

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：34416

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820288

研究課題名(和文) 光の点滅が疲労に及ぼす影響の心理的・生理的評価

研究課題名(英文) Psychological and physiological assessment of visual fatigue caused by flickering light

研究代表者

岡本 洋輔 (OKAMOTO, Yosuke)

関西大学・先端科学技術推進機構・客員研究員

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)：本研究では暴露光の点滅周期と点滅パターンおよび波長(色)を変化させた環境下で被験者に視覚課題を行ってもらい、そのときの主観評価や反応時間および瞳孔径や大脳活動の計測を行った。暴露光条件間で計測結果の比較することで、点滅光の各特性が眼疲労に及ぼす影響について検討した。錐体細胞を均一に刺激する場合と比較して、錐体細胞を偏って刺激する方が、視覚的負荷が高い可能性が示された。さらに、短波長光が50 Hzの周波数で矩形波状に点滅する光に暴露下で視作業を行った場合には課題刺激に対して大脳が強く反応する状態が続き、その結果、眼疲労が増大する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：This study sought to investigate how flickering light affect visual fatigue. Subjective scores of visual fatigue, visual reaction time, pupil diameters and brain responses were measured while participants engaged in visual tasks under different light conditions. The results suggest that the light with narrow spectral distribution may increase visual fatigue, compared to light with broad spectral distribution. Also, when participant engaged in visual task under the exposure to the short-wavelength flickering light with 50 Hz and rectangular waveform induced greater brain responses throughout the task. This fact might result in increasing visual fatigue.

研究分野：環境心理生理学

キーワード：点滅光 眼疲労 脳磁界 瞳孔

1. 研究開始当初の背景

これまで照明器具として主に白熱灯や蛍光灯が用いられてきたが、現在、LED 照明の普及が進んでいる。これらの照明機器は、従来の蛍光灯と比較して、長寿命、低消費電力であるだけでなく、光の波長(色)や明るさの操作性や時間応答性が高いという特徴がある。LED 照明による快適で健康な光環境の実現には、その利点を十分に生かしつつ特有の問題点にも配慮する必要があるが、LED 照明の特性が生体に及ぼす影響が明らかにされているとは言い難い。

LED 照明による生体への悪影響が顕在化した例として、光の点滅(明るさのちらつき)による健康被害が挙げられる。LED は時間応答性が非常に高いため従来の照明器具と比較して、電流変化に伴う光の明るさの変化がより正確に表現される。一般的な LED 照明は、50 Hz または 60 Hz の周波数を持つ商用電源から発生する交流電流を、人間の眼では光の点滅として知覚できない程度の高い周波数で強弱が変化するように変換された直流電流によって作動させられている。実際に LED 照明に交換した直後が「眼が疲れる」や「気分が悪い」といった体調不良が訴えられた事例では、明暗の大きな変化を 100 Hz で繰り返して LED 照明を点滅させる方式が採られていたが、この点滅方式が健康被害の原因であることが疑われ、光の明暗変化をより小さくした LED 照明に交換することになった。しかし現状では、知覚できないような高い周波数での光の点滅と健康被害の関係についての具体的な知見がほとんどないため、具体的な規制基準は設けられていない。

低周波数での点滅は明確に知覚でき、視作業効率の低下や疲労の要因となることが指摘されているが、今回問題となったような 100 Hz での光の点滅は、その明暗差が大きい場合であってもほぼ知覚できないことが示されている。しかし、知覚できないほど高い周波数での点滅であれば健康被害に悪影響を及ぼさないという保証はない。実際に、点滅が知覚できないような高い周波数で点滅する光に対してもその点滅周波数に同期して脳が活動することが報告されている。従って、点滅が知覚できないような高い周波数での点滅光において、点滅周波数と明暗変化パターン、さらに光の波長のそれぞれの特性が生体に及ぼす影響を明らかにする必要があると考える。

2. 研究の目的

点滅が知覚できないような高い周波数で点滅する光の、波長、点滅周波数、明暗変化パターンのそれぞれを変化させた刺激を被験者に呈示し、各特性が眼疲労に及ぼす影響を主観評価と瞳孔径や脳活動の計測によって明らかにすることを目的とする。

実験 1 では、まず光の波長分布特性が眼疲労に及ぼす影響について検討する。日中の自

然光(昼光)は一般的な人工照明機器の光と比較して、可視光領域の波長成分をより広く一様に含んでいる。波長成分を広く一様に含む光ほどより自然であり、その結果人間の健康や満足度さらには生産性に良い影響を与えるという主張がある一方、その効果には不明な点が多いことが指摘されている。波長成分が広く一様に含まれている光と比較して、同じ明るさであっても波長成分の分布に偏りがある光の場合には、3 種類の錐体細胞の中のいくつかが相対的に強く刺激されるため、その錐体細胞に対する負荷が高くなり、その結果、眼疲労に悪影響を及ぼすという可能性が考えられる。本仮説を検証するため、波長分布の偏りが異なる光に暴露下で被験者に視作業を課し、波長分布特性が眼疲労に与える影響を主観評価と瞳孔径の測定によって検討する。

実験 2 では、実験 1 の結果を基に光の波長分布特性を選択し、各波長の光について点滅周波数、明暗変化パターンを変化させた刺激が眼疲労に及ぼす影響を主観評価測定および脳活動計測によって検討する。

3. 研究の方法

<実験 1>

波長分布の偏りが小さい光刺激として緑錐体と赤錐体を同程度刺激する光(暴露光 1)と、波長分布の偏りが大きい光刺激として緑錐体と比較して赤錐体を強く刺激する光(暴露光 2)を、青、緑、赤色 LED 光を合成して作成した。青錐体に対する刺激量は両刺激間で同程度とし、全錐体細胞への総刺激量は両刺激間で同程度とした。

実験室内に置かれた机の上方から光を照射した。被験者には机上面の白色用紙上の文字を選択する作業を、各暴露光下 40 分間行ってもらった。

視作業の前と途中および後に 5 段階評価による主観的眼疲労度の測定を行った。さらに、瞳孔観察による眼疲労評価の可能性を検討するため、視作業の前と途中および後に瞳孔径測定を行った。測定時には、被験者正面に配置された液晶ディスプレイ上に輝度の異なる 2 つの刺激(150 と 10 cd/m²)を 10 秒ずつ交互に計 2 分間呈示し、その間の瞳孔径を連続的に測定した。瞳孔径の測定には、非接触眼球運動測定装置(Free View、竹井機器工業社製)を使用した。

被験者は 8 名(20-28 歳)とした。

<実験 2>

暴露光刺激の波長分布特性は、実験 1 の結果から眼疲労により強く影響を与えると思われる単一のピーク波長を持つ光とし、短波長域(青色)と中波長域にピークを持つ 2 種類とした。それぞれの波長について、点滅周波数は輝度変化がほとんど感じられない 50 と 200 Hz とした。また、輝度変化パターンは、輝度が正弦波状に変化するパターンと、それ

と比較して急激な輝度を持つ矩形波状に輝度が変化パターンの2種類を用いた。さらに比較のため、輝度の時間変化のない定常光を用いた。各暴露光刺激の平均輝度は 5 cd/m^2 とし、被験者眼前のスクリーンに呈示した。

暴露光を呈示中に、被験者には視覚課題を課した。暴露光が呈示されている被験者眼前のスクリーン上に白色の四角刺激と丸刺激を呈示し、丸刺激が呈示されただけ早くボタンを押すという課題を20分間行ってもらった。四角刺激と丸刺激の大きさは視角5度で、呈示時間は0.3秒、刺激間隔は平均3.5秒とし、被験者の右視野に呈示した。四角刺激と丸刺激の呈示頻度は2:1とした。

課題遂行時の反応時間と脳磁界反応を計測するとともに、課題の前、途中、後において5段階評価による主観的眼疲労度について回答を求めた。

被験者は8名(20-25歳)とした。

4. 研究成果

<実験1>

主観的眼疲労度測定の結果、暴露光1条件では視作業前と比較して視作業後で、暴露光2条件では視作業前と比較して視作業途中と視作業後で主観評価値が有意に上昇した。さらに、暴露光1条件と比較して、暴露光2条件で主観的眼疲労度がより高くなる傾向が見られた(図1)。

瞳孔径については、刺激呈示後5から10秒間における瞳孔横径の変化について解析を行った(図2)。その結果、暗い刺激(10 cd/m^2)に対する瞳孔横径は、暴露光1条件では視作業前と途中および後で瞳孔径に大きな違いは見られなかった。一方、有意な差は認められなかったが、暴露光2条件では視作業前、途中、後の順に瞳孔横径が大きくなる傾向が見られた(図3)。

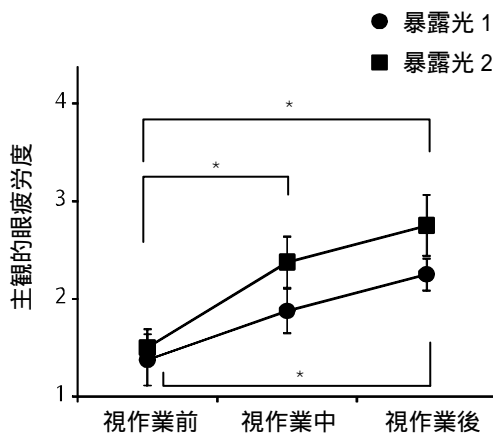


図1. 各暴露光条件下での主観的眼疲労度

本結果は、緑錐体と赤錐体を同程度刺激する光と比較して、緑錐体より赤錐体を強く刺激する光に暴露下で視作業を行った場合の方が、眼疲労度が早く高まること、さらに眼疲労度がより高くなる傾向を示している。これは、同等の明るさの光であっても、錐体細胞を均一に刺激する場合と比較して、錐体細胞を偏って刺激する方が、視覚的負荷が高い可能性を示している。またこれまで、刺激呈示回数の増加に伴って瞳孔横径がより散大する傾向がみられており、この傾向が眼疲労を反映している可能性が示されている。本研究において、錐体細胞を偏って刺激に暴露された場合の方が視作業時間の経過に伴って瞳孔がより散大する傾向がみられた。この結果は、錐体細胞を偏って刺激する方が視覚的負荷が高いという可能性を支持していると思われる。

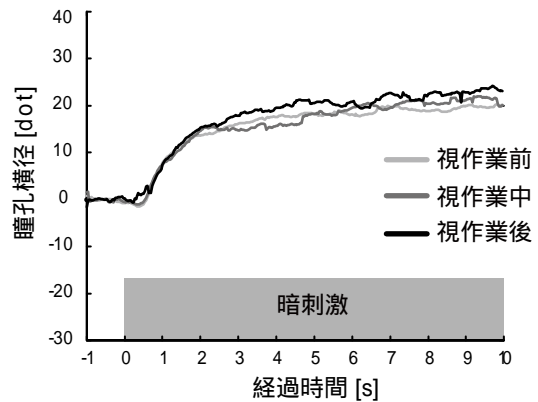


図2. 暗刺激呈示中の瞳孔横径

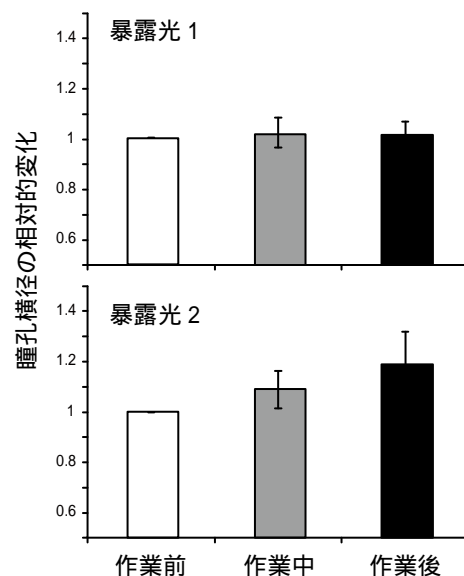


図3. 各暴露光条件下での瞳孔横径の相対的变化

<実験 2>

主観的眼疲労測定の結果、いずれの暴露光条件でも、課題遂行時間の増加に伴って主観的眼疲労度が有意に増大した。暴露光による主観的眼疲労度の違いについては有意な差は認められなかったが、短波長光条件では、定常光と比較して点滅光に暴露下で主観的眼疲労度が高くなり、輝度変化パターンが矩形波状で点滅周波数が 50 Hz の場合に最も主観的眼疲労度が高くなる傾向がみられた(図 4)。

課題中の視覚(丸)刺激に対する反応時間においては、暴露光条件における違いは見られなかった。

課題中の視覚(四角)刺激に対して、後頭部付近で明瞭な脳磁界反応のピークが観察された。課題の前半と後半に分けて脳磁界のピーク反応について解析を行った。その結果、短波長条件で、点滅周波数が 50 Hz の場合において、視覚刺激呈示後約 150 ms での脳磁界反応のピーク振幅が、定常光に暴露された場合と比較して、矩形波状の点滅光に暴露された場合に有意に増大した。定常光に暴露された場合と比較して、正弦波状の点滅光に暴露された場合には、課題前半に観察された脳磁界反応のピーク振幅が大きくなる傾向がみられた(図 5)。短波長条件で点滅周波数が 200 Hz の場合、課題前半に観察された脳磁界反応のピーク振幅が、定常光に暴露された場合と比較して、正弦波状の点滅光に暴露された場合により大きくなり、矩形波状の点滅光に暴露された場合に最も大きくなる傾向がみられたが、有意差は認められなかった。中波長条件においては、点滅周波数が 50 と 200 Hz の場合のともに、刺激呈示後約 150 ms で観察されたピーク振幅に暴露光条件による大きな違いはみられなかった。

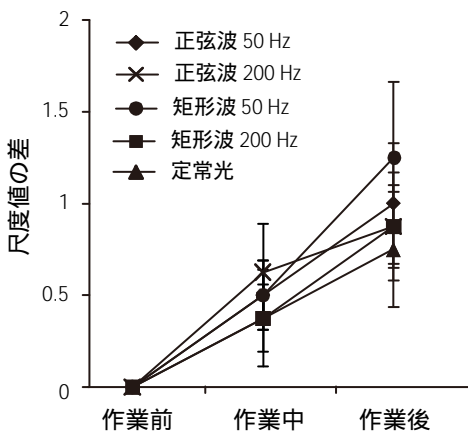


図 4. 各暴露光条件下での主観的眼疲労度

暴露光が短波長光で、点滅周波数が 50 Hz の場合に得られた脳磁界反応の結果は、定常光に暴露された場合と比較して、矩形波状の点滅光に暴露された場合に、同一の視覚刺激に対する大脳活動が有意に大きくなることを示している。主観的眼疲労測定において、50 Hz で矩形波状に点滅する光に暴露下で視作業を行った場合に、主観的眼疲労後が最も高くなる傾向がみられたことから、課題の視覚刺激に対して大脳がより強く反応する状態が続く暴露光条件下では眼疲労が増大する可能性があると考えられる。

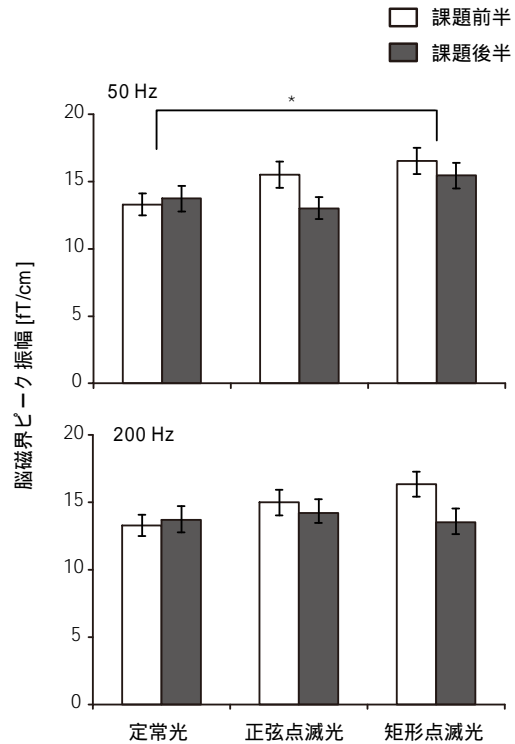


図 5. 各暴露光条件下での視覚刺激に対する脳磁界反応のピーク振幅(暴露光が短波長の場合)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

Yosuke Okamoto, Seiji Nakagawa. Effects of daytime light exposure on cognitive brain activity as measured by the ERP P300. *Physiology & Behavior*, vol. 138, pp. 313-318, 2015. (査読有)

DOI:10.1016/j.physbeh.2014.10.013

Yosuke Okamoto, Mark S. Rea, Mariana G. Figueiro. Temporal dynamics of EEG activity during short- and long-wavelength light exposures in the early morning. *BMC Research Notes* vol. 7, no. 113, pp. 1-6, 2014. (査読有)

DOI:10.1186/1756-0500-7-113

Yosuke Okamoto, Seiji Nakagawa. Effects of daytime exposures to short- and middle-wavelength lights on cortical activity during a cognitive task. Proceedings of 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 1996-1999, 2013. (査読有)

〔学会発表〕(計9件)

岡本洋輔, 中川誠司, 暴露光の波長が認知課題処理に関わる大脳活動に及ぼす影響, 第11回マルチモーダル脳情報研究会, 2014. 10. 27, 明治大学(東京).

Yosuke Okamoto, Seiji Nakagawa, Effects of light wavelengths on cortical activity related to cognitive processing, 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム, 2014.09.17, 金沢大学(石川).

岡本洋輔, 中川誠司, 光の波長分布特性が視作業時の眼疲労に与える影響, 第47回照明学会全国大会, 2014.09.04, 埼玉大学(埼玉).

岡本洋輔, 中川誠司, 暴露光の波長によるワーキングメモリ課題遂行時の事象関連同期・脱同期の変化, 第29回日本生体磁気学会大会, 2014.05.30, 大阪大学(大阪).

岡本洋輔, 中川誠司, Effects of Light Wavelengths on ERD/ERS during a Working Memory Task, 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム, 2013.09.13, 慶応義塾大学(横浜).

岡本洋輔, 中川誠司, 暴露光の波長が記憶課題遂行時の大脳活動に与える影響, 第46回照明学会全国大会, 2013. 09.05, 名古屋大学(名古屋).

Yosuke Okamoto, Seiji Nakagawa, Effects of daytime exposures to short- and middle-wavelength lights on cortical activity during a cognitive task. 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2013.07.04, Osaka International Convention Center (Osaka).

Yosuke Okamoto, Seiji Nakagawa, Effects of light wavelengths on event-related desynchronization/synchronization during a working memory task, Society for Light Treatment and Biological Rhythms 2013, 2013. 06.21, Geneva (Switzerland).

岡本洋輔, 中川誠司, 光の波長成分が記憶課題遂行時の事象関連同期・脱同期に与える影響, 第28回日本生体磁気学会大会, 2013. 06.08, 新潟大学(新潟).

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計2件)

名称: 照明方法および照明装置
発明者: 中川誠司, 岡本洋輔
権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所
種類: 特許
番号: P C T/JP2014/072983
出願年月日: 2014.09.02
国内外の別: 国際

名称: 照明方法および照明装置
発明者: 中川誠司, 岡本洋輔
権利者: 独立行政法人産業技術総合研究所
種類: 特許
番号: 特願 2014-006128
出願年月日: 2014.01.16
国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等
<https://staff.aist.go.jp/yos-okamoto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 洋輔 (OKAMOTO, Yosuke)
関西大学・先端科学技術推進機構・客員研究員
研究者番号: 80612184