

道具を操作する手の構えの神経基盤[大会長賞記録]

大神 優子¹, 松尾香弥子², 内田 伸子¹, 中井 敏晴²

¹お茶の水女子大学人間文化研究科

²国立長寿医療センター研究所長寿医療工学研究部脳機能画像開発研究室

はじめに

失行症の患者において、見せられた道具を使おうとするとうまく持てないが、単なるリーチングでなら同じ道具を適切に持てるという症状が報告されている¹⁾。このような症状は、視覚認知内容と道具を使用する運動企図の関連付けの障害と言える。実際の道具を持たずに道具を操作する「ふり」をするパントマイムは、道具の使用法を想起する過程であり、複数の認知・運動過程から構成される。このときの手の構えや動作は、持っているはずの道具がないために無意味で複雑なものとなり、この複雑さもパントマイムの難しさの一因と考えられてきた。しかし、道具を操作するための手の構えには、複雑な手型の模倣にはない、続く操作のための運動準備要素が含まれていると考えられる。健常者を対象とした先行研究^{2),3)}では、パントマイムにかかわる神経基盤として、左頭頂葉の重要性が指摘されてきた。しかし、これらの研究では、運動企図から実行までを含む一連の過程が対象とされている。本研究では、パントマイムに含まれる、道具を操作するための運動準備要素を分離するために、磁気共鳴機能画像法(fMRI)を用いて、道具の視覚提示を契機とした手の構えの神経基盤を調べる。

方法

健常成人10名(右利き, 男性3名, 女性7名, 年齢20~41歳)を対象としてfMRIによる脳機能計測を行った。倫理委員会で承認された方法に基づいて、すべての被検者に対してインフォームドコンセントを実施した。

課題は以下の3条件とし、それぞれを1セッションとしてブロックデザイン(4課題ブロック+5休止ブロック, 1ブロック30秒, 合計270秒)の形式で課題を作成した。視覚提示プログラムの作成はE-Prime(PST Inc., Pittsburgh, PA)を用い、視覚提示はMR対応型LCDパネルを含む課題提示システム(MRIDC, Latham, NY)を使用した。課題1)操作構え条件:視覚提示された道具(ボールペン, はさみ, 卓球のラケット, 歯ブラシなど10種類の手に持って使用するもの)の映像に対し, その道具を実際に手に持っているつもりで手を構える動作を行う。課題2)模倣条件:道具を持つ場合の手の形態に類似しているが, 特定の道具の使用を想起させない意味のない手の構えを提示し, その形態を模写するように手を構える。課題3)見立て条件:道具の映像を提示し, その道具を自分の手で模擬するように手を構える(例:はさみの写真に対してじゃんけんのチョキの形)。視覚刺激は, 1課題ブロックごとに3秒ずつ10種類がランダムに提示された(1シリーズで同じ刺激は4回提示さ

キーワード hand posture, tool-use gesture, functional magnetic resonance imaging (fMRI)

れる)。休止ブロックは3条件共通であり、手を動かさずに注視点(+)を注視した。

脳機能画像データの収集は、3T-MRI装置(GE Signa VH/i3.0T)を用い、パルスシーケンスは Gradient Echo EPI 法を用いて行った。撮像パラメータは以下のとおりである：TR 3000 ms, TE 30 ms, FA 90 deg, FOV 22 cm, 30 スライス, スライス厚は 3 mm, スライス間隔は 1 mm。収集した画像は、MRI装置の標準画像再構成プログラムにより再構成し、データ解析には SPM2 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK, <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm2/>) を使用した。脳機能画像データは位置補正 (realignment), 標準脳への空間変換 (normalization), ガウスカーネルによる平滑化処理 (FWHM = 8 mm) を行い、各 fMRI シリーズにおける休止ブロックと課題ブロックとの間のコントラストを計算した ($p=0.001$, uncorrected)。さらに、被験者全員 (10 人) のコントラスト画像に対して、random-effect model による二次解析 (グループ解析) を実施した ($p=0.005$)。

結 果

操作構え条件と模倣条件のコントラストは以下のとおりであった。操作構え条件では、同様の手型を産出する模倣条件と比べ、左下前頭回 (BA 45), 左縁上回 (BA 40), 左運動前野, 両側補足運動野が強く活動した。これらの部位は、道具の命名, 道具の観察で活動することが報告されている⁴⁾が、道具を適切に操作するために必要な道具属性の分析を反映していると考えられる。さらに、これらの部位は、オブジェクトの視覚提示によって喚起される熟練した動作⁵⁾, 道具を使用する身振り (操作する動きを伴うパントマイム)⁴⁾で活動することが報告さ

れている。本研究で、実際の動作を伴わない静的な構えについても同様の部位における活動が検出されたことから、操作構えでは、実際の連続動作を行わないにもかかわらず、その準備活動を行っている」と解釈できる。

操作構え条件と見立て条件の比較では、見立て条件と比べ、操作構え条件では、右上頭頂小葉 (BA 7) の活動が亢進した。この部位の活動は、視空間注意⁶⁾や物体の心的回転⁷⁾で見出されている。本研究の結果は、実際には持っていない道具の把持部分に対して手指を適切に配置するための、より緻密な視空間分析と、使用に備えての道具の心的回転を反映していると考えられる。

考 察

運動を伴う道具使用パントマイムを用いた先行研究⁵⁾では、左下前頭回, 左下頭頂小葉の活動が報告されている。操作運動を伴わない本研究でも同様の活動が見出されており、操作構えは単純な静的模倣とは異なる認知・運動変換過程と考えられる。つまり、操作構えでは実際の道具操作を行うための連続的な手の動作を行わない一方で、その運動の想起と、運動準備のための手指の配置を行っている。したがって、左下前頭回, 左下頭頂小葉の活動は、熟達した運動の準備要素に対応しているのではないかと考えられる。本研究では、道具の形態を視覚提示することにより使用状況を想起させたが、今後は、聴覚的に道具名を提示するなど、異なる刺激による検証が必要であろう。

文 献

- 1) Sirigu A, Cohen L, Duhamel JR, Pillon B, Dubois B, Agid Y: A selective impairment of hand posture for object utilization in apraxia. *Cortex*

- 1995 ; 31 : 41-55
- 2) Ohgami Y, Matsuo K, Uchida N, Nakai T : An fMRI study of tool-use gestures : body part as object and pantomime. *NueroReport* 2004 ; 15 : 1903-1906
 - 3) Choi SH, Na DL, Kang E, Lee KM, Lee SW, Na DG : Functional magnetic resonance imaging during pantomiming tool-use gestures. *Exp Brain Res* 2001 ; 139 : 311-317
 - 4) Johnson-Frey SH : The neural bases of complex tool use in humans. *Trennds Cogn Sci* 2004 ; 8 : 71-78
 - 5) Rumiati RI, Weiss PH, Shallice T, Ottoboni G, Noth J, Zilles K, Fink GR : Neural basis of pantomiming the use of visually presented objects. *Neuroimage* 2004 ; 21 : 1224-1231
 - 6) Coull JT, Frith CD : Differential activation of right superior parietal cortex and intraparietal sulcus by spatial and nonspatial attention. *Neuroimage* 1998 ; 8 : 176-187
 - 7) Parsons LM : Superior parietal cortices and varieties of mental rotation. *Trends Cogn Sci* 2003 ; 7 : 515-517

An fMRI Study of the Neural Basis of Hand Postures Specific to Tool Use [Presidential Award Proceedings]

Yuko OHGAMI¹, Kayako MATSUO², Nobuko UCHIDA¹,
Toshiharu NAKAI²

¹*Human Developmental Science, Ochanomizu University Graduate School of Humanities and Science
2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610*

²*Functional Brain Imaging Laboratory, National Center for Geriatrics and Gerontology*

Patients with apraxia are often unable to mimic the use of a tool, even when it is presented visually. Such mimicking involves various cognitive and motor processes, including the visual perception of a tool and the manipulation of imagined tools. Although previous studies reported the involvement of several brain areas, including the left inferior parietal lobule, in such tool-use action, the details of each process have not been well understood. To clarify the neural basis of the process involved in forming hand postures for using tools, we used fMRI in normal volunteers to investigate brain activation while they formed hand postures for tool manipulation. Three conditions were evaluated in separate block-designed fMRI series, formation of hand posture (A) using a tool, (B) imitating such a hand posture, and (C) to imitate the shape of a tool. Subjects formed their right hand in a manner specified according to the task conditions. Hand posturing for condition (A) induced activation in the left inferior frontal gyrus (BA 45), left inferior parietal lobule (BA 40), and the premotor area compared with the imitative posturing of condition (B). Activation in these areas might be related to processes shared by tool-use pantomime. On the other hand, comparison between conditions (A) and (C) demonstrated activation in the right superior parietal lobule (BA 7). This activation may reflect spatial regulation, in which the subject was prepared to hold and manipulate the tool. Formation of static hand postures to prepare for tool use may employ a neural network shared by various tool-use actions, such as pantomime. In addition, forming hand postures may require close coordination between the tool and hand.