

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：33907

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K04469

研究課題名(和文) 瞳孔径を指標とした眼疲労測定手法の開発

研究課題名(英文) A method for visual fatigue estimation using pupillary response

研究代表者

岡本 洋輔 (Okamoto, Yosuke)

大同大学・工学部・准教授

研究者番号：80612184

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)：計50分間の視作業の前後および途中で、瞳孔径と主観的な眼疲労度の測定を行った。共に視作業前と比較して、視作業の途中および視作業後で有意に値が大きくなったことから、視覚的負荷が蓄積するほど瞳孔径は散大すると考えられる。光環境特性別に視作業時の瞳孔径を測定した結果、照明光の波長分布が一様な場合より偏りがある場合で、照度レベルが普通より高い場合で、明と暗の切り替わりが遅い場合より速い場合で、低照度・低色温度よりも高照度・高色温度の環境で休憩した場合で、それぞれ瞳孔径がより散大する傾向がみられた。従って、これらの光環境下での視作業は視覚的負荷が高い可能性が考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現代生活において眼は、昼夜を問わず、照明光だけでなくパソコンやスマートフォンのディスプレイ光など様々な性質の光に暴露されている。しかしながら光の特性が眼疲労に及ぼす影響については科学的に明らかにされていない部分が多い。本研究結果である瞳孔径の観察による眼疲労評価手法は、被験者に特段の作業や応答を求めることなく、客観的かつ低被験者負担で光環境の視覚的負荷を評価できるものであり、眼への負担が少ない、快適で健康的な生活環境の実現に貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：Pupil diameter and subjective visual fatigue were measured before, during, and after a total of 50 minutes of visual tasks. The both values increased significantly during and after the visual tasks compared to before the visual tasks. This result suggests that the pupil diameter increases as the visual load accumulates. The pupil diameter during visual tasks tended to be larger, when the wavelength distribution of the light is more biased than when it is uniform, when the illuminance level is higher than usual, and when the light-dark cycle is shorter than longer, when resting in the light with high illuminance level and color temperature than with low illuminance level and color temperature. Therefore, it is possible that performing visual tasks in these light environments has a high visual load.

研究分野：建築環境工学

キーワード：眼疲労 評価法 瞳孔径 光環境 照明

<1. 研究開始当初の背景>

眼の疲労を引き起こしにくい光環境を設計することは重要であるが、光の物理的特性と眼疲労との関係については不明な点が多い。その原因の一つとして、眼疲労の評価方法が確立されていないことが挙げられる。眼疲労の程度を正確に自覚することは難しく、また、心理物理測定手法の点滅知覚閾（フリッカー値）測定は、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、また被験者が測定結果を意図的に操作することも可能なことなど問題点も多い。従って、眼疲労を客観的かつ低被験者負担で測定できる方法の確立が必要であると考えた。

<2. 研究の目的>

眼疲労の評価に際して眼機能を計測することは有効であると考えられ、本研究は、自律神経系の支配を受ける瞳孔の活動に着目し、瞳孔径の経時的变化の観察から、眼疲労を反映する特徴を抽出しようとするものである。具体的には、視作業時の瞳孔径の変化を作業負荷やその他の指標と比較して、眼疲労度を最も良く反映する瞳孔径の特徴を明らかにし、さらに光環境特性が眼疲労に及ぼす影響を瞳孔径の観察によって評価することを目的としている。

<3. 研究の方法>

(1) 眼疲労度を反映する瞳孔径の特徴を抽出する方法の検討

被験者にディスプレイ上に散りばめられた数字を順にクリックしていく数字探索課題を50分間行ってもらった。視作業課題の前後および途中に、ディスプレイ上に明るい刺激と暗い刺激を24秒ずつ交互に交互に計6回ずつ呈示し、その間の瞳孔径を連続的に測定した。また、瞳孔径測定と同時に眼の疲労について5段階評価による主観測定を行った。

(2) 光環境の眼疲労への影響の瞳孔径観察による評価

① 照明光の分光分布が眼疲労に及ぼす影響

光源として、分光分布が比較的一様な光源（ $R_a = 95$ ）と偏りの大きい光源（ $R_a = 25$ ）の2種類を使用し、机上面での照度と相関色温度を同じになるよう設定した。各照明条件で、被験者にカナ拾いテストと数字探索課題を計40分間行ってもらい、視作業の前と後に、ディスプレイ上に明刺激と暗刺激を20秒ずつ呈示して瞳孔径を測定した。また、フリッカー値測定と眼の疲労についての主観測定も行った。

② 作業面照度が眼疲労に及ぼす影響（普通照度と高照度条件の比較）

机上面照度を500 lx（普通照度条件）と2,000 lx（高照度条件）の2条件に設定し、各照明条件で被験者にカナ拾いテストと数字探索課題を計40分間行ってもらい、視作業前後に、ディスプレイ上に明刺激と暗刺激を呈示して瞳孔径を測定した。また、フリッカー値測定と眼の疲労についての主観測定も行った。

③ 明暗の切り替わり時間が眼疲労に及ぼす影響

被験者には液晶ディスプレイ上に明刺激と暗刺激を交互に呈示し、明暗刺激の切り替わりは15秒ごと、60秒ごとの2条件および明暗の切り替わりのない条件を設定した。各条件において光刺激を計20分間注視してもらった。視作業前後及び途中に、瞳孔径、フリッカー値、主観的眼疲労度の測定を行った。

④ 休憩中の照度・色温度が視作業時の眼疲労に及ぼす影響

高照度・高色温度の照明条件に設定した机上面で視作業を行い、視作業途中に設けた5分間の休憩中の照明光を、視作業時から変化させない条件と低照度・低色温度に変化させる条件の2条件を設定した。被験者には視作業として数字探索課題を休憩の前後に20分間継続してもらった。視作業の前後に主観的眼疲労度、フリッカー値、瞳孔径の測定を行った。

⑤ ディスプレイの点滅周波数が眼疲労に及ぼす影響

液晶ディスプレイのバックライトを点滅が知覚できない上限周波数より少し高い周波数(60Hz)とかなり高い周波数(240Hz)で点滅させた条件で被験者に漢字間違い探しの視作業課題を40分間行ってもらった。視作業前後及び途中に、瞳孔径、フリッカー値、主観的眼疲労度の測定を行った。

⑥ 作業面照度が眼疲労に及ぼす影響(低照度と普通照度条件の比較)

机上面照度を50lx(低照度条件)と500lx(普通照度条件)の2条件に設定し、各照明条件で被験者にカナ拾いテストと数字探索課題を計40分間行ってもらい、視作業前後及び途中に、瞳孔径、フリッカー値、主観的眼疲労度の測定を行った。

<4. 研究成果>

(1) 眼疲労度を反映する瞳孔径の特徴を抽出する方法の検討

瞳孔径は、明刺激を呈示した場合には、視作業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を保った。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。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視作業後で散大する傾向が見られた。そこで、いくつかの区間ごとに視作業の前後および途中での瞳孔径の平均値を求めた。瞳孔径の差が特に大きく見られた区間(8~11秒)の平均値を図1に示す。視作業前と比較して、視作業途中や視作業後で有意に散大した。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。これらの結果から、暗刺激呈示中の瞳孔径は眼疲労度が増加するに従ってより散大すると考えられる。

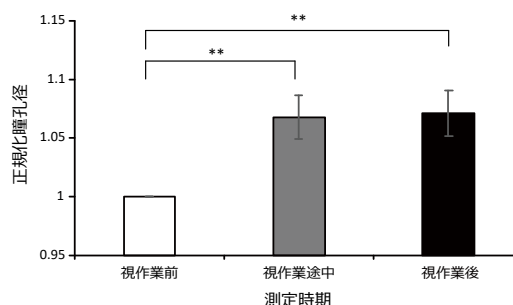


図1. 暗刺激呈示中の瞳孔径の平均値

(2) 瞳孔径観察による光環境の眼疲労への影響の評価

① 照明光の分光分布が眼疲労に及ぼす影響

暗刺激呈示後 5~10 秒の瞳孔径について解析を行った。視作業前後での瞳孔径と主観的眼疲労度の変化は、統計的に有意な差は見られなかったが、分光分布が比較的一様な光源に比べて、分光分布の偏りが大きい光源で照明した場合に大きくなる傾向が見られた。従って、分光分布が比較的一様な光源よりも偏りの大きい光源による照明環境下での視作業は視覚的負荷が高い可能性があることが考えられる。

② 作業面照度が眼疲労に及ぼす影響（普通照度と高照度条件の比較）

暗刺激呈示後 10~15 秒の瞳孔径について解析を行った。両照度条件とも、視作業後での瞳孔径が視作業前に比べて大きくなったが、変化量は普通照度条件と比較して高照度条件で有意に大きくなった。フリッカー値、主観評価値の変化量に照度条件による有意差は見られなかったが、瞳孔径の結果から、照度が高い環境下での視作業は普通照度環境下に比べて視覚的負荷が高いと考えられる。

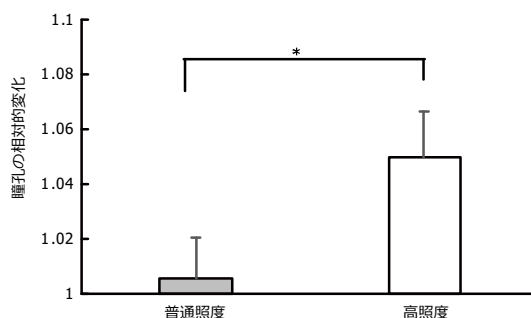


図 2. 視作業前後での瞳孔径の変化量

③ 明暗の切り替わり時間が眼疲労に及ぼす影響

暗刺激呈示後 10~15 秒の瞳孔径、フリッカー値、主観的眼疲労度のいずれにおいても、明暗切り替わり条件による有意な差は見られなかったが、明暗の切り替わりが早い場合に遅い場合よりも、瞳孔径、フリッカー値の低下、主観的眼疲労度のいずれも大きくなる傾向が見られた。従って、明暗が早く切り替わるような光環境の方が遅く切り替わる光環境よりも視覚的負荷が高い可能性が考えられる。

④ 休憩中の照度・色温度が視作業時の眼疲労に及ぼす影響

休憩前（1 回目の作業後）と休憩後での指標の変化を条件間で比較した結果、高照度・高色温度での休憩に比べて低色温度・低照度での休憩の方が、主観的眼疲労度は小さくなる傾向が見られ、フリッカー値の低下は有意に小さく、瞳孔径は小さくなる傾向が見られた。従って、休憩時に照明光を低照度・低色温度に変化させた方が眼疲労の回復が促進されやすかったのではないかと考えられる。

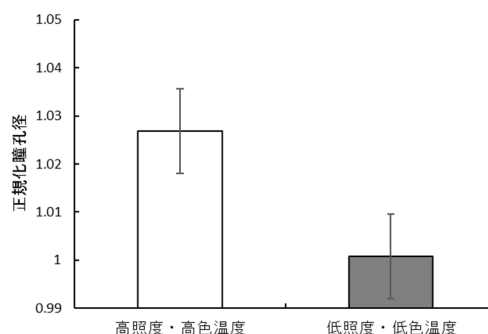


図 3. 休憩前後での瞳孔径の変化

⑤ ディスプレイの点滅周波数が眼疲労に及ぼす影響

暗刺激呈示中の瞳孔径は、60 Hz の場合には作業時間に伴う変化が見られなかったが、240 Hz では作業後で有意に小さくなった。また、240 Hz に比べて 60 Hz で、フリッカー値は有意に小さくなり、主観的眼疲労度は高くなる傾向が見られた。これらのことから、液

晶ディスプレイの見た目にほとんど違いは感じられないが、バックライトが閾よりもより高い周波数で点滅している方が視覚的負荷は低いと考えられる。

⑥ 作業面照度が眼疲労に及ぼす影響（低照度と普通照度条件の比較）

フリッカー値は作業が進むに従って低下し、低照度条件の方がより低下が大きい傾向が見られたことから、低照度環境での視作業は明視性が低下することで視覚的負荷が高くなったと考えられる。暗刺激呈示中の瞳孔径は、普通照度条件では作業途中で増大し、作業後でさらに増大する傾向が見られたが、低照度条件では作業途中で縮小し、作業後で増大する傾向が見られた。これは、低照度環境では光刺激量が少ないため、一時的に生理的負担が減少し、その後は視作業によって負担の蓄積が進んだことを示しているのではないかと考えられる。

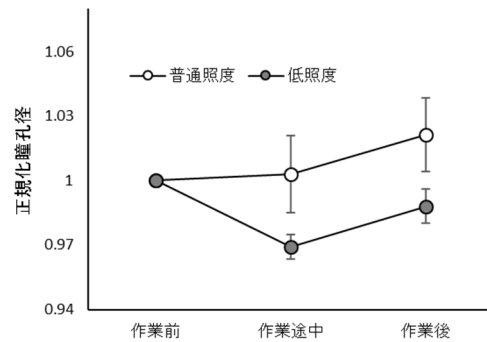


図 4. 各照度条件での瞳孔径の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 岡本洋輔	4. 巻 54
2. 論文標題 照明光の分光分布が眼疲労に及ぼす影響の瞳孔径測定による評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 照明学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 6-0-02
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本洋輔	4. 巻 2021
2. 論文標題 周辺視における点滅光誘目効果についての検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 517-518
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本 洋輔	4. 巻 2020
2. 論文標題 瞳孔径測定による作業面照度が眼疲労に及ぼす影響の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 493 - 494
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本 洋輔	4. 巻 52
2. 論文標題 瞳孔径の経時的変化と眼疲労との関係についての検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 照明学会全国大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 6-0-08
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本 洋輔	4. 巻 2019
2. 論文標題 誘目性に対する点滅光の輝度の効果についての検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 503-506
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yosuke Okamoto	4. 巻 9
2. 論文標題 The attentional effect by temporal change of luminance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 9th International Symposium of Temporal Design	6. 最初と最後の頁 45-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yosuke Okamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 The attentional effect of flickering visual targets	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 11th Asia Lighting Conference	6. 最初と最後の頁 98-99
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡本 洋輔	4. 巻 -
2. 論文標題 点滅及び非点滅視対象に対する検出時間の比較	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 513-514
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 岡本洋輔
2. 発表標題 照明光の分光分布が眼疲労に及ぼす影響の瞳孔径測定による評価
3. 学会等名 2021年度照明学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本洋輔
2. 発表標題 周辺視における点滅光誘目効果についての検討
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岡本 洋輔
2. 発表標題 瞳孔径測定による作業面照度が眼疲労に及ぼす影響の評価
3. 学会等名 日本建築学会2020年度大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本 洋輔
2. 発表標題 光の性質による眼疲労への影響の違い
3. 学会等名 第6回感覚・知覚心理シンポジウム「環境によるストレス」
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡本 洋輔
2. 発表標題 瞳孔径の経時的変化と眼疲労との関係についての検討
3. 学会等名 2019年度照明学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡本 洋輔
2. 発表標題 誘目性に対する点滅光の輝度の効果についての検討
3. 学会等名 2019年度建築学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke Okamoto
2. 発表標題 The attentional effect by temporal change of luminance
3. 学会等名 The 9th International Symposium of Temporal Design (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yosuke Okamoto
2. 発表標題 The attentional effect of flickering visual targets
3. 学会等名 The 11th Asia Lighting Conference (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本洋輔
2. 発表標題 点滅及び非点滅視対象に対する検出時間の比較
3. 学会等名 2018年度日本建築学会大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小松義典、渡邊慎一、石井仁、岡本洋輔、石松丈佳	4. 発行年 2022年
2. 出版社 理工図書	5. 総ページ数 269
3. 書名 建築の環境 - 基礎から学ぶ建築環境工学 -	

〔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
---------	---------