視覚と触覚による凹凸形状知覚時の視覚野における処理過程

1230330　小林 万也花　【 知覚認知脳情報研究室 】

1　はじめに

ヒトは現実世界の物体を認識するために 3 次元知覚を行なっており, そのために利用される感覚は主に視覚と触覚の 2 つである. これらの感覚情報は, 視覚が後頭にある視覚野, 触覚が頭頂にある体性感覚野で別々に脳内で処理され, 高次感覚野で統合される. しかし, これらの処理は完全に独立しているのではなく, 相互作用によって, より高度な物体認識を実現していると考えられている. 例えば, 健常者に対して TMS を用いて後頭葉を刺激すると, 方位の触覚弁別課題で成績が低下することが明らかになっており [1], 触覚情報が視覚野に影響している可能性が示唆されている.

本研究では, 立体形状の中でも凹凸に着目し視覚と触覚による 3 次元知覚処理が視覚野でどのように表象されるのか, また視触覚統合時では凹凸の表象の処理領野に違いが見られるかを明らかにするために fMRI を用いて実験を行なった.

2　実験方法

2.1　装置及び参加者

実験は MRI 装置を使用した. 刺激の制御は MATLAB で動作する Psychotoolbox を使用した. 視覚刺激は 3D 呈示可能な DLP プロジェクター (PROPIXX) で呈示し, 参加者は偏光フィルター式 3D メガネを装着した. MRI 内からボタンコントローラーを用いて応答を受け取った. 刺激となる 3D モデルは Blender で作成し, 視覚刺激は垂直軸に 45 度ずつ回転する 3 s の両眼視差のある立体動画, 触覚刺激はモデルを 3D プリンターで印刷し, 紙やすりで滑らかにしたものを使用した. 刺激の形状は凹, 凸, 平面の 3 種類であった. 実験参加者は正常な視力 (矯正を含む) を有する 20 代の大学生 9 名であった.

2.2　条件及び手続き

実験は視覚刺激のみ (V), 触覚刺激のみ (H), 両方の刺激 (VH) を呈示する 3 条件で行なった.

実験は関心領域 (ROI) を同定する実験と主実験の 2 つを 2 日間に分けて行なった. ROI 実験は, 先行研究を元に 12 の脳領域を ROI として同定した. 主実験の手続きは, まず呈示する形状の記号をディスプレイに 3 s 表示し, 次にその形状の刺激を 3 s 呈示した. このときディスプレイ上に, VH, V 条件では 3D 動画を再生し, H 条件では灰色の画面を表示するのみとした. また, VH, H 条件ではボア内に設置した触覚刺激を右手の指腹部で上下に 2 回撫でた. 3 s の Rest 時間の後に, どの形状だったかボタンを押して反応する形状識別時間を 3 s, 最後に Rest 時間を 6 s 設けた. この計 18 s を 1 試行とし, 12 試行を 1 Run として各条件 5 Run ずつ, 計 15 Run 行なった. 刺激形状はランダムな順で呈示した.

3　解析

解析は BrainVoyager QX と R を使用した. 各 ROI に対し, 刺激呈示時の脳活動を計測したボクセル値の賦活パターンが各刺激形状を識別できるか検討するために多変量パターン解析 (MVPA) を行なった. MVPA による分類は SVM を用い, Leave-one-run-out 法により交差検証を行なった. この分類精度がチャンスレベルより有意に高いかを検討するために t 分布を用いた統計的仮説検定を行なった. また FDR を統制するために BH 法を用いて q 値を求めた.

4　実験結果

3 形状のマルチクラス分類と凹と凸, 凹と平面, 凸と平面の 2 クラス分類で MVPA を行い, 各 ROI における分類精度の平均値をまとめた. マルチクラス分類の結果を図 1 に示す. 横軸の実線はチャンスレベル (33.3%) を示している. マルチクラスでは VH 条件:V1, V3d, H 条件: V1 のみで統計的な有意差が認められた ($q < .05$). 2 クラスでは凸と平面の分類で VH 条件時に POIPS で有意差が認められた ($q < .05$).

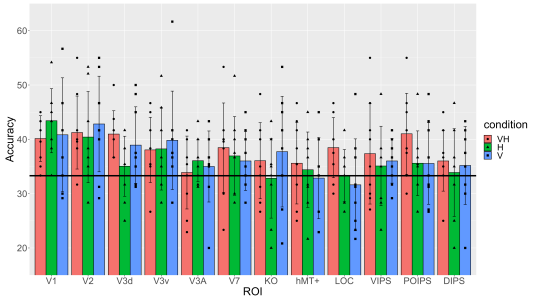

図 1. マルチクラス分類 (凹 vs 凸 vs 平面)

5　考察・まとめ

マルチクラス分類の VH 条件で V3d での分類精度が有意に高かったことから, V3d は凹凸などの 3 次元形状が視覚と触覚で得られるときの処理に関連していることが示唆された. また, 凸と平面の 2 クラス分類の VH 条件で背側経路の POIPS において分類精度が有意に高かったことから, 触覚における手の動きと視覚入力との相互作用が POIPS において特に処理されている可能性がある.

参考文献

[1] A. Zangaladze, C. M. Epstein, S. T. Grafton, K. Sathian, “Involvement of visual cortex in tactile discrimination of orientation”, Nature, Vol. 401, pp. 587-590, 1999.