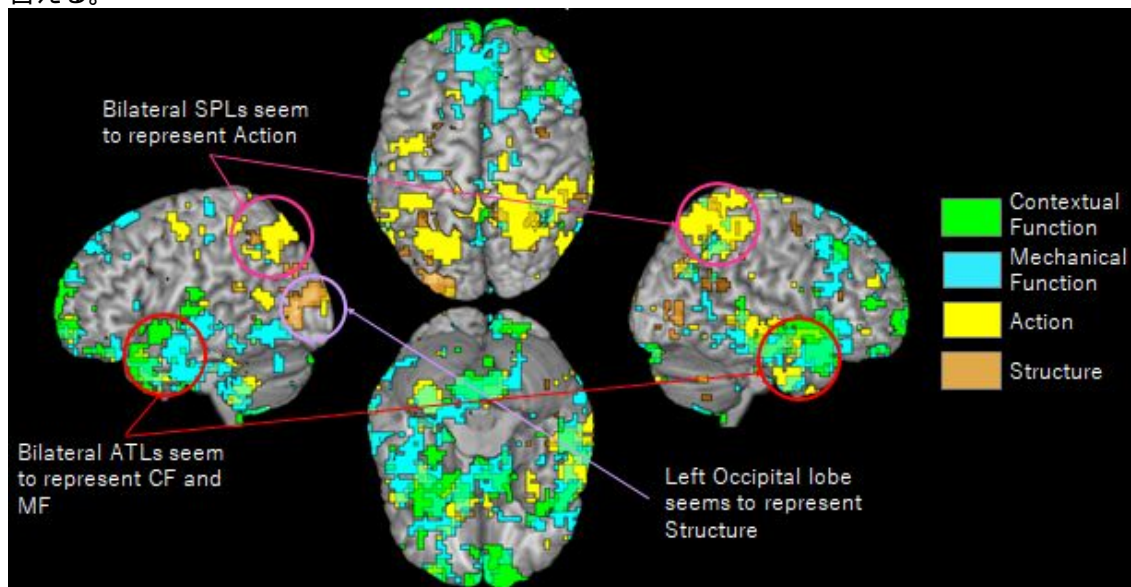


図 1. 英国 Manchester 大学における学生 22 名を対象とした道具の意味表象類似度解析結果

また、解剖学的に定義された上頭頂小葉、前側頭葉に領域を絞り、当該領域内のボクセル群において 4 つの意味的類似度モデルのそれぞれについての平均的表象類似度を算出し、モデル間で比較を行った。結果を図 2,3 にしめす。

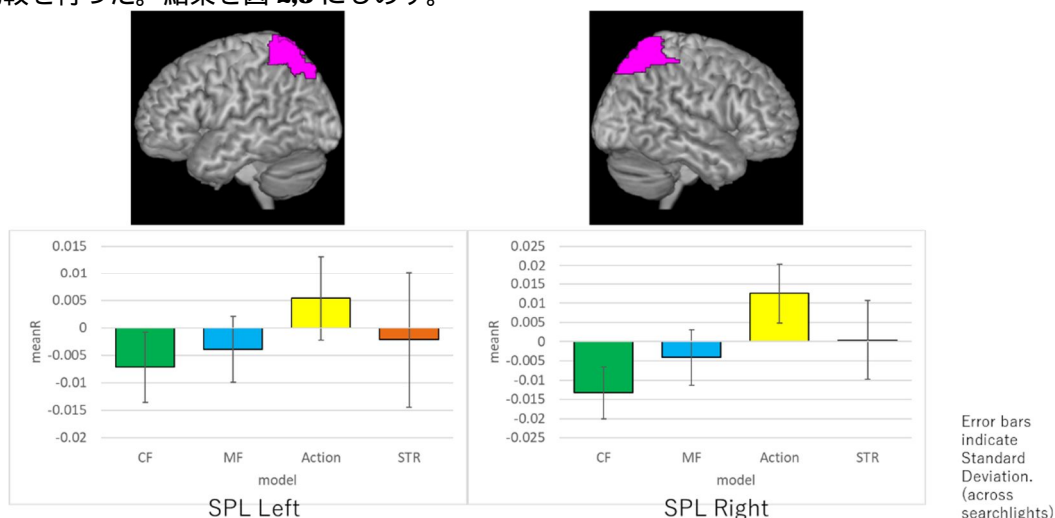


図 2. 左右の上頭頂小葉における、4 つのモデルとの表象類似度の比較

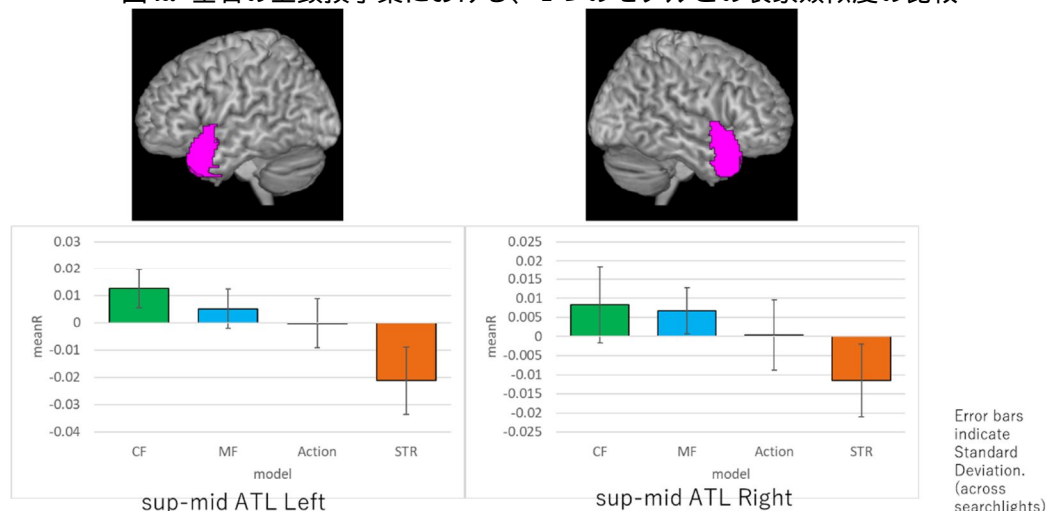
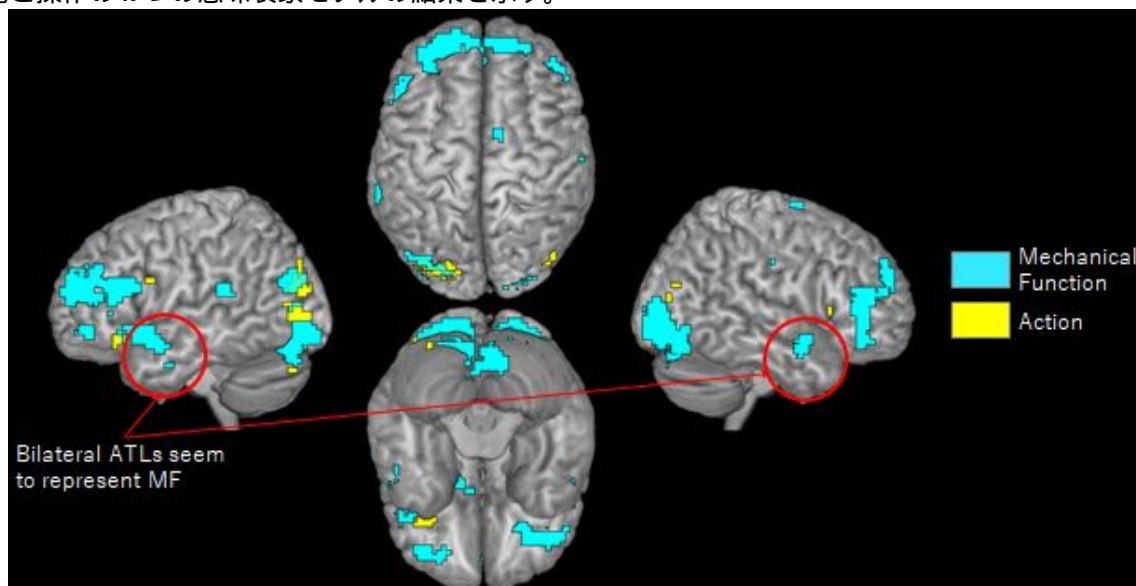


図 3. 左右の上頭頂小葉における、4 つのモデルとの表象類似度の比較

結果として上頭頂小葉では左右どちらにおいても操作(Action)の意味表象モデルと脳活動パ

タンの類似度が高く、前側頭葉においては機械的・状況的機能のモデルとの類似度が高いという結果となった。したがって図 1 に示した探索的な検討の結果を裏付けるものであった。

さらに、本補助期間中に日本国内で英国内実験と同じ写真刺激を用いて取得した **fMRI** 実験の結果について、図 4 に示す。十分な親近性を持つ道具刺激の数は **59** 個であった。このデータにおいては本報告書の時点でまだ状況的機能についての結果が得られてはいないため、機械的機能と操作の 2 つの意味表象モデルの結果を示す。



結果として機械的機能に対応する脳活動パターンを示す領域の中にやはり左右の前側頭葉が含まれることが明らかとなった。領域の広がりや英国データと比べると小さく、また「操作」に関しては頭頂葉の領域が検出できなかった。これらは今回の国内実験における被験者数が英国におけるデータと比べると少ないことや、十分な親近性を持つ道具の数が若干少ないことが影響しているとみられる。しかしながらよく知られた道具の意味表象に着目した時、文化差を超えて同様の脳領域が道具の「機能」という高次の意味表象を表現している可能性が本研究によってはじめて明らかに示されたと考える。

以上の結果は通文化的な道具認知・使用の神経基盤に関する認知神経科学的証拠として国際的に報告する価値があると考えており、国際学会における発表・英文の国際的学術誌における論文公表を現在準備中である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------