

学位論文の要旨

氏名

Wang, Ridey Hsiao

学位論文題目

視覚的物体認知機能を支える脳内情報処理とその神経基盤

私たちの日常生活では、観察角度によらず、物体を認識することができる。この観察角度によらない物体認識の神経機構を理解するために、一連の心理物理学および電気生理学的な実験を行った。

第1章でそれら研究背景を述べ、結果の要約を以降に述べる。

第2章は、早期視覚皮質における物体形状の情報処理に使われる神経基盤に焦点を当てた。これまで大脳視覚システムの特徴の一つである周辺修飾作用が広く議論されている。視野の中心とその周辺で対応する皮質領域間の機能の違いを理解するために、様々な刺激に対する早期視覚野細胞の応答をマルチ・チャンネル電極を用いて記録した。応答を記録した異なる細胞ペアの間におけるスパイクの相互相関から、活動の相関関係を調べた。有意な相互相関を示す細胞ペアの割合は、中心よりも周辺に対応する皮質領域において大きかった。視野の中央では、有意な相互相関を示す細胞ペアは、記録点の距離が増加するにつれて有意に減少し、ゼロの周りに分布するクロスコログラムを示した。視野の周辺に対しては、クロスコログラムがより広く分布した。また、最適方位における中心周囲刺激に対する応答において、有意な相互相関を示す細胞ペアの割合も、中心よりも周辺において大きかった。これらは、視野の中心よりも周辺に対応する皮質領域においてより強い相互作用が起こることを示唆する。

第3章は、視覚連合野である側頭葉下部皮質における物体画像の神経表現に関する知見を報告した。物体画像に対する側頭葉下部皮質細胞の反応は、通常刺激開始後約260msを境に応答の初期フェーズと後期フェーズを示している。本研究は、これら2つの時間帯における細胞活動の観察角度によらない物体認識への関与を明らかにすることを目的とした。機械学習アルゴリズムを利用して、3次元物体識別分類器を構築した。観察角度をまたいだ物体弁別を事前に経験した場合と経験していない場合とでそれぞれの物体画像に対する応答データに基づき、分類器を作成した。初期フェーズでは、観察角度をまたいだ物体弁別を事前に経験した分類器の性能は、観察角度をまたいだ物体弁別を経験しなかった分類器の性能に比べ、有意な差はなかった。しかし、後期フェーズにおいて、分類器の性能評価は有意に向上し。これらは、細胞の刺激選択性変化のダイナミクスを示し、物体認識の観察角度不変性において、応答の初期フェーズよりも後期フェーズの関与を示唆する。

第4章は、側頭葉下部皮質の物体表現に対する学習効果について検証した。物体認識は、異なる物体間の区別と同じ物体の異なる観察角度像間での一般化が必要である。これまでに、我々は異なる観察角度像間の連合学習をせずに、同じ観察角度による弁別経験が一定範囲の観察角度において物体認識をもたらすことを見出し、側頭葉下部皮質細胞の電気生理学的な反応も観察角度に対する一定な許容性を示した。しかし、すべての観察角度をカバーするものではなかった。本研究は、過剰学習までに学習期間を延長し、さらなる学習期間中において側頭葉下部皮質細胞の電気生理学的な活動を記録した。結果は全観察角度をカバーする物体弁別をもたらした。さらに、いくつかの観察角度での物体弁別経験が、観察角度をまたいだ物体弁別経験と同等の物体弁別パフォーマンスをもたらしたことも確認できた。物体画像に対する細胞集団レベルでの電気生理学的な活動の類似性からみると、このような過剰学習がもたらした細胞集団反応の類似性増加は、異なる物体由来の画像よりも同じ物体の異なる観察角度像によって引き起こされた反応の方が統計学的に有意に高かった。これらは、細胞集団レベルでのより広い観察角度に対する許容性を意味する。

第5章では、ヒトを対象とした実験結果について記載した。本研究は、一般的な物体に加えて、顔

別記様式第3号-2

認識に焦点を当てた。顔認識の脳内神経基盤を理解するために、顔画像に対して刺激選択性を持つ事象関連電位成分N170の変化を調べた。実験参加者は、提示された物体を観察角度によらずに他の顔から弁別しなければならない顔弁別課題を実施してもらい、トレーニングに使用した顔画像に対して経験を与えた。このような顔弁別学習は、N170の平均振幅または平均振幅発生時間のいずれにも有意な変化を引き起こさなかった。また、顔同士の類似性による明確な違いも確認されなかった。しかし、異なる顔画像によって引き起こされたN170の振幅の変動において、高類似性の顔を対象とした弁別学習が有意な振幅増加をもたらしたが、低類似性の顔を対象とした弁別学習に対しては有意な変化がなかった。これらの知見は、高類似性および低類似性の顔認識の間で異なる神経表現が存在する事を意味する。

第6章は研究のまとめについて述べている。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Neural information processing and its neuronal basis supporting visual object cognitive functions

Name: Wang, Ridey Hsiao

In our daily life, one can recognize an object from others regardless of the change in viewing angle. To understand the underlying neuronal mechanism for such function of brain, I have conducted a series of psychophysical and electrophysiological experiments in order to reveal the psychophysical characteristics for the view-invariant object recognition and its neuronal basis supporting such function. The results have been summarized in this thesis.

In Chapter 2, I focused on the neural bases for shape information processing in the early visual cortex. As a characteristic feature for our visual system, surround modulation has been discussed extensively. To understand the neural bases underlying the differences of the functions between the cortical areas corresponding to the center and periphery of the visual field, responses of the cells in the early visual cortex with their receptive fields in the center and periphery of the visual field were recorded by using multichannel electrodes, and cross-correlations of the spikes in the responses to the full-field stimuli, and the center-surround stimuli were analyzed. Percentages of the cell pairs showing significant cross-correlation were larger in the cortical areas corresponding to the periphery than the center. In the center of the visual field, the percentages of the cell pairs showing significant cross-correlation significantly decreased as the separation of the recording points increased, and the time lags of the peaks of the cross-correlogram distributed around zero. In the periphery of the visual field, the time lags of the peaks of the cross-correlogram distributed more widely and increased as the separation of the recording points increased. In the responses to the center-surround stimuli in the preferred orientation of each cell, percentages of the cell pairs showing significant cross-correlation were larger in the periphery than the center. These results suggest more lateral interactions occur in the cortical areas corresponding to the periphery than the center of the visual field.

In Chapter 3, I reported the findings on the neural representation of object images in monkey inferotemporal cortex. An inferotemporal cell usually displays different response patterns in an initial response phase immediately after the stimulus onset and in a late phase from approximately 260 ms after stimulus onset. The study aimed to understand the difference between the two time periods and their involvement in the view-invariant object recognition. Responses to object images with and without prior experience of object discrimination across views, recorded by microelectrodes, were pooled together from our previous experiments. With a machine learning algorithm, we trained to build classifiers for object discrimination. In the early phase, the performance of classifiers created based on data of responses to the object images with prior training of object discrimination across views did not significantly differ from that based on data of responses to the object images without prior experience of object discrimination across views. However, the performance was significantly better in the late phase. The results demonstrate the dynamics of selectivity changes and suggest the involvement of the late phase in the view-invariant object recognition rather than that of the early phase.

In chapter 4, I discussed the learning effects on the representation in monkey inferotemporal cortex. Object recognition requires differentiation across different objects and generalization across views of the same object. We previously demonstrated that discrimination of object images at several views without any possibility of association was enough to achieve object recognition within a certain range of viewing angles and confirmed the response tolerance of monkey inferotemporal cells within a similar range of viewing angles. However, neither behavioral object recognition nor electrophysiological response tolerance was complete across views. In the

present study, we extended such learning past performance saturation and recorded neuronal activity during the further learning period. When monkeys were trained to discriminate objects at several views, we found that they could discriminate the trained objects regardless of the eventual change in viewing angle, and confirmed a response tolerance at the population level over a large viewing angle range covering all the viewpoints experienced. At the cell population level, such overtraining leads to significantly higher neural response similarity for views of the same objects than for views of different objects regardless of the extent of viewing angle separation. These results suggest a possible method of view-invariant object recognition development.

I summarized the experimental results on human subjects in Chapter 5. My studies were focused on the face recognition in addition to general objects. To understand the underlying neuronal representation for face recognition, this study was designed to investigate the changes in N170, a face-selective event-related potential component, accompanied by face recognition learning. Participants were asked to train themselves to recognize novel computer-made faces with different inter-face similarities by performing a face discrimination task, in which a face had to be discriminated from other faces regardless of the viewpoint presented. Such face discrimination did not cause any significant change in either the mean N170 amplitude or the mean amplitude delay. No clear difference was confirmed between the values obtained through high-similarity and low-similarity face discrimination learning. However, N170 increased significantly in the amplitude variation across different faces during the high-similarity face discrimination learning process, but no significant increase was observed for low-similarity faces. These findings imply different neuronal representations for face recognition when using high-similarity and low-similarity faces.

Chapter 6 gives conclusions of my dissertation.