

単語記憶力向上のための適応的瞳孔径操作の基礎検討

酒井 鴻^{1,a)} 正井 克俊^{2,b)} 崔 赫秦^{2,c)} 中村 優吾^{2,d)} 峯 恒憲^{2,e)} 荒川 豊^{2,f)} 福嶋 政期^{2,g)}

概要：驚くと瞳孔が大きくなるというように、感情が動くとき、また、視覚刺激によって瞳孔径の大きさは変化することが知られている。一方で、瞳孔径を動的に変化させることによる感情や認知への影響については解明されていないため、本研究では、瞳孔径を変化させたときの脳への影響について調査する。本稿では、認知の中でも特に記憶力に着目した。瞳孔径を動かしたときの記憶力の変化を調査する目的で、ディスプレイの輝度変化を用いて瞳孔径を動かす条件と動かさない条件で単語記憶テストを行ったときのスコアの違いを調べる実験を行った。その結果、正答率においては瞳孔径を変化させた条件の方が良い傾向を示したもが、今回の条件では有意な違いを示さなかった。提示するコンテンツや光刺激を変えたり、なるべく光を認識させず瞳孔だけを変化させたりすることで、記憶力が向上する条件を調査する予定である。

1. はじめに

情動刺激や視覚刺激によって瞳孔反応が引き起こされ、瞳孔径の大きさが変化することが知られている [1][2]。脳のはたらきが瞳孔に影響を与えていることは明らかであるが、逆に瞳孔径の変化が脳に与える影響については解明されていない部分が多い。近年の研究では、瞳孔を自己制御することで覚醒制御や脳幹構造の活動を調節できるという研究結果 [3] もあり、瞳孔の変化が脳に影響を与えられる可能性を示唆している。本稿では、瞳孔が動いている最中の脳のはたらきへの影響の中でも記憶力に着目し、適応的な瞳孔径の変化が記憶力へ与える影響を調査する。

照明環境の変動によって瞳孔が散大した状態だと、認知能力の中の流動性知能が向上するという研究結果がある [4]。これは照明環境によって瞳孔径をある程度一定の大きさに保った状態での実験であり、瞳孔径の動的な変化そのものには着目していない。

我々の先行研究では、音刺激により情動を引き起こした時の瞳孔径の変化を測定し、それを光刺激で再現するための基礎調査を行った [5]。本稿の実験では、nonsense word という単語を記憶するタスクを行い、その際に瞳孔を適応的に動かすことで単語記憶力への影響を調査した。情動に

よって瞳孔が散大するという事象の逆を行うには、瞳孔が散大するという動きそのものを適応的に再現する必要があると考えたためである。瞳孔径の変動以外の要因を除外するため、なるべく実験参加者には認識されにくい刺激を用いて瞳孔径の操作を行うのが望ましいが、初回の調査として確実な瞳孔操作を行うため、画面の輝度を極端に変化させる方法を取った。

2. 実験手法

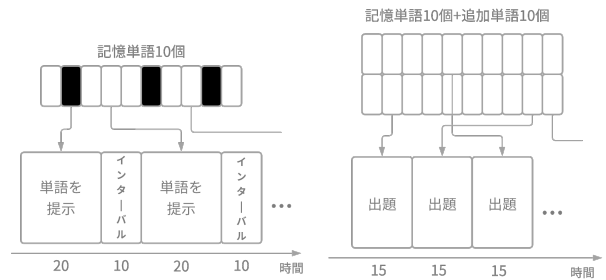


図 1 記憶フェーズの流れ

図 2 テストフェーズの流れ



図 3 白単語（背景白）の提示



図 4 黒単語（背景黒）の提示

¹ 九州大学大学院システム情報科学府

² 九州大学大学院システム情報科学府

a) sakai.ko.424@s.kyushu-u.ac.jp

b) masai@ait.kyushu-u.ac.jp

c) choi@ait.kyushu-u.ac.jp

d) y-nakamura@ait.kyushu-u.ac.jp

e) mine@ait.kyushu-u.ac.jp

f) arakawa@ait.kyushu-u.ac.jp

g) shogo@ait.kyushu-u.ac.jp

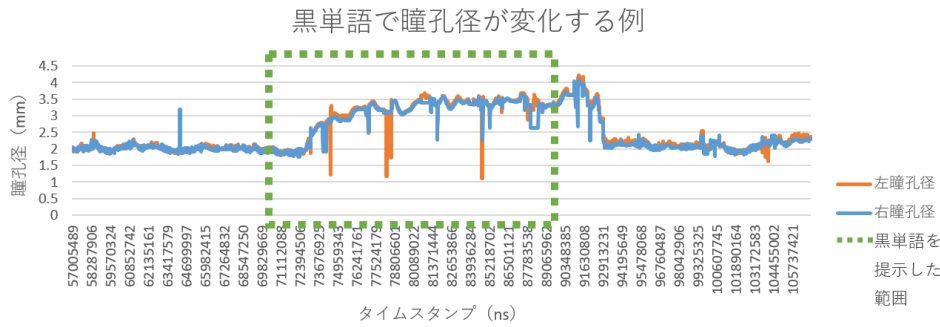


図 5 黒単語提示時の瞳孔径のグラフ

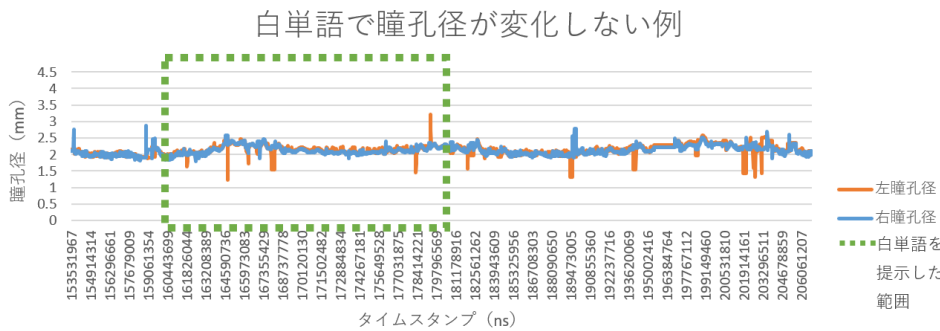


図 6 白単語提示時の瞳孔径のグラフ

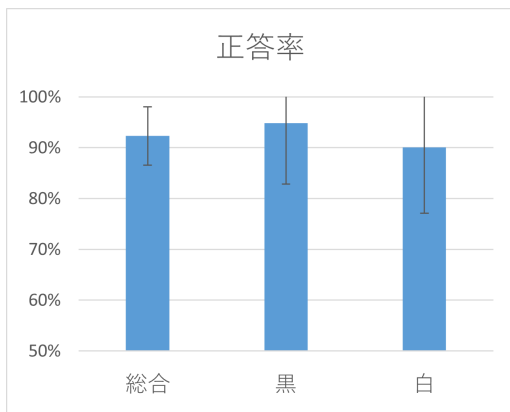


図 7 テストフェーズでの正解率

瞳孔径を変化させることで、単語記憶の向上が可能かを検証する基礎検討として、瞳孔径を計測しながら、単語記憶とそのテストを行う Unity で自作したソフトウェアを用いて実験した。瞳孔径を計測するためのアイトラッカーには Tobii Pro Nano を用いた。瞳孔径の変化は、単語を提示する際に背景の輝度を変化させることで行った。また、記憶させる単語に使用したのは、意味を持たない創作された単語である nonsense word 群であり、[6] に掲載されていたものから一部を引用した。これは全ての実験参加者が予め知らない単語を記憶させることで条件を統一するためである。実験には 13 人の成人男性が参加した。実験は、静かな実験室内で一人ずつ行った。実験環境を図 3, 4 に示す。実験は (1) 記憶フェーズと (2) テストフェーズに分かれ

ている (図 1, 2)。 (1) では 10 個の単語を、ランダムな順番で一つずつ画面に提示した。一単語を提示する時間は 20 秒で、実験参加者にこの時間内に単語を記憶させた。また、次の単語を提示する前に何も無い白色一色の画面を 10 秒間提示することで、瞳孔径をベースラインに戻した。単語提示時の画面の輝度には単語ごとに違いがあり、輝度の高い (白い) タイプと低い (黒い) タイプがある。10 単語のうちランダムな 3 単語を黒にし、黒の単語を提示するとき実験参加者の瞳孔径を大きくすることができる (図 3, 図 4)。また、記憶フェーズでは瞳孔径を計測した。 (2) テストフェーズでは、 (1) で提示した単語 10 個と提示していない単語 10 個を合わせたものをランダムな順番で一つずつ表示し、その単語が記憶フェーズで提示されたか否かをテンキーを用いて回答させた。ここで単語を表示するときの輝度は全て白である。回答の正否と、単語が白黒どちらのタイプかを記録した。

3. 実験結果

得られたデータから、白の単語と黒の単語で正答率に違いはあるか、解析を行って調査した。実験の結果、テストフェーズでの正答率は図 7 のようになった。グラフ中の白の項目は、白の単語の中でも記憶フェーズで提示されたもののみの正答率である。

正規性を仮定した対応あり t 検定の結果、 $p=0.3897$ となり、黒の単語と白の単語では正答率に有意差は見られな

かった。

図5, 6は測定した瞳孔径の波形の一部を切り取ったものである。まばたきなどで測定エラーが起こった場合はその直前の値で補間した。これらのグラフから、黒の単語を提示したとき瞳孔径が大きく拡大して動いていたこと、白の単語では瞳孔径はベースラインから大きく動いていなかったことを確認した。

4. 考察

今回の実験で有意差は見られなかった。その一因として感情と全く関連付いていない nonsense word を提示したことで実験参加者の感情的な反応や認知プロセスが十分に刺激されなかったからではないかと考えている。瞳孔径は全く感情のない状態から感情を想起させるものではなく、既に一定の感情がある状態からその感情を増幅させる効果のあるものである可能性があるからである。そのため、アニメーションや人の画像など、感情を想起させるコンテンツを使用すれば効果が得られる可能性がある。

光刺激が当てられているという認識自体が実験参加者に影響を与えている可能性も否定できないので、なるべく認識できない光刺激を提示するなどして、瞳孔径の変動以外の影響を受けないようにすることも検討している。

また、今回の実験では参加者が頭の中で反復して単語を唱えることで記憶することへの対策を行っていなかった。そのため、今後の実験では記憶フェーズとテストフェーズの間で簡単な計算問題を解かせることで実験の目的と異なる方法で記憶することを防ぐ予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省による Society 5.0 実現化研究拠点支援事業 (グラント番号: JPMXP0518071489) による支援のもと実施されている。

参考文献

- [1] E. H. Hess, "Attitude and pupil size," *Scientific American*, vol. 212, no. 4, pp. 46–55, 1965. [Online]. Available: <http://www.jstor.org/stable/24931839>
- [2] 大山正, 今井省吾, 和気典二【編】, 新編感覚・知覚心理学ハンドブック pt. 1 誠信書房, 1994, pp. 895–900. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/2324/6446445>
- [3] S. N. Meissner, M. Bchinger, S. Kikkert, J. Imhof, S. Missura, M. Carro Dominguez, and N. Wenderoth, "Self-regulating arousal via pupil-based biofeedback," *Nature Human Behaviour*, Oct. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41562-023-01729-z>
- [4] 京極 太一, 土田 修平, 寺田 努, 塚本 昌彦, "瞳孔径の変動が認知能力に与える影響の評価", マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2023 論文集, vol. 2023, pp. 1319–1327, 06 2023. [Online]. Available: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1050860532220391168>
- [5] 酒井 鴻, 中村 優吾, 福嶋 政期, 荒川 豊, "音刺激による情動性瞳孔反応を再現するための光刺激に関する基礎調査", 信学技報, vol. 123, no. 60, MVE2023-7, 2023, pp. 36–41.
- [6] 376+ Nonsense Words (Pseudowords) – 6 Free

Lists, <https://literacylearn.com/376-nonsense-words-or-pseudowords/>.