

Title	Suppressive effects of receptive field surround on neuronal activity in the cat primary visual cortex
Author(s)	赤崎, 孝文
Citation	
Issue Date	
Text Version	none
URL	http://hdl.handle.net/11094/43830
DOI	
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/repo/ouka/all/>

氏名	赤崎孝文
博士の専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	第 17372 号
学位授与年月日	平成14年12月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 医学系研究科情報伝達医学専攻
学位論文名	Suppressive effects of receptive field surround on neuronal activity in the cat primary visual cortex (ネコ一次視覚野神経活動の受容野周囲刺激による抑制性修飾作用)
論文審査委員	(主査) 教授 佐藤 宏道 (副査) 教授 津本 忠治 教授 福田 淳

論文内容の要旨

[目的]

大脳皮質一次視覚野(V1)のニューロンでは、受容野(Classical Receptive Field、以下CRF)に呈示した刺激に対する反応が、受容野外(Surround of CRF、以下SRF)の刺激によって修飾を受ける。この受容野内外の刺激布置に依存して反応強度を変化させる修飾効果は刺激文脈依存的反応修飾(Contextual Modulation)と呼ばれている。そのメカニズムを調べることは、大脳皮質の活動がどのように統合的に調節されているのかを理解するために重要である。本研究では知覚的な図地分化の基礎メカニズムとしてこの問題をとらえ、個々のV1ニューロンの受容野特性として修飾作用の実態を詳細に検討することにより、皮質機能の最適化のメカニズムを明らかにすることを目的とした。

[方法ならびに成績]

成猫を麻酔・非動化し、微小ガラス管電極を用いて101個の単一V1ニューロンの細胞外記録を行った。記録細胞の層分布は組織学的に同定した。単一ニューロン活動の単離後、眼前のスクリーン上でスリット光により受容野の場所を決定し、その後コンピュータコントロールされたCRTディスプレイ(40°×30°)にサイン波状に輝度変化するグレーティング刺激を提示し、ニューロンのタイプ(単純/複雑型)、受容野の大きさ、刺激選択性(方位、動きの方向、空間周波数)を定量的に解析した。CRF刺激には最適な刺激パラメータを用い、SRF刺激のパラメータを可変として反応を比較した。背景刺激の効果は、今回用いた高コントラスト(≧0.8)の刺激条件下では主に抑制を引き起こし、その抑制の強さはCRF刺激とSRF刺激の刺激特徴が同じときに最大(平均44%の抑制、N=101)となり、刺激特徴のずれが大きくなるにつれて弱くなる傾向にあった。

1. 刺激特徴と抑制性修飾

CRF刺激とSRF刺激の刺激パラメータが同じで、視野内が一様に刺激されている場合(一様刺激)と、刺激パラメータの違いにより知覚的に図地分離している場合(図地分離刺激)で反応性を比較した。CRF刺激はニューロンの最適パラメータとし、SRF刺激の方位、運動方向、空間位相を変化させて図と地の境界を作り、抑制の強さを比較検討した。その結果、一様刺激において強い抑制が観察され、方位と運動方向の違いにより作られた図地分離刺激では

CRF 刺激が同じであるにも拘わらず抑制が解除される傾向にあった。特に、一様刺激で強い抑制が見られるニューロングループにおいては、図地分離刺激における抑制の強さとの間には大きな隔たりが見られた。また、空間位相を変化させた場合の抑制のかかり方には、位相の違いによらず抑制するもの、一様な刺激のときに最大抑制を示すもの、そして逆位相のときに最大抑制を示す3つのグループが観察された。

2. 皮質の層とニューロンのタイプによる抑制効果の違い

形態学的に層を同定したニューロン 92 個について解析を行った結果、各層において抑制の強さは異なっており、反応抑制量はⅡ/Ⅲ層 60 ± 14 (mean \pm S.D.) % (N=49)、Ⅳ層 31 ± 36 % (N=28)、Ⅴ/Ⅵ層 32 ± 46 % (N=15) であり、強い抑制性修飾を受けるニューロンは浅層に多く観察された。Ⅱ/Ⅲ層とⅣ層の抑制の強さには統計学的に有意な差が見られた ($p < 0.05$, Scheffe's post-hoc test)。また、ニューロンの種類を同定した 83 個のニューロンについて解析を行った結果、抑制の効果は単純型細胞 (33 ± 40 %, N=42) よりも複雑型細胞 (59 ± 38 %, N=41) において強く観察され、この差は統計学的にも有意であった ($p < 0.001$, Mann-Whitney's U-test)。

3. 抑制効果の空間的な広がり

抑制性修飾を及ぼす SRF 領域の空間的な広がりを検討するために、最適刺激条件で刺激のサイズだけ変化させたときの反応のサイズチューニングについて調べた。その後、ニューロンの CRF 反応の最適刺激パラメータのグレーティングで一様刺激をしながら、受容野の周りに無地のアニュラスによる遮蔽領域を設け、その遮蔽領域の広がりによって抑制がどのように解除されるのかを調べた。その結果、CRF (直径 $3 \sim 5^\circ$) の周囲の直径 10° 以上の広い範囲から抑制性修飾を受けるニューロンがあることがわかった。この領域をすべて遮蔽すると、抑制はまったく見られなくなることから、この領域が抑制性修飾の原因となっていることが確認された。

[総括]

一次視覚野ニューロンにおける受容野周囲刺激による反応修飾性を調べ、反応は広視野刺激により抑制されること、抑制性修飾の強度は受容野内外の刺激パラメータに依存すること、抑制性修飾は皮質の浅層ならびに複雑型細胞において顕著であることが観察された。また抑制を引き起こす領域は受容野の周囲に広範囲に広がっており、一次視覚野において広域視野の刺激配置に依存して特徴抽出ドメインのネットワークレベルでの情報統合が行われていることが示唆された。

論文審査の結果の要旨

大脳皮質一次視覚野において、視覚刺激の図形特徴がニューロン活動にどのように表現されているのかを明らかにすることは、大脳皮質の機能構築を理解する上で重要である。本研究では麻酔・非動化したネコの一次視覚野の視覚刺激応答が、受容野内外の刺激配置に依存してどのどのような修飾を受けるのかを定量的に検討した。刺激はコンピュータディスプレイ ($40^\circ \times 30^\circ$) 上でサイン波状に輝度変化するグレーティングパターンを用い、受容野および受容野周囲を様々の方位、運動方向、空間周波数、空間位相の組合わせで刺激することにより、反応修飾を観察した。その結果、受容野周囲刺激は受容野刺激への反応に対して抑制性の修飾効果を生じ、抑制の強さは観察下のニューロンの刺激選択性に依存した。多くのニューロンにおいて最大抑制は、受容野内外が知覚的な図地分化が生じない一様なグレーティングパターンで刺激されたときに観察され、入力層であるⅣ層よりも次段階層であるⅡ/Ⅲ層において強い抑制が観察された。この結果は一次視覚野が特徴抽出機能ドメインのレベルで刺激配置に依存して合目的な出力調整をするように構造化されていることを明らかにしたものであり、学位の授与に値すると考えられる。