

瞳孔径観察による眼疲労測定手法の開発

Measurement of visual fatigue based on pupillary responses

岡本 洋輔*

Yosuke Okamoto*

Summary

This study aimed to obtain knowledge about objective evaluation method of visual fatigue by measuring pupillary responses. Subjects were asked to perform a visual task during the experiment, and pupil diameters were continuously measured for 5 minutes at the beginning, in the middle, and at the end of the experiment. Subjective visual fatigue was also measured using the five-point scale. The results showed that the pupil diameter was tended to be larger when it was measured in the middle and at the end than when measured at the beginning of the experiment. In addition, the subjective scores of visual fatigue significantly increased in the middle and at the end, as compared to that at the beginning. These results suggest that the pupil diameter tends to be larger as visual fatigue increases. This implies the possibility of evaluating visual fatigue by observing the pupil diameter.

キーワード：眼疲労，客観的評価，瞳孔，自律神経系

Keywords : Visual fatigue; Objective evaluation; Pupil; Autonomic nervous system

1. はじめに

近年，人工光源として LED の普及がめざましく，照明用光源や液晶ディスプレイのバックライトとしての利用が進んでいる．我々は日常生活においてこれらの光源によって照らされた生活空間あるいはディスプレイから多くの情報を取り入れている．LED には長寿命や高効率といった利点があるが，一方で LED 光源特有の性質によって健康に悪影響を生じる可能性が指摘されて始めている⁽¹⁾．

光による健康悪影響として眼疲労が挙げられるが，快適な光環境の実現において，眼疲労を引き起こしにくくすることは重要な要素である．しかし，光の物理的特性と眼疲労との関係についての具体的な知見は少ないのが現状である．その一因として，眼疲労の評価方法が確立されていないことが考えられる．眼疲労度を測定する方法としては，自覚症状による自己診断が

一般的に用いられている．しかし，自己診断はいずれの研究でも主観的であいまいな評価であることが指摘されており，正確に評価が出来ているとは言い難い^(2,3,4)．その他の眼疲労度測定方法に関しては，臨界点滅融合周波数や瞬目など様々な心理・生理的評価指標を用いて眼疲労の程度を推定する試みが行われてきた．しかし，臨界点滅融合周波数の測定は，周波数の異なる点滅光刺激を数多く呈示してそれぞれに判断を求める必要があるため，測定時間が長くなることや被験者の注意水準が低いと判断があいまいになりやすいことなど問題点も多い．また，瞬目計測は客観的ではあるが，長時間にわたる計測が必要となる．そこで，眼疲労の客観的な評価方法として瞳孔に着目した研究が行われている^(3,4)．瞬時的な光刺激に対する瞳孔の反応（対光反応）に着目した例では，最大瞳孔収縮率，収縮速度，再拡張速度の 3 つの指標は VDT 作業の前後および休息の前後で有意に変化したことから，眼疲労を客観的に

* 建築学科

推測する指標として有効であるとしている⁽⁴⁾。しかしながら、これらの指標は眼筋系の疲労を反映しているとされており、眼筋は容易には疲労を起こしにくいとの意見もある。

そこで本研究では、瞳孔の瞬時的な反応ではなく経時的な活動を観察することによって、神経系の眼の疲労を測ることを目的とした。実験では眼疲労を引き起こすと思われる視作業を 50 分間行ってもらい、課題の前後、途中で瞳孔径の経時変化および主観的眼疲労度の測定を行い、最も眼疲労が反映されていると考えられる瞳孔径の特徴を明らかにすることに取り組んだ。

2. 実験概要

2.1 実験課題

実験課題としては、すぐに課題の習熟ができ、眼疲労を誘発させるものを選択する必要がある。そこで、視作業には数字探索課題を課した。これは、ディスプレイ上に散りばめて表示されている数字を制限時間内に 1 から 99 まで順にマウスでクリックしていくもので、制限時間切れでゲームオーバーになるか、もしくは数字を全て探し終えてゲームをクリアすると再び最初から始まる。被験者にはこれを実験時間中に繰り返し行ってもらい、クリックできた個数を測定した。

2.2 瞳孔径測定

視作業の前後および途中で瞳孔径の測定を行った。測定にはウェアラブル型眼機能測定装置 (Tobii Pro Glasses 2) を用いた。被験者には眼機能測定装置を着用した状態で暗室内の椅子に座ってもらい、図 1 に示すように、正面に配置された液晶ディスプレイ上に明るい刺激 (280 cd/m^2) と暗い刺激 (10 cd/m^2) を交互に呈示した。各明暗刺激の呈示時間は 24 秒とし、それぞれ計 6 回呈示した。明暗刺激呈示中の瞳孔径を連続的に測定した。1 回の瞳孔径測定にかかる時間は約 5 分であった。

2.3 主観的眼疲労度測定

視作業の前後および途中で 5 段階評価 (5. 非常に疲れている, 4. かなり疲れている, 3. 少し疲れている, 2. わずかに疲れている, 1. 全く疲れていない) による主観的眼疲労度の測定を行った。また同時に、眼のだるさと眼の乾きについても 5 段階評価による主観測定を行った。

2.4 被験者

男性 8 名と女性 2 名の計 10 名が実験に参加した。年齢は 20~22 歳であった。

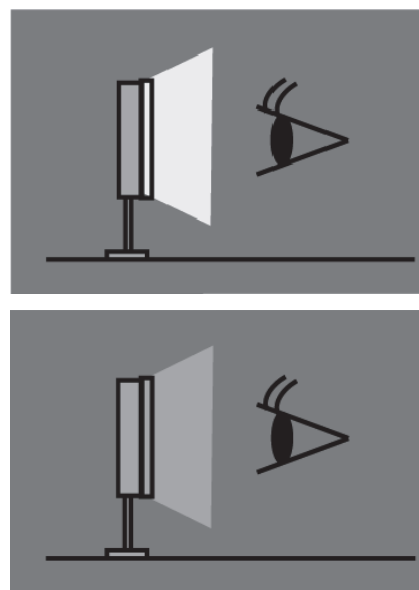


図 1. 瞳孔径測定時の刺激呈示の様子。明刺激 (上) と暗刺激 (下) を交互に呈示した。

2.5 実験手順

初めに被験者には前室で実験概要の説明を行った。その際、前日の睡眠時間や視力矯正器具の使用の有無を調査した。その後暗室に移動してもらい、作業を円滑に進めるための練習を行った。視作業の時間は計 50 分とした。また、本実験中は眼疲労の緩和を極力防ぐために休憩を挟まなかった。実験にかかる時間は約 80 分であった。実験の図 2 に手順を示す。

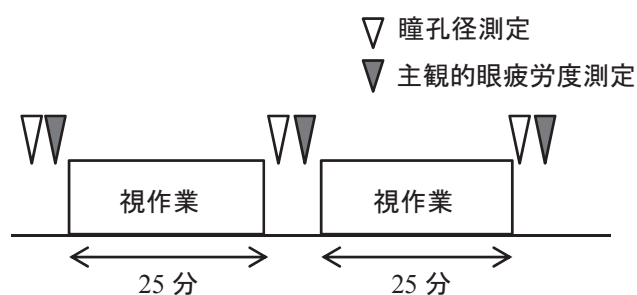


図 2. 実験の手順

3. 結果

3.1 視作業成績

実験中に行った視作業の成績については、被験者間で差が見られたものの、1名の被験者を除いては、前半と比較して後半に実施した作業において成績が高くなった。

3.2 瞳孔径

全被験者の内、3名の被験者で瞳孔径の変化を連続的に測定することができなかった。従って、瞳孔径について残りの7名の結果を採用した。瞳孔径測定の結果、明刺激を呈示した場合には、刺激呈示後間もなく瞳孔が収縮し始め、約2.5秒後から刺激終了時まで一定の大きさに収縮したままであった。一方、暗刺激を呈示した場合には、刺激呈示後間もなく瞳孔が散大し始め、約10秒後から一定の大きさを保った。視作業の前後および途中で測定した瞳孔径を被験者間で平均し、比較を行った。図3に暗刺激呈示中の瞳孔径の変化を、図4に明刺激呈示中の瞳孔径の変化を示す。暗刺激呈示中の瞳孔径は、視作業前と比較して、視作業の途中および後で瞳孔径がより散大する傾向が見られた。一方、

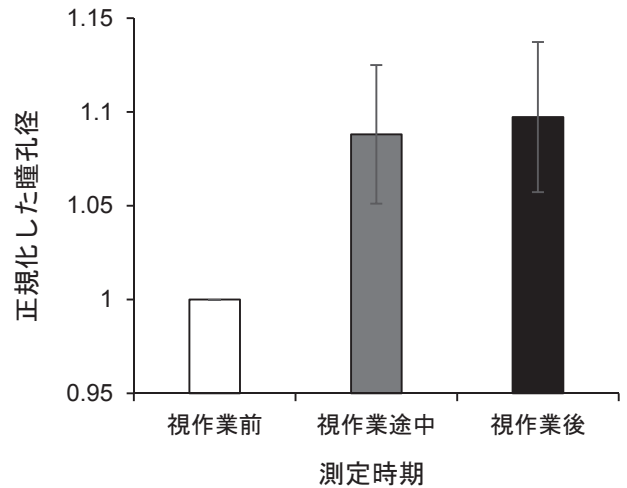


図5. 測定時期ごとの正規化した瞳孔径の平均と標準誤差

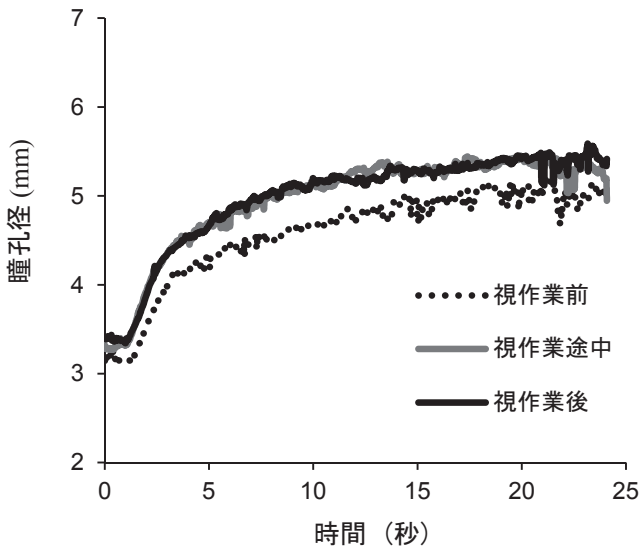


図3. 暗刺激呈示中の瞳孔径の変化 (被験者平均)

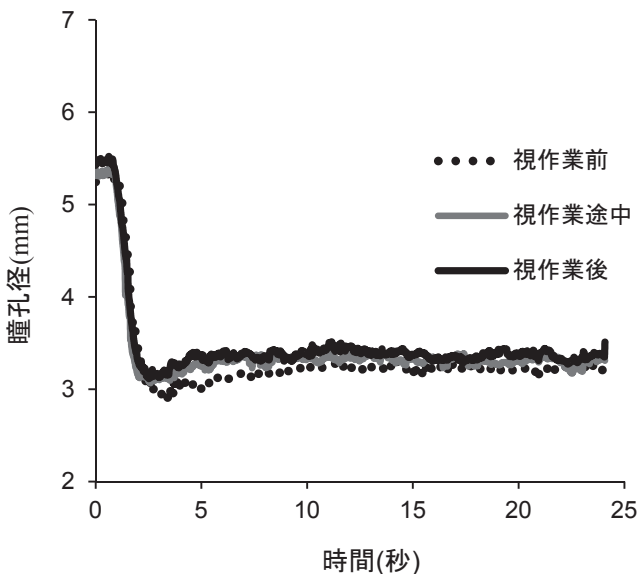


図4. 明刺激呈示中の瞳孔径の変化 (被験者平均)

明刺激呈示中の瞳孔径は視作業の前後および途中で大きな違いは見られなかった。

暗刺激呈示中の瞳孔径の変化において、視作業中の測定時期における違いが見られたため、全呈示時間をいくつかの区間に分けて視作業の前後および途中での瞳孔径の平均値を求めた。また、瞳孔径の大きさには個人差があるため、視作業前の値で視作業の途中と後の値を正規化した。特に瞳孔径の差が大きく見られた区間(8~11秒)の平均値を図5に示す。視作業の前に比べて視作業の途中および後で瞳孔径が大きくなったが、視作業途中と後では大きな差は見られなかった。測定時期を主要因とする一元配置分散分析の結果、測定時期による瞳孔径の大きさに有意な差は見られなかった。

3.3 主観的眼疲労度

主観的眼疲労度の全被験者平均を図6に示す。視作業前、途中、後の順に主観的眼疲労の評価値が大きくなった。測定時期を主要因とする一元配置分散分析と多重比較の結果、視作業前と途中および視作業前と後で有意な差 ($p < 0.01$) が見られたが、視作業途中と後では有意な差は見られなかった。主観的な眼のだるさについても、視作業前、途中、後の順に評価値が大きくなった。分散分析の結果、視作業前と後で有意な差 ($p < 0.01$) が見られた。主観的な眼の乾きについては、有意な差は見られなかった。

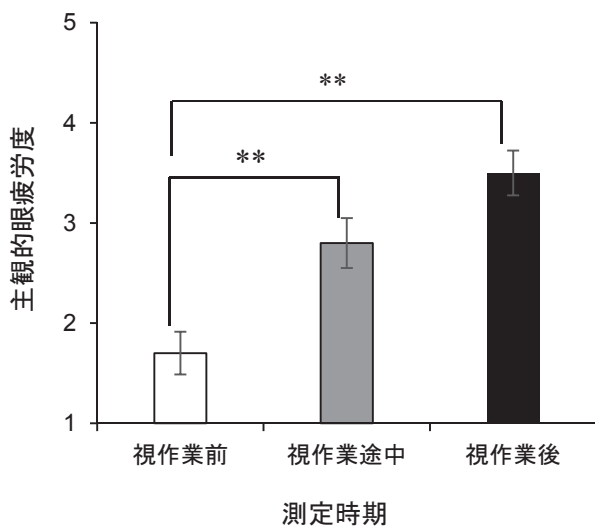


図 6. 測定時期ごとの主観的眼疲労度の平均と標準誤差 (** $p < 0.01$)

4. 考察

実験中に被験者に課した視作業の成績は、1名の被験者を除いて前半に比べて後半の作業で上昇していた。これは作業時間が増加するに従って作業への慣れたことによると考えられる。またこのことは、実験時間全体を通して被験者が視作業に意識的に取り組んでいたことを示している。

瞳孔径の変化については、暗刺激を呈示した際に、視作業前と比較して、視作業途中や視作業後においてより散大する傾向が見られた。また、主観的眼疲労度は、視作業前と比較して、視作業途中や視作業後に有意に増加したことから、視作業によって視覚的負荷が高まったことを示している。これらの結果から、暗刺激を呈示中の瞳孔径は眼疲労が進むにしたがってより散大すると考えられる。瞳孔は自律神経系に支配されており、交感神経系の作用によって散大し、交感神経系は高ストレス状態で優位となることが知られている。本実験で瞳孔径がより散大したことは、視作業によって視覚的ストレスが蓄積したことを反映したと考えられる。

一方、明刺激を呈示した場合には、作業時期によって瞳孔径に大きな違いは見られなかった。瞳孔は副交感神経の作用によって収縮し、副交感神経系はリラックス状態で優位となることが知られている。そのため、反対に視覚的ストレスを与える本実験では結果が表れなかったと考えられる。

以上のことから、視覚的ストレスの蓄積を反映して

いると思われる瞳孔径の散大の様子を連続的に測定することによって、眼疲労の客観的評価が行える可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) IEEE Standard PAR1789. A review of the literature on light flicker: Ergonomics, biological attributes, potential health effects, and methods in which some LED lighting may introduce flicker. IEEE, Piscataway, NJ (2010).
- 2) 斎藤, 上村, 小石, 米村: テレビゲームが近点距離, フリッカー値, 自覚症状などに及ぼす影響について, 熊大教育実践研究, Vol. 14, pp. 19-26 (1997).
- 3) 久保, 藪田, 山羽, 阿山: 照明下での視作業における眼疲労への分光分布の影響—蛍光灯とLEDの比較—, 照明学会誌, Vol. 98, pp. 79-86 (2014).
- 4) 近藤, 西村, 石井, 下田, 吉川: Eye-Sensing Displayを用いた眼疲労の客観的検査方法に関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム, Vol. 2, pp. 643-648 (2006).