

メラノプシン刺激量の異なる背景光が 注意に及ぼす影響の検討

齋藤 真里菜
滝川 瑞季
中嶋 莉那
藤田 優之
辻村 誠一

名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科
名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科
名古屋市立大学 芸術工学部
名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科
名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科

環境光の変化が認知に及ぼす影響と、そのメカニズムには未解明の部分が多い。環境光を受容するメラノプシン細胞は、近年では睡眠や覚醒への関与が示唆されており、認知への影響も注目されている。しかし、メラノプシン細胞が受容した光の効果を古典的な光受容細胞が受容した光の効果と切り分けることは難しく、研究が十分に進んでいるとは言い難い。本研究は、古典的な光受容細胞の刺激量を一定にしつつ、メラノプシン細胞の刺激量のみを変化させたメタマー光を背景光として認知課題を行い、メラノプシン刺激量の変化が注意の瞬きに及ぼす影響を調べた。その結果、メラノプシン刺激量が少ないときには有意に標的の検出成績が上がったが、注意の瞬きの特徴に条件間の差は見られなかった。このことから、メラノプシン細胞に適切な刺激量を与えることで課題に対する覚醒度や集中力が上がり、結果的に注意課題成績が変わることが示唆された。

Keywords: melanopsin, attention, arousal, silent-substitution, ambient light.

問題・目的

明るさや色を含む環境光の変化は認知に影響を与える可能性があるが、そのメカニズムや詳細は未だ完全に明らかになっていないとは言い難い。2000年代初頭に発見された第三の光受容細胞であるメラノプシン細胞は古典的な光受容細胞とは異なり、広い範囲の光、つまりは環境光の受容に優れている。近年、この細胞の受容した光情報が睡眠や覚醒に関与することが明らかになり、メラノプシン細胞と認知との関係も注目されるようになってきた。しかし、ヒトにおいてメラノプシン細胞にのみ特定の刺激を与えることは難しく、メラノプシン細胞と認知の研究はまだ発展途上である。メラノプシン細胞と認知に関連する多くの先行研究では、メラノプシン細胞の吸光感度のピークに近い短波長光と、そのピークから離れた長波長光を背景光として課題を行う方法を採用している。しかし、その結果は一貫しているとは言い難く (Mahoney & Schmidt, 2024)、表面的な色の心理効果に対する懸念も大きい。本研究は、古典的な光受容細胞の刺激量を一定にしつつ、メラノプシン細胞の刺激量のみを変化させるメタマー刺激を背景光として利用することで、上記の問題の解決に取り組んだ。メタマー刺激の見た目は測色的には同じであるため、色の心理効果をコントロールすることが可能になる。このメタマー光の提示のために独自に多原色光源装置を開発した。本研究の課題には、古典的な注意の瞬き課題を用いた。注意の瞬きとは、継時提示される刺激の中から複数のターゲットを探す課題を行ったとき、二つのター

ゲットの時間的な位置が近ければ、二つ目のターゲットの正答率が著しく下がるという現象である。この現象を説明する仮説は数多くあるが、一つ目のターゲット(T1)の処理の負荷が二つ目のターゲット(T2)の処理を阻むことが原因として説明されることが多い。もし、メラノプシン細胞が注意に向けた対象の処理効率や処理速度を上げることに関与するのであれば、背景光によって注意の瞬き現象の特徴に違いがみられるかもしれない。一方、メラノプシン細胞がそれらに関係なく、課題に対する集中力や構えを変えるのみであれば、全体的な成績は条件間で変化するが、注意の瞬きの特徴に対する変化は見られないかもしれない。この課題を行うことで、背景光の効果が注意のどのような側面に影響を及ぼすのか、より詳細に考察することが可能になると考えた。

方法

実験参加者

本実験は21名の男女の協力によって行われた。

実験装置

メタマー刺激の提示のために、独自に開発した多原色光源装置を利用した。この装置は、プロジェクタの光学系を改造することで作成した。

刺激

背景にはメラノプシン刺激量の異なる3種類の刺激を使用した。ベースラインとなるBGN条件のメラノプシン刺激量に対して、+30%となるメラノプシン刺激量を持つ背景をMH条件、-27%となるメラノプシン刺激量を持つ背景をML条件と呼んだ。

課題に使われるアルファベットと数字は、画面中心に提示された十字の注視点から視角4.4度となる上下左右の位置にランダムに提示された。この刺激の大きさは参加者ごとに異なり、事前の練習課題の成績が75%となるように調整された。

手続き

実験参加者は継時提示されるアルファベットの中から、T1として数字、T2としてアルファベットのXの有無を報告することが求められた。刺激はRSVP法で提示され、刺激提示時間は50ms、ISIは33msであった。T2の時間的な提示位置(Lag)は、T1提示後の1-6文字目であった。

結果

実験結果はFigure1の通りである。一元配置の反復測定分散分析の結果、背景の違いによるT1の検出成績が有意に異なることが分かった($F[2,40] = 5.23, p = 0.010 < .05$)。Bonferroni法を用いた多重比較の結果、MH・ML条件の間にのみ有意差が見られ($p < .05$)、メラノプシン刺激量が少ないほど検出成績が上がるようになった。二元配置の反復測定分散分析でT2の結果を解析したところ、背景の要因とLagの要因には主効果が見られなかった(背景: $F[2,40] = 3.55, p = 0.038 < .05$; Lag: $F[5,100] = 3.29, p = 0.009 < .01$)、交互作用は有意ではなかった($F[10,200] = 5.23, p = 0.136 > .10$)。背景の要因に関するBonferroni法の多重比較の結果、どの条件の間にも有意差は見られなかった($p > .05$)。Lagの要因に関する多重比較の結果、Lag1とLag2、Lag1とLag3の間に有意差が見られた($p < .05$)。

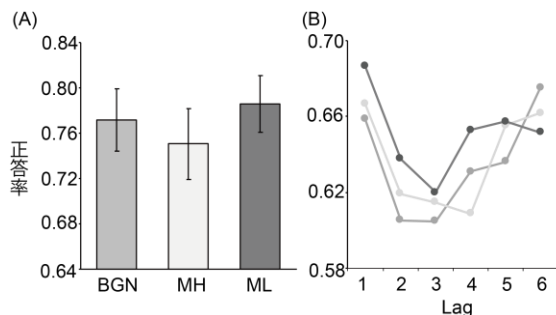


Figure 1. (A) T1 の正答率。エラーバーは標準誤差。(B) T2 の正答率。各条件に対応する色は(A)と同じ。

考察

本実験の結果から、メラノプシン刺激量の違いは課題全体の成績を変えるが、注意の瞬きの特徴を変えることはなかったことが分かった。メラノプシン刺激量が注意の瞬きの特徴を変化させなかったということは、環境光の違いが注意を向けた対象の処理速度や処理効率を変えることはないという意味になる。一方で、課題全体の成績は変わったため、メラノプシン細胞に対する

刺激は課題に対する集中力、注意散漫を防ぐ働きがあったことを示唆している。

同時に、本研究の結果は、メラノプシン刺激量が低いほど成績が良くなることを示唆した。これは、多くの先行研究の結果からは反しているが、メラノプシン細胞に「認知に対しての適切な刺激量」があると考えれば矛盾する結果ではない。明るすぎる環境を不快に感じることがあるように、メラノプシン細胞に対して適切な光を設定することは、認知にとって重要な要因となるかもしれない。

神経メカニズムに対する考察

私たちの結果からは、適切なメラノプシン刺激量が課題に対する集中力や注意散漫を変えることが示唆された。このメカニズムとして、私たちは青斑核(LC)の関与を提案する。LCはメラノプシン細胞からの直接投射はないものの、メラノプシン細胞から直接投射を受ける視交叉上核(SCN)と間接的に結ばれている。また、LCの自発的発火量の変化は、課題に対する注意散漫の程度を変えることも明らかになっている(Bari et al., 2020)。これらを併せて考えると、メラノプシン刺激量の変化がLCの自発的な活動量を変え、それによる課題への集中力の変化が起こったと考えるのが良いのではないだろうか。なお、注意の瞬き現象自体はLCの課題関連の発火と、その後続く不応期で説明されることもあるが、メラノプシン刺激量がこの不応期の長さを変えるわけではないのだろう。

今後の展望

LCの活動は課題遂行中の瞳孔反応で間接的に測定することが可能である。本研究の実験に瞳孔計測を加えることで、メラノプシン細胞と認知の関係を支える神経基盤を明らかにできるかもしれない。

結論

メラノプシン細胞が受容した光情報は、注意課題を行う集中力を上げて注意散漫を防ぐという点で成績に影響を与えたが、注意を向けた情報の処理効率や速度を促進することではなく、注意の瞬きの特徴を変えることはなかった。また、メラノプシン細胞には注意課題を行うのに「適切な」刺激量があり、刺激量を上げれば良いわけではないという点が本研究の新たな発見である。

参考文献

- Mahoney, H. L., & Schmidt, T. M. (2024). The cognitive impact of light: illuminating ipRGC circuit mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*, 25(3), 159-175.
- Bari, A., Xu, S., Pignatelli, M., Takeuchi, D., Feng, J., Li, Y., & Tonegawa, S. (2020). Differential attentional control mechanisms by two distinct noradrenergic coeruleo-frontal cortical pathways. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(46), 29080-29089.