LEDの高速点滅光と非点滅光によるメラトニン分泌への影響

○小崎 智照（福岡女子大学）

日高 勇樹（九州大学）

高倉 潤也（国立環境研究所）

草野 洋介（西九州大学）

Effects of Flicker and Non-flicker Light on Melatonin Secretion

Tomoaki KOZAKI (Fukuoka Women's University)

Yuki HIDAKA (Kyushu University),

Jun-ya TAKAKURA (National Institute for Environmental Studies)

Yosuke KUSANO (Nishikyushu University)

1. はじめに

人工照明は私たちに夜間の活動を可能にするなど、我々の生活の効率化や快適化に貢献してきた。しかし、近年、夜間の光曝露がメラトニン分泌を抑制し、概日リズムと生活リズムの乖離を引き起し、これらが長期化すると睡眠障害や癌といった健康リスクも高める可能性が報告されている。現代社会において、人工照明は必要不可欠な存在となっており、夜間の光に曝されない環境を作るとは困難である。そのため、より快適で健康的な照明環境を演出するためには生体への作用が弱い人工照明を検討する必要がある。

メラトニン分泌抑制は、主に新規の光受容器であるメラノプシン含有網膜神経節細胞 (mRGC) が光を感受することで生じる。mRGCは可視光の青色短波長光（約460nm）で大きく作用することが知られている¹⁾。また、錐体細胞や桿体細胞といった従来の光受容器とは光に対する反応の時間特性が異なることが示唆されている²⁾。従来の視細胞である桿体細胞や錐体細胞は光刺激を提示した後の反応潜時が比較的短く、消灯後も即座に反応を終えるのに対し、mRGCは光点灯時に比較的長い潜時をもち、光消灯後もその反応が持続することが報告されている。

近年普及が進んでいるLED照明に注目すると、その調光方式は、定常光方式とパルス光(PWM)方式で大別される。パルス光方式は高速点滅することで調光する方式であり、点滅1サイクルにおける点灯の割合、デューティ比によって調整される（図1）。パルス光方式は高速点滅することで調光するため、1回の点灯時間が短いことが特徴として挙げられる。この調光方式点灯時間の長さの差

は、mRGCの反応特性により夜間の光曝露によるメラトニン分泌抑制の作用に差を生じさせる可能性が考えられる。

我々の先行研究³⁾より、単位時間当たりの光量が同程度の定常光とパルス光では、光提示直後において、パルス光と定常光でメラトニン分泌抑制作用が異なることを報告した。mRGCの光に対する反応は、その光の強度に係ることが報告されていることから、先行研究より弱い強度の光では、定常光とパルス光によるメラトニン分泌抑制作用がより長く持続すると推察される。そこで本研究では、先行研究より低い強度の定常光とパルス光によるメラトニン分泌抑制を検討した。

2. 方法

被験者は健康な男子大学生15名（ 21.9 ± 1.6 歳）であった。本研究は九州大学大学院芸術工学研究院実験倫理委員会の承認を得て、被験者に実験の趣旨、方法及び本実験に関わる安全性について十分な説明を行い、文書にて同意を得た上で行った。

実験は午前0時から2時半までの150分間で行った。被験者は0時から1時間、dim(<5lx)環境で安静にした。その後、各条件の光を90分間曝露された。光曝露開始前から唾液採取を行った（図2）。

各光曝露は、dim条件、定常光条件（照度：15lux，ピーク波長：465nm）とパルス光条件（照度：15lux，ピーク波長：460nm，周波数：100Hz，デューティ比：10%）の3条件とした。メラノプシンに与える刺激量を統一するため、メラノピック刺激照度を $15\mu\text{W}/\text{cm}^2$ とした。

光曝露を行う装置の高さと幅は530mmであり、被験者の瞳の位置より500mm前に光源としてLEDパ

ネルを、250mm前にディフューザーとして白色アクリル板を設置した。また、照明装置正面に顎台を設置し、光源と被検者の瞳の距離が500mmで一定となるようにした。

解析は、dim条件において十分なメラトニン分泌が認められなかった3名のデータを除外し、12人を用いて行った。統計解析は、R(for Windows GUI front-end)を用いてシャピロ・ウィルク検定を行い、データの正規性を確認した。Microsoft Office Excel 2016を用いて対応のあるBonferroni補正の両側分布のt検定(パラメトリック検定)を行った。p値が0.05未満を統計的有意とし、0.1未満を有意傾向とした。

図1 デューティ比10%のパルス波(周波数100Hz)

図2 プロトコル

3. 結果

光曝露前(0:55時点)で、条件間のメラトニン濃度に統計的有意差は認められなかった。しかし、光曝露90分後(2:30時点)で、定常光条件とパルス条件のメラトニン濃度はそれぞれdim条件よりも有意に低い値を示した。さらに、パルス光条件のメラトニン濃度は定常光条件よりも低い値を示した。

4. 考察

曝露開始15分から1時間後まで、定常光条件とパルス光条件のメラトニン濃度はdim条件と有意差は認められなかったものの、光曝露開始1時間30分後においてどちらの光条件もdim条件より有

意に低いメラトニン濃度を示した。我々の先行研究³⁾では光曝露開始15分後から光条件によるメラトニン分泌抑制が認められたことから、本研究の光条件は先行研究³⁾よりもメラトニン分泌に対して弱い作用力であったことが確認できた。さらに、パルス光条件のメラトニン濃度は定常光条件よりも低い値が認められた。これより、本研究のパルス光は定常光よりもメラトニン分泌を強く抑制することが示唆された。これはmRGCの光刺激に対する長い反応持続性が原因であると考えられる。具体的に説明すると、今回のパルス光と定常光は単位時間当たりの光量が同一であるものの、パルス光のデューティ比が10%であるため、1パルスあたりの光強度は定常光の10倍となる。よって、mRGCの光に対する反応持続性が長いと仮定すると、mRGCがパルス光とパルス光の間の消灯時間中もパルス光への反応を持続し続けたことで、定常光よりも強くパルス光に反応したと考えられる。

本研究より、パルス光は長時間の光曝露において定常光よりもメラトニン分泌を強く抑制することが示唆された。しかし、本研究も含めたこれまでの研究では単色の青色光を用いてきた。今後は、複合色の光(例えば白色光)によるメラトニン分泌抑制作用を評価し、夜間に適した照明条件を検討することが求められる。

謝辞

本研究は科学研究費補助金(課題番号15H04431)の助成を受けて行った。

参考文献

- 1) Brainard G.C et al: "Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor", The Journal of Neuroscience, 21(16), pp. 6405-6412, 2001
- 2) Dacey D.M et al: "Melanopsin-expressing ganglion cells in primate retina signal colour and irradiance and project to the LGN", Nature, 433(7027): pp. 749-754, 2005.
- 3) 日高勇樹ら: "LEDの調光特性がメラトニン分泌抑制に及ぼす作用", 人間工学, Vol. 53, Suppl., pp. 246-247, 2017.