

| | |
|---------|---|
| 氏名 | れ ばん かん Le Van Quang |
| 学位の種類 | 博士 (医学) |
| 学位記番号 | 富生命博甲第 120 号 |
| 学位授与年月日 | 令和 2 年 3 月 24 日 |
| 専攻名 | 認知・情動脳科学専攻 |
| 学位授与の要件 | 富山大学学位規則第 3 条第 3 項該当 |
| 学位論文題目 | A prototypical template for rapid face detection is embedded in the monkey superior colliculus (サル上丘に内在する顔テンプレートによる顔検出機構) |
| 論文審査委員 | |
| (主査) | 教授 井ノ口 馨 |
| (副査) | 教授 一條 裕之 |
| (副査) | 教授 鈴木 道雄 |
| (副査) | 教授 野口 誠 |
| 指導教員 | 教授 西条 寿夫 |

論文題目

A prototypical template for rapid face detection is embedded in the monkey superior colliculus
(サル上丘に内在する顔テンプレートによる顔検出機構)

Van Quang Le, System Emotional Science, University of Toyama

Background. Face information processing consists of several different steps; 1) face detection based on first order information (i.e., arrangement of facial features such as eyes, nose, mouth, etc.), 2) holistic processing of facial features (integration of facial features into a whole-face representation), and 3) facial discrimination based on second-order information (discrimination of variance across faces). Although computational studies suggest that the first face detection step precedes the others and is important to make the later processes efficient, neural mechanisms of this step remain poorly understood. Our previous neurophysiological studies reported that monkey superior colliculus (SC) neurons responded to facial photos and their latencies were shorter than those in the striate cortex. These findings suggest that the SC is involved in face detection. However, whether SC neurons respond to first order information of faces (basic layout of facial features including eyes, nose, and mouth) itself or not remains unknown. To test this hypothesis, we recorded the responses of monkey SC neurons to face-like and non-face patterns, in which facial features were either orderly or randomly positioned within contours. Furthermore, the responses to inverted (upside down) and contrast-reversed patterns of the same face-like and non-face patterns were examined as well. We looked for neurons coding a face template in the SC which would respond stronger to both normal and contrast-reversed face-like patterns as well as upright and inverted face-like patterns than non-face patterns.

Methods. Two adult (1 female and 1 male) macaque monkeys (*Macaca fuscata*) were used. The monkeys were trained to perform a sequential delayed non-matching-to-sample task (DNMS) that required the discrimination of the visual stimuli. These stimuli consisted of two different sets of stimuli [white (normal) and black (contrast-reversed) stimulus sets]. Each stimulus set included 4 stimulus groups with 4 different contours (rice scoop, star, circle, square). Each stimulus group included 5 visual stimuli (forms) that had the same contour; 2 face-like patterns (upright, inverted), and 3 non-face patterns [2 random patterns (random1, random2) and blank contour only (blanks)]. Each face-like pattern consisted of one of 4 face contours and 5 facial features (2 eyes, 2 eyebrows, 1 mouth), while the random patterns consisted of the same facial contour and features as in the face-like patterns, but the facial features were randomly positioned within the facial contour.

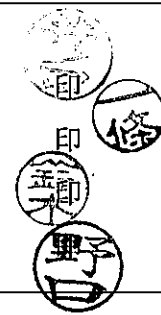
Neuronal activity was recorded from the monkey SC during the DNMS task. Response magnitudes and latencies to these stimuli were analyzed. To analyze representation of the stimulus by population activity of the SC neurons, activity of the SC neurons was analyzed by multidimensional scaling (MDS).

Results. Of 158 visually responsive SC neurons, 146 neurons were tested with all of the visual stimuli.

Based on the response areas in the visual field (VF), 146 neurons were divided into three groups: neurons with the largest response areas in the upper VF [dubbed “SC neurons with upper receptive fields (RFs)”]; n = 46], neurons in the lower VF (68 with lower RFs), and those in the central VF (32 with central RFs). Statistical analyses of the neuronal responses to the stimuli indicated that SC neurons responded stronger and faster to the upright and inverted face-like patterns compared to the nonface patterns, regardless of contrast polarity and contour shapes. Furthermore, SC neurons with central receptive fields were more selective to face-like patterns. In addition, the population activity of SC neurons with central receptive fields discriminated the face-like patterns from the nonface patterns as early as 50 ms after the stimulus onset. The results provide strong neurophysiological evidence for the involvement of the primate SC in face detection and suggest the existence of a broadly tuned template for face detection in the subcortical visual pathway including the SC.

Conclusions. The present evidence provides a neurophysiological basis for an idea that the subcortical visual pathway including the SC in vertebrates functions as a prototypical face template, i.e., “Conspec” suggested in behavioral studies. Consistently, the SC neurons responded best to the face-like patterns regardless of 4 different contours as well as regardless of contrast polarity of the stimuli in the present study.

学 位 論 文 審 査 の 要 旨

| | | | |
|--|----------------------|---------|---|
| 報 告 番 号 | 富生命博甲第 号 富生命博乙第 号 | 氏 名 | Van Quang Le (バン クアング レ) |
| 論文審査委員 | 職 名 | 氏 名 |  |
| | (主査) 教授 | 井ノ口 馨 | |
| | (副査) 教授 | 一 條 裕 之 | |
| | (副査) 教授 | 鈴 木 道 雄 | |
| (副査) 教授 | 野 口 誠 | | |
| 指 導 教 員 | 教授 | 西 条 寿 夫 | |
| (論文題目) A prototypical template for rapid face detection is embedded in the monkey superior colliculus (サル上丘に内在する顔テンプレートによる顔検出機構) | | | (判定) 合格 |
| (論文審査の要旨) | | | |
| 〔目的〕 顔情報処理は、1) 顔の一次情報（顔の基本構造：目、鼻、口などの顔特徴の正規な配置）に基づく顔検出、2) 顔特徴の全体的処理（顔の特徴を顔全体の表現に統合）、および3) 顔の二次情報（個人間の細かな配置の違い）に基づく顔識別の3つの異なる過程からなる。計算論的研究により、最初の顔検出過程は他の過程に先行し、後の過程を効率的に行うために重要であることが示唆されている。しかし、この顔検出の神経メカニズムは不明である。以前の研究により、サル上丘ニューロンが顔写真に反応し、その潜時は線条皮質よりも短いことが報告されている。しかし、上丘ニューロンが顔の一次情報（目、鼻、口を含む顔特徴の基本的なレイアウト）自体に応答するかどうかは不明である。本研究では、上丘が一次情報による顔検出に関与する可能性を検討するため、顔特徴が顔輪郭内に正規にまたはランダムに配置された、それぞれ顔様および非顔様パターンに対するサル上丘ニューロンの応答を解析した。 | | | |
| 〔方法〕 2頭のサルに遅延見本非照合課題を訓練して視覚刺激を識別させた。視覚刺激は、1) 顔構成要素[顔輪郭（しゃもじ型、円形、星型、または四角）、眉毛（2個）、目（2個）、および口]を正規に配置した顔様パターン、2) 倒立した顔様パターン、3) 顔構成要素をランダムに配置したランダムパターン（非顔様パターン）、4) 倒立した非顔様パターン（非顔様パターン）、および5) 顔輪郭のみ（非顔様パターン）を用いた。さらに、以上の視覚刺激を白黒反転（コントラスト極性反転）した刺激も視覚画像として用いた。 訓練後、微小電極を上丘に刺入して単一ニューロン活動を記録し、まず各上丘ニューロンの受容野を決定した。ついで、各ニューロンの受容野に上記視覚刺激を呈示して視覚応答を記録した。ニューロン活動の記録後、各視覚刺激に対する反応潜時、および刺激呈示後 0-500 ms 間の応答強度を解析した。また、ニューロン集団の応答パターンにより、顔を検出している可能性を検討するため、各刺激に対する中心視野ニューロンの応答強度を、多次元尺度分析法(MDS法)を用いて解析した。MDS解析では、各視覚刺激間の関係を二次元刺激空間上にプロットし、視覚刺激間の識別性を、重判別分析を用いて解析した。 実験終了後、深麻酔下でサルを灌流し、上丘内の記録部位を脳定位的に同定した。 | | | |

〔結果〕

視覚刺激に応答した 158 個の上丘ニューロンのうち、146 個のニューロンをすべての視覚刺激でテストした。ニューロンの受容野の位置に基づき、146 個のニューロンは、上部視野ニューロン (n=46)、下部視野ニューロン (n=68)、および中心視野ニューロン (n=32) に分類された。また、上丘ニューロンの記録部位から、上丘浅層ニューロン (n=80) および上丘深層ニューロン (n=66) に分類された。

視覚刺激に対するニューロン応答を解析した結果、顔輪郭の形状、顔の上下倒立、およびコントラスト極性に関係なく、上丘ニューロンは非顔パターンに比べて顔様パターンにより強く、より早く応答した。この顔様パターンに対する特性は、ニューロンの受容野および記録部位に関係なく共通していた。上丘浅層ニューロンでは上丘深層ニューロンと比較して、また上部受容野ニューロンは受容野ニューロンと比較して、応答潜時が早かった。

一方、中心視野ニューロンは、非顔様パターンと比較して顔様パターンに対する応答が相対的に大きく、顔様パターンに対してより選択的に応答した。さらに、中心視野ニューロン (32 個) の集団活動パターンを MDS 分析した結果、刺激開始後 50 ms 以内の早い潜時では、顔様パターンが非顔様パターンから識別された。刺激開始後 50-100 ms の潜時では、正立および倒立顔様パターンがそれぞれ他パターンから識別された。

〔総括〕

本研究でサル上丘ニューロンの応答性を解析した結果、1) 顔輪郭の形状、顔の上下倒立、およびコントラスト極性に関係なく、上丘ニューロンは非顔パターンに比べ、顔様パターンにより応答性が高いこと、2) 多次元尺度分析により、大脳皮質ニューロンの応答潜時より早い潜時で顔様パターンが分離されることなどから、上丘ニューロンは顔の一次情報に応答性を有し、大脳皮質が応答する前に顔を検出していることが明らかになった。従来 of 行動学的研究において、ヒト新生児や鳥類のヒナが同様に顔刺激反応性を示すことから、これら動物に共通に存在する上丘 (視蓋) が、顔検出を行うという仮説が提唱されている。また、大脳皮質視覚野の損傷を有し、上丘は正常である盲視患者も、顔の一次情報を識別できることが報告されている。本研究結果は、上丘が顔検出を行う顔テンプレートとして機能していることを強く示唆し、これら行動学的研究に神経生理学的基盤を与えるものである。

以上より、Le 君は、脳 (上丘) における顔テンプレートの存在を世界で初めて明らかにし、新規性が高いと評価された。また、これら上丘ニューロンの応答性は盲視における残存視覚機能を説明するものであり、医学における重要性も高いと評価された。さらに同結果は大脳皮質視覚野損傷患者における視覚リハビリテーションに繋がる可能性があることから、臨床的意義も高いと評価された。以上から本審査委員会は本論文を価値の高いものであると評価し、博士 (医学) の学位に十分値するものと判定した。