

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 11 日現在

機関番号：27103

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2012

課題番号：22657064

研究課題名（和文） 生体リズム受光器の周波数特性に基づく新規光源・照明装置の検討

研究課題名（英文） A study of novel lighting system based on the frequency characteristics of non-visual photoreceptors.

研究代表者

森田 健（MORITA TAKESHI）

福岡女子大学・人間環境学研究科・教授

研究者番号：20326474

研究成果の概要（和文）：生体リズムに関わる受光器であるメラノプシンを含む網膜神経節細胞（mRGCs）の周波数変調光に対する挙動を、mRGCs を選択的に刺激する手法を用いて確認した。mRGCs は 8Hz 変調光に強い反応を示す一方、それより低・高周波数変調光に対する反応は小さいことを明らかにした。また青色 LED 光を用いて、生体リズムの指標である夜間のメラトニン分泌挙動への影響を確認した。1000Hz 及び 7.14Hz の青色 LED 周波数変調光のメラトニン分泌抑制への影響は小さいことを確認した。

研究成果の概要（英文）：The frequency characteristics of non-visual photoreceptor; melanopsin expressing retinal ganglion cells (mRGCs) were investigated with the light which stimulates mRGCs independently. The results showed the mRGCs response to a light stimulus at around 8Hz was high. In contrast, the response to light stimulus tended to be smaller under light condition that change at lower and higher frequencies. The effects of blue LED light on melatonin secretion were investigated under the various frequencies. The melatonin secretion was not inhibited by the blue LED light with frequency changes at 1000Hz and 7.14Hz, although it was inhibited by the constant blue LED light at nighttime.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	900,000	0	900,000
2011 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2012 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	600,000	3,500,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：人類学・応用人類学

キーワード：テクノ・アダプタビリティ、生体リズム

1. 研究開始当初の背景

睡眠一覚醒や体温、内分泌系など約 24 時間周期を持つ種々の生体リズムには、光が強く関わっている。特に夜間に経験する光は生体リズムの振幅や位相に大きく影響し、今日の大きな問題の一つである睡眠障害、さらにはうつ病発症などとの関連性が指摘されて

いる。しかし、24 時間化する現代生活において夜間の人工光源は欠かせないものであり、視認性や演色性を確保する明るさを得ることと生体リズムへの影響を小さくするというジレンマを抱えている。これに対し、生体リズム面からは環境照度をできるだけ低照度とすること、または短波長光域を少なくした光源の使用などが提案されている。しかし、

作業や行動を確保するためには一定量以上の明るさが必要であり、また極端な短波長光のカットは演色性の低下をもたらし、これらを両立させることは非常に困難である。

本申請者は、これまでの実験の中で生体リズムに関わる受光器と考えられているメラノプシンを含む網膜神経節細胞（以下 mRGCs と略す）の特性把握を網膜電図を用いて試み、その神経活動程度は、刺激光の周波数に依存して変化することを見出した。すなわち、同一光刺激量を種々の周波数条件で提示したとき、大きな反応を生じる周波数とほとんど反応を示さない周波数の存在を確認した。この事は、視認性に関わる受光器（錐体や桿体）による明るさ、演色性を確保しながら、生体リズムに関わる受光器(mRGCs)への影響を最小限とする、上記ジレンマを解消する新規な光源・照明装置開発の可能性を示唆するものである。

2. 研究の目的

本研究はこの新規な光源・照明装置開発の基礎となる mRGCs の周波数特性を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究は以下の2つのステップを計画した。その第一は、錐体や桿体への刺激を一定とし、mRGCs だけを選択的に刺激することができる多原色光源装置（研究分担者の辻村が開発）を用いて、mRGCs の周波数特性を再確認することである。この事により、mRGCs の活動を抑制する、または賦活する周波数制御に関する知見を得る。第二は、この知見を生活環境で使用される光源・照明装置へ適用を検証することである。特に、近年省エネルギー面から注目されている白色 LED は、その分光分布中に生体リズムに大きな影響を持つ短波長域の光（青）を多く含み、一般生活環境への適用には懸念が指摘されている。この LED 点灯制御に周波数変調を付与し、明るさ・演色性および省エネルギー性を維持しながら、生体リズムへの影響を最小限に抑えた照明装置の可能性を考察することである。

4. 研究成果

4-1. 多原色装置を用いた mRGCs の周波数特性の再確認

錐体や桿体への刺激を一定とし、mRGCs だけを選択的に刺激する条件設定を可能とする多原色光源装置を用い、mRGCs への刺激量をいくつかの周波数変調(0.5~30Hz)を加えて提示したときの mRGCs 反応量を確認し、以

下の知見を得た(図1)。

すなわち mRGCs 神経活動は 8Hz 前後の光変調刺激時に比べ、30Hz 時にその反応が著しく低下することを確認し、8Hz 付近の周波数変調から低周波数または高周波数への変化に伴う mRGCs の光刺激に対する低反応傾向を認めた。

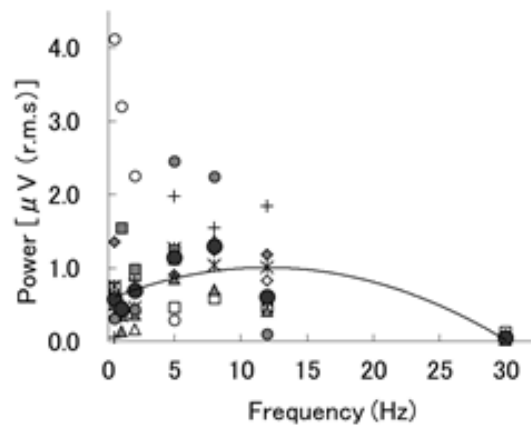


図1 周波数変化を持つ光刺激に対する mRGCs の反応

4-2. 青色 LED 周波数変調光の生体リズム指標への影響

mRGCs は 500nm 付近に感度ピークを持つ分光感度曲線が報告されている。本研究では、これを参考に実験光として青色 LED 光（ピーク波長 470nm）を用い、種々の周波数変調条件が生体リズムの指標である深部体温とメラトニン分泌挙動への影響を確認した。実験光条件は、①コントロール (Dim 50lx)、②連続光、及び周波数変調条件として③100Hz (デューティ比 50%)、④1000Hz (デューティ比 50%)、⑤1000Hz (デューティ比 5%)、⑥7.14Hz (デューティ比 86%) の矩形波条件とした。②~⑥の最大放射照度は、被験者の顔面鉛直面で $27.8 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ とした。

被験者数は、①~③においては 9 名 (女子大学生、 21.4 ± 1.0 歳)、④~⑥は 1 名 (女子大学生、22 歳) である。

被験者は、実験当日 18 時まで 50lx に調整された実験室に入室し、実験開始まで安静に過ごした。通常生活時の就寝時刻の 1 時間前から 1 時間実験光条件を経験した。実験光提示前から実験終了まで一定時間毎に深部体温 (15 分毎)、唾液中メラトニン濃度 (30 分毎) および眠気と感情に関する心理評価 (光提示前後) を実施した。

(1) メラトニン分泌挙動への影響
各光条件における唾液中メラトニン濃度変

化を図2に示す。

実験光のコントロールとした①Dim条件における唾液中メラトニン濃度の増加、夜間の光提示の基本となる②連続光条件におけるメラトニン分泌抑制が確認され、本実験条件の妥当性が確認された。

これに対し、③100Hz(50%)変調条件は②の連続光提示条件と挙動が類似しており、夜間のメラトニン分泌が大きく抑制されることが認められた。これに対し、1000Hz条件において、④デューティ比50%では30分時の短時間受光では分泌抑制は見られなかったが、60分程度の長時間受光では②の連続光と同程度の抑制が現れた。しかし⑤デューティ比5%ではほぼ①Dim条件と同程度の分泌挙動が認められた。また、申請者らがmRGCsの網膜電図によって確認した、光提示ONおよびOFF時に一定の潜時を持って認められた脱分極と過分極反応を利用した⑥7.14Hz条件は、①Dim時と同様にメラトニン抑制が認められなかった。

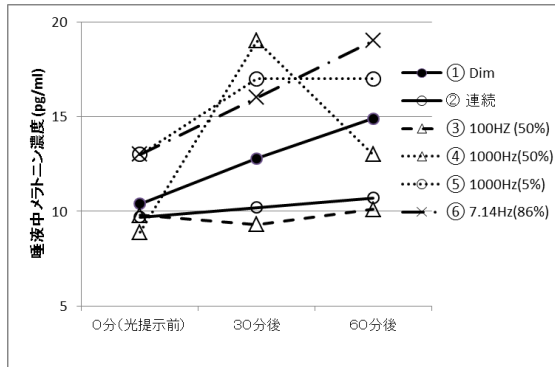


図2 唾液中メラトニン濃度変化

(2) 心理評価への影響

VAS(Visual Analog Scale)を用いた眠気評価、および日本語版PANAS(Positive and Negative Affect Scale)を用いたPA(ポジティブ感情)感情評価の結果を、図3/4に示す。

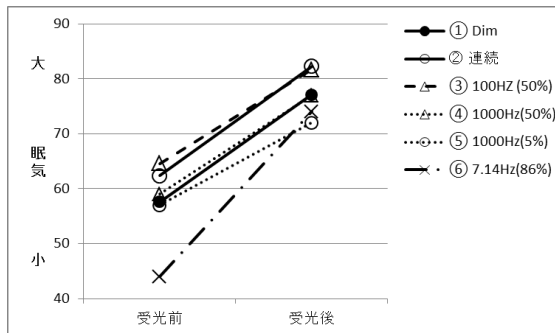


図3 眠気の変化

図3に示した各実験光条件における受光に

よる眠気(覚醒)の結果には大きな差は認められなかった。但し、⑥7.14Hzにおける眠気の増加変化は他の条件の挙動とはやや異なっており、夜間の受光による睡眠への影響が少ないことを示しているのかもしれない。

図4に示した各実験光条件における受光によるPA感情への影響には大きな差は認められなかった。但し、1000Hz(50%)の評価が他の条件の評価傾向とはやや異なっており、この条件が有する特有の変化であることも考えられるが、今回の結果からは十分な考察には至らなかった。

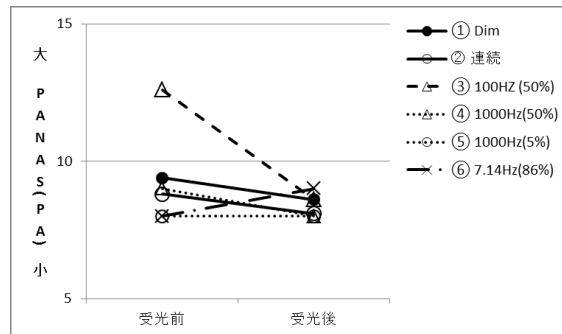


図4 PANAS感情評価におけるPAの変化

(3) 深部体温

各実験光条件に大きな差は認められなかった。

以上の結果より、視認性と演色性を確保するため錐体や桿体への刺激量は一定に保ちながら、生体リズムに関わる受光器(mRGCs)への影響を最小限とする手法として、周波数変調条件の可能性が認められた。即ちその手法として、1000Hz程度の高周波数条件、またはmRGCsのON/OFF光反応特性を利用した7.14Hz程度の比較的遅い周波数条件が考えられる。

しかし、本研究における実験光条件は、刺激総量(光刺激の積分値)が十分に制御された条件ではなかったこと、高周波数変調時の制御性、低周波数変調時の光ちらつき感などについては残された課題として引き続き検討を進める必要がある。

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1件)

- ① Y. Fukuda, S. Tsujimura, S. Higuchi, A. Yasukouchi, T. Morita. Distinct responses of cone and melanopsin

expressing retinal ganglion cells in the human electroretinogram. Journal of Physiological Anthropology. 査読有. 2012. DOI:10.1186/1880-6805-31-20.

[学会発表] (計 8件)

- ① 森田健.メラトニンと体温リズムへの光の影響. 電気四学会関西支部専門講習会. 2012.10.29. 大阪.
- ② Y.Fukuda, S.Tsujimura, S.Higuchi, A.Yasukouchi, T.Morita. Diurnal variation in responses of melanopsin expressing retinal ganglion cells in the human retina. World sleep. 2011.10.15-16. Kyoto, Japan.
- ③ 福田裕美, 辻村誠一, 樋口重和, 安河内朗, 森田健.メラノプシン網膜神経節細胞と錐体の網膜電図における光応答性の違い. 日本生理人類学会第62回大会. 2011.6.11-12. 福岡.
- ④ Y.Fukuda, S.Tsujimura, S.Higuchi, A.Yasukouchi, T.Morita. ERG responses of melanopsin expressing retinal ganglion cells in the human retina. European biological rhythms society. 2011.8.20-26. Oxford, UK.
- ⑤ Y.Fukuda, S.Tsujimura, S.Higuchi, A.Yasukouchi, T.Morita. Circadian rhythm of melanopsin expressing retinal ganglion cells in the human retina. Society for light treatment and biological rhythms. 2011.7.10-13. Montreal. Canada.
- ⑥ Y.Fukuda, S.Tsujimura, S.Higuchi, A.Yasukouchi, T.Morita. The response of melanopsin expressing retinal ganglion cells to light stimuli with frequency changes. 10th international congress of physiological anthropology. 2010.9.9-12. Fremantle, Australia.
- ⑦ Y.Fukuda, S.Tsujimura, S.Higuchi, A.Yasukouchi, T.Morita. The ERG responses to light stimulus levels of melatonin expressing retinal ganglion cells with the receptor silent substitution technique. Society for light treatment and biological rhythms. 2010.7.1-3. Vienna, Austria.
- ⑧ 福田裕美, 辻村誠一, 樋口重和, 安河内朗, 森田健. 多原色光源装置を用いたメラノプシンを含む網膜神経節細胞の挙動把握. 第17回日本時間生物学会. 2010.11.20-21. 東京.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 健 (MORITA TAKESHI)
福岡女子大学・人間環境学研究科・教授
研究者番号: 20326474

(2)研究分担者

辻村 誠一 (TSUJIMURA SEIICHI)
鹿児島大学・理工学研究科・准教授
研究者番号: 10381154

(3)連携研究者

福田 裕美 (FUKUDA YUMI)
福岡女子大学・人間環境学部・助手
研究者番号: 50551412