

令和 5 年 5 月 26 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K07352

研究課題名(和文) 脳内注意システム、動機付けシステムにおけるV4野の役割

研究課題名(英文) Effects of Attention and Motivation on Neuronal Activity in V4

研究代表者

猿渡 正則 (Saruwatari, Masanori)

大阪大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：90452309

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：V4野の神経細胞の注意に依存した活動に及ぼす動機付けの影響を調べるため、サルに視覚探索課題を訓練した。課題では複数の刺激の中から唯一異なる刺激を探し、サッカードさせた。動機付けの状態を変えられるように、報酬量が異なる条件を導入した。異なる報酬条件間で、反応時間、サッカード速度、及び瞳孔径について検討したところ、反応時間とサッカード速度には差がない一方で、瞳孔径は多報酬試行で大きく少報酬試行で小さいことが分かった。更に、瞳孔径と反応時間の間には負の相関があることを見出した。神経細胞活動の記録は今後となるが、瞳孔径を手掛かりに、動機付けが注意に依存した神経細胞活動に与える影響を解析する方針である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

私達ヒトは日常生活を視覚に大きく依存している。動機付けが視覚機能、とりわけ視覚的注意に及ぼす影響を理解し、生理学的メカニズムについて知見を得ることは、見る能力を向上させたり、見落としを減少させる方法の開発に寄与しうる。

研究成果の概要(英文)：Neurons in the visual cortex, including V4, increase activity when attention is directed to stimulus in their receptive field. Previous experiments associated rewards with attended stimulus, leaving uncertainty about the role of attention alone. To investigate the influence of reward expectations, especially motivation, on attention-dependent changes in V4 neuronal activity, monkeys were trained on a visual search task. They had to find a unique stimulus among multiple stimuli and respond with a saccade. Different reward conditions were introduced to alter the monkeys' motivation. Reaction time (RT), saccade speed, and pupil diameter were examined across reward conditions. RT and saccade speed showed minimal differences, while pupil diameter was larger in high reward trials and smaller in low reward trials. A negative correlation was found between pupil diameter and RT. Pupil diameter will be used to analyze the impact of motivation on attention-dependent neuronal activity.

研究分野：神経生理

キーワード：瞳孔径 報酬 予期 サッカード 覚醒 目標選択 動機付け 視覚的注意

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

V4野を初めとした視覚野の神経細胞活動が記録され、物理的に同一の刺激が受容野内に提示されたとしても、受容野内の刺激に視覚的注意が向かっている場合には、受容野外の刺激に向かっている場合と比べて活動が増加することが示されてきた。このような、注意による活動の増加は視覚野一般に見られ、低次の領野に比べて高次の領野に行くほど、そのような性質を持つ細胞の割合は多く、活動増加も大きい傾向にある。しかしながら、これらの実験では、注意を向けるべき刺激には必ず報酬が連合されており、観察された活動増加が注意のみにより説明されるのか、あるいは報酬期待などの他の要因で引き起こされたかは、不明な点が多かった。

2. 研究の目的

本研究では、視覚的注意によるとされてきたV4野の神経細胞活動の増加に、報酬期待や動機付けの要因がどのように影響を与えているかを解明することを目的とした。

3. 研究の方法

ニホンザルに遅延視覚探索課題を訓練した(図1)。課題は画面中央に提示した点(固視点)にサルが視線を移すと始まる。課題開始からサッカードによる反応開始の手掛かり刺激となる固視点消灯までの期間に、サルが固視点から視線を逸した場合には、課題を中断し誤答試行とした。固視開始から400ms秒後に探索刺激を400ms秒間提示した。探索刺激は1つだけ異なる刺激を目標刺激、他を妨害刺激として提示した。サルは固視を維持して目標刺激を選択し記憶することを求められる。ランダムな遅延期間ののちに固視点が消灯し、目標刺激の位置にサッカードしたら正答試行として報酬を与えた。サルは給水制限を行っており、報酬には水を与えた。

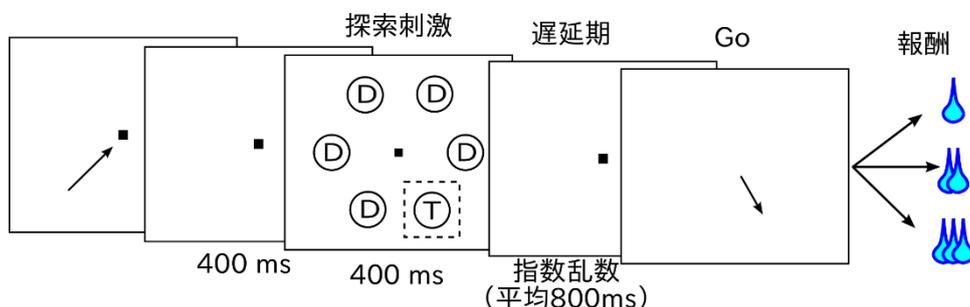


図1 遅延視覚探索課題。探索刺激としては唯一異なる刺激(Tで図示)を目標として選択する孤立項目課題とした。目標刺激を囲んだ破線は記録中の神経細胞の受容野を、矢印はサッカードを示し、ともに画面には表示されない。

報酬はバルブが開放される回数により3段階を設定した。3段階のうち少報酬はバルブ開放1回、概ね0.05mLの水を与えた。同様に中報酬ではバルブ開放2回、概ね0.10mL、多報酬ではバルブ開放3回、概ね0.22mLの水を与えた。正答試行が連続したら報酬段階を1段階上げ、誤答したら報酬段階を1段階下げた。報酬段階数は3であり、上げ下げには上限、下限がある。

行動課題を訓練し、動物が十分な正答率で課題を遂行できるようになったら、V4野より神経細胞活動を記録する。本研究では、報酬段階を変えることで、同じ視覚刺激の条件であっても、動物の動機付けが変わることを期待した。動物の動機付けの指標として、固視点が消灯してからサッカードが開始されるまでの反応時間、サッカードのスピードの最大値、及び自律神経活動の指標となる瞳孔径を計測し、これらが、報酬量に連動して変化するかを検討した。

4. 研究成果

行動課題の訓練が十分に完了したとは言えず、当初、計画をしていた神経細胞記録実験には至らなかった。しかしながら、訓練の途上ではあるものの、行動パラメータの解析から、動物の動機付けを推察する上で重要な知見を得ることが出来た。

(1) 反応時間

本研究で用いた探索課題は、探索刺激の提示と動物に反応を求める固視点消灯の間には十分な長い遅延期がある。当初、反応時間には、目標刺激と妨害刺激の差から生じる課題の難易度よりも、動物の動機付けが強く反映されると期待して研究を始めた。

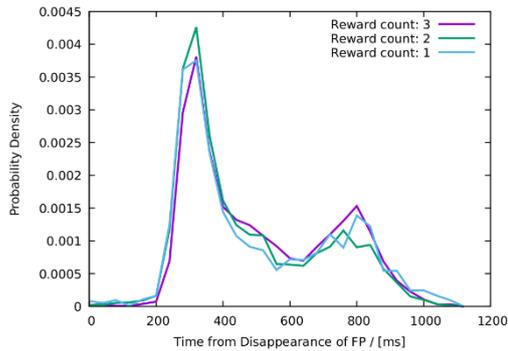


図2 反応時間

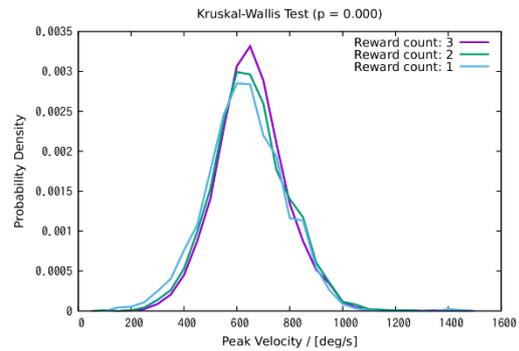


図3 サッカードの最大速度

図2は報酬段階ごとに分けて反応時間の分布を調べたものである。1セッションで1,000試行分ほど得られるデータを27セッション分プールして解析した。横軸は固視点(FP)の消灯時刻を0とし、サッカード開始時刻の確率密度関数をプロットした。サッカードによる反応時間としてはやや遅めの300ms付近に大きなピークが見られた。これは、訓練段階であるため、反応時間に制限を設けていないのが主要な原因であると考えている。また、800ms付近にも通常はあまり目しない2つめのピークが見られるが、これも時間制限を設けていないことによると推察している。いずれにしても、3つの報酬段階の間で明確な差は観察されなかった。反応時間の観察だけでは、動物の動機付けの状態を推察するのは難しい。

(2) サッカード速度

動物の動機付けはサッカード速度に反映されると期待し、サッカードの最大速度の分布を報酬段階ごとに分けてプロットした(図3)。解析は、反応時間の解析と同様に27セッション分の全試行をもとにした。3群間でKruskal-Wallis検定を実施したところ、有意な群間差は認められるものの、図3に見られるように分布形状に顕著な差はなかった。1セッション分ごとにそれぞれ同様の解析を実施したところ、群間差が認められたのは僅かに1セッションのみであった。予定している神経細胞活動の記録実験では、1セッション内に数個の神経細胞活動を記録し、神経細胞活動と動機付けとの関係を調べるので、1セッションにおいて、異なる報酬段階ごとにサッカード速度が異なっていることが解析をする上で望ましい。従って、サッカード速度のみを単独で動機付けの指標とするのは難しいと結論した。

(3) 瞳孔径

瞳孔径は交感神経と副交感神経により拮抗的に制御されている。交感神経の亢進で散瞳し、副交感神経の亢進で縮瞳する。報酬段階が異なる試行において、動機付けを反映して瞳孔径が変化することを期待した。

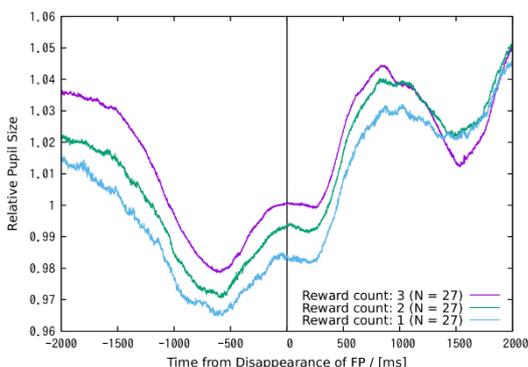


図4 固視点消灯前後2秒間における瞳孔径の時間経過。27セッション分の中央値である。

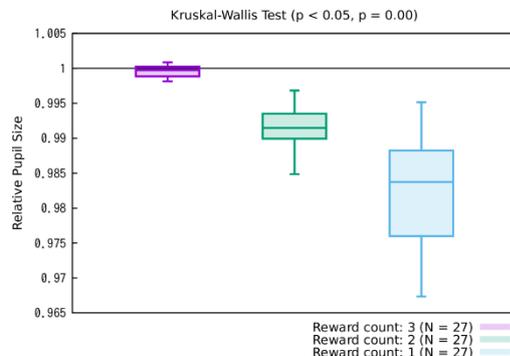


図5 固視点消灯時の瞳孔径。多報酬試行では瞳孔径が大きく、少報酬試行では小さい。

図4では、固視点消灯前後2秒間の瞳孔径の時間経過を報酬段階ごとにプロットした。縦軸は、多報酬試行での固視点消灯時の瞳孔径に対する相対的な瞳孔径である。27セッションそれぞれで中央値により時間経過を求め、更に27セッション分の中央値を算出した(図4)。3群間には

明確な差があり (Kruskal-Wallis 検定 $p < 0.05$), 少報酬試行では瞳孔径が小さく, 多報酬試行では瞳孔径が大きい (図 5). この傾向は行動課題最初から報酬供与まで, 行動課題全体に渡って観察された. 報酬段階により瞳孔径が明確に異なることから, 動物は遂行中の試行の正答で得られる報酬量を予測できていると分かる. 瞳孔径は動機付けを推し量る指標として有用である.

(4) 反応時間と瞳孔径, 及びサッカード速度と瞳孔径

反応時間と瞳孔径の相関を調べた. セッションごとに相関係数 R を算出し, Fisher の Z 変換した値 Z_R の分布を調べた (図 6).

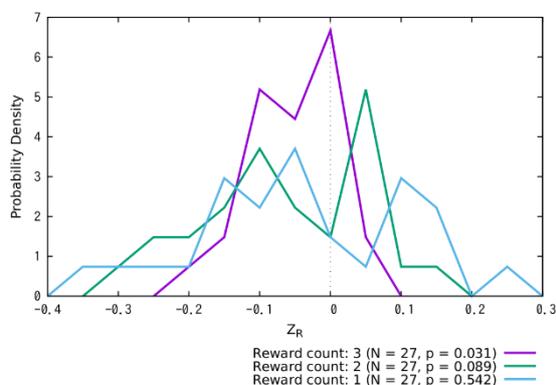


図 6 セッションごとに算出した反応時間と瞳孔径の相関係数を Z 変換し, 分布を調べた. 多報酬で負の相関の頻度が高い.

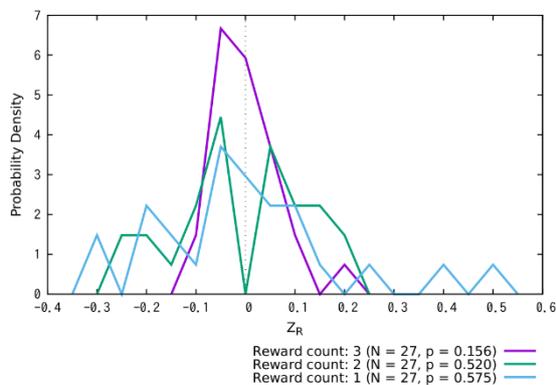


図 7 セッションごとに算出したサッカードの最大速度と瞳孔径の相関係数を Z 変換し, 分布を調べた. 相関係数の分布に正負の偏りは認められない.

多報酬の試行で分布は負に偏っている (t 検定, $p = 0.031$). つまり, 瞳孔径が大きいと反応時間が短く, 瞳孔径が小さいと反応時間が長いセッションが多かった. 有意水準には達していないものの, 中報酬段階の試行でも同様の傾向があるのかもしれない ($p = 0.089$). 3つの報酬段階の試行で, ほとんど反応時間には差がなかったことを考慮すると (図 2), 瞳孔径の変動には, 報酬段階とは無関係に反応時間と相関する成分も含まれていると考えられる.

一方, 同様の解析をサッカードの最大速度と瞳孔径について実施したが, 特に正負の偏りは見い出せなかった (図 7).

サルは動機付けの状態をモニターする指標として, 反応時間, サッカードの最大速度, 瞳孔径を検討した. 当初考えていた反応時間やサッカードの速度は報酬段階が異なってもほとんど変化しない一方で, 瞳孔径は顕著に変化することが明らかになった. また, 瞳孔径と反応時間には負の相関も認められた. サルは遂行中の試行で得られる報酬量を予測し, 内的な状態を変えることが示された. 今後は課題遂行中のサルの V4 野より神経細胞活動を記録して, 受容野内の刺激が目標刺激であるか妨害刺激であるかで生じる活動差が, 瞳孔径や反応時間を要因に変動するかを解析し, 当初の計画を完了させる方針である.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------