

研究課題 運転中に受けるブルーライト量の測定と安全運転への影響

研究代表者：慶應義塾大学医学部眼科学教室 綾木雅彦
共同研究者：慶應義塾大学医学部眼科学教室 坪田一男
共同研究者：南青山アイクリニック 井手 武

[まとめ]

生活環境内の自然光と人工照明中のブルーライト成分を試作した光センサーを使用して測定した。ブルーライトを発する光源を使用して眼の角膜上皮細胞への光毒性の培養実験を行って、眼障害の可能性と対策について考察した。ブルーライトならびにブルーライトの覚醒度への影響を検証した。以上の結果から、通常の視力や視野の確保以外にも眼の健康に配慮した照明、遮光が使用されるべきであると結論した。

研究の目的

照明機器の技術革新、省エネルギー政策、省資源、そして明るさや視認性向上といった特徴のため、自動車や自動二輪のヘッドライト、車内照明、計器類、道路標示にもLED (Light emitting diode; 発光ダイオード) が多用されるようになった。LEDにはブルーライト領域の光 (波長 395-490nm) が多く含まれ、従来の電灯や照明とは波長特性が異なっている。急速に発達し普及してきたため、LEDやブルーライトが眼や全身に及ぼす影響はあまり研究されていない。ブルーライト領域のすぐ近傍が紫外線であり、紫外線は皮膚がんをおこし、眼の角膜にも強い毒性がある。また、ブルーライトについては最近になって覚醒や眠気や集中力などとの関係が報告され始めたにすぎない。

眼から入るブルーライトは体内時計の最大の同調因子である^{1, 2)}。体内時計は食事、運動、社会活動によっても調整される。紫外線は角膜と水晶体で大部分が吸収されるが、ブルーライトはそれらを透過して眼底に達する。網膜の細胞の中で、特殊な網膜神経節細胞 (内因性光感受性網膜神経節細胞) がブル

ーライトを受容し、視交叉上核を介して松果体や全身臓器に信号が送られ、生体リズムが整えられる。体内時計が乱れると睡眠障害、サーカディアンリズム障害、うつ状態、乳癌、高血圧、肥満、糖尿病などの重大な全身疾患のリスクが高まることが、疫学研究をはじめ基礎実験で証明されている。

本研究では太陽光、環境照明、電子機器の光量、ブルーライト成分、ブルーライト遮光の効果を検証する。次に、ブルーライトと覚醒度の関連を検証する。

1 研究の方法

以下の研究内容は当該施設の倫理審査委員会の承認を得ている。実施にあたり被験者の安全と個人情報の保護に細心の注意を払う。

1) ブルーライト測定

試作した光センサー (下図) を使用して、太陽光、照明装置、計器の光量とブルーライト成分を測定する。眼鏡型センサーで被験者の眼の高さ、角度を適正に調整して測定でき、400-500nm のブルーライト領域を選択的に測定できる。あわせて 50%ブルーライト遮光板の遮光効果を検証する。

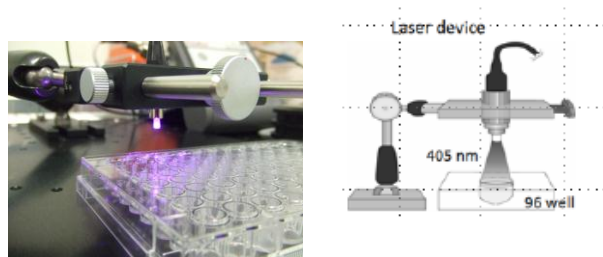


2) 培養角膜細胞に対するブルーライトの光毒性

ウサギ培養角膜上皮細胞 (RC-1) とマウス

線維芽細胞の光毒性試験を行った。使用した光源は405nmのレーザー照射装置（リコー光学 RV-1000、花巻市）である。940mW/cm²のエネルギーで3分間照射し、サブコンフルエント（約10-30%）の状態での細胞生存率を対照との比率を算出した。アッセイ法はMTT法で、詳細は論文に記載した³⁾。

図 ブルーライト照射装置（左）と実験の模式図（右）



3) ブルーライトと覚醒/眠気度

対象は健康者、22-40歳10名男性7名女性3名である。環境条件を一定にした宿泊施設にて就寝前2時間ブルーライト遮光眼鏡（ブルーライト遮光率70%）を3日間装用し、装用中はタブレットPCで読書などの作業をおこなった。60分おきに唾液メラトニン、アミラーゼ、血圧、脈拍測定を行った。PC作業中1時間おきにカロリンスカ眠気尺度、日中は毎日エプワース眠気尺度を施行した。対照はブルーライト遮光機能のない眼鏡を使用した。実験期間中は毎日アクチグラフ（睡眠覚醒サイクル記録装置）を装着し記録した。

2 研究の成果

1) ブルーライト量の測定

試作したブルーライト成分測定機能付きの眼鏡型照度計により、屋外、屋内の自然光、人工照明、液晶パネル類の計測を行った。直射日光やLEDは測定限界値を超えていて測定不能であった。実際に直接これらの光源を見ることはないので設定を変えて測定することはしなかった。また、暗室や実験環境での測定は運転や生活空間との乖離が大きすぎて参考にならないので、日常的な条件で測定するのが適切である⁴⁾。市販のブルーライト遮光

板（PC用眼鏡レンズ）の効果も測定した。全光量ならびにブルーライトの測定値を表に示す。

これらの結果より、光源によってブルーライト成分の含有量は異なり、それぞれの波長特性に依存すると思われた。特に携帯端末の光量が大きく、しかもブルーライトエネルギーの割合が大きいことは注目に値する。光源による差異については、太陽光は地面や地上の物体からの反射も多く、刻々と数倍から数千倍以上変化するため、参考値として理解するのがよいであろう。窓ガラスだけでも紫外線やブルーライトが相当量遮光されており、自動車内はある程度保護されていると思われる。逆にいえば自動二輪や窓を開けての走行では十分な対策が必要と言える。

表 各種光源の光エネルギー実測値、ブルーライト成分（400-500nm）とブルーライト遮光板の効果（光エネルギーの単位はmW/m²）

光源	全光量	ブルーライト量	遮光時のブルーライト量	ブルーライト含有率(%)	遮光板の遮光率(%)
太陽光（夕陽）	102	18	5	17	38
太陽光（窓越し、曇天）	628	68	66	10	3
太陽光（窓越し、晴天）	814	77	63	17	18
パソコン画面（距離50cm）	73	16	14	10	13
スマホ画面（距離0cm）	769	150	121	20	19
スマホ画面（距離15cm）	463	97	87	21	10

パソコン：NEC AS191WM-c 白色画面、最大光量

スマホ：アップル社 iPhone4 白色画面、最大光量

市販のブルーライトフィルターによる遮光効果は光源や環境によって大きく異なる。太陽光の場合全方向からの照射や反射があるので、通常のサングラスでは必ず上下左右からの入射がある。一方顔全体を覆うような遮光では湿度や快適性などの問題がある。パソコンやスマホは発光部位が限られているので遮光眼鏡や遮光フィルムやソフトウェアで防御可能である。

最近問題にされているコンピュータやスマホからのブルーライトであるが、眼に近い距離では昼間の車内や屋内の明るさに等しいことがわかる。さらにブルーライト成分も十分に多い。夜間運転中にこれらの計器やLED照明からの光が眼に入ることを考えると、光エネルギー量とともに眼や全身、覚醒度への影響を検証することは重要と思われる。

2) 角膜培養細胞に対するブルーライトの光毒性

ブルーライト照射前(左)と照射後(右)の培養細胞の写真を示す。照射後は細胞が障害され、細胞数が著明に減少している。グラフにはウサギ角膜上皮細胞(RC-1、SIRC)と比較対象としてマウス線維芽細胞である3T3細胞の結果を示した。ブルーライト照射により有意に細胞生存率が下がっている。

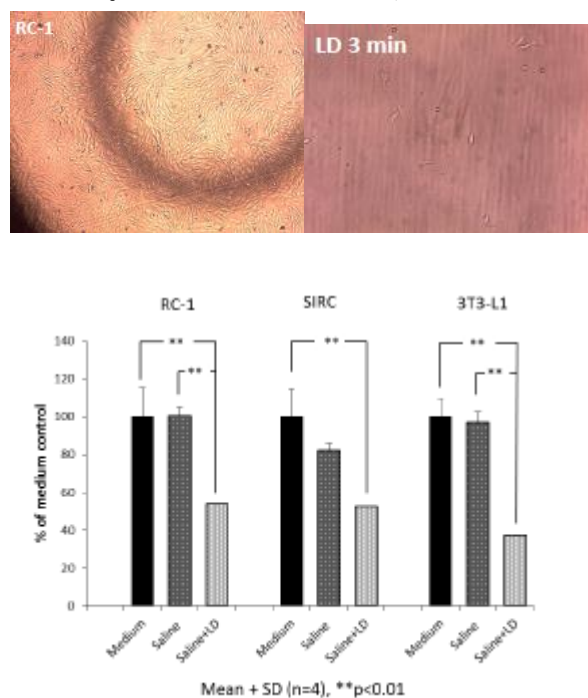
ブルーライトの網膜への影響は広く知られている。2012年の日本における皆既日食のときに大々的に啓蒙されたように、太陽光の光エネルギーは非常に大きく、不用意に直視すると太陽網膜症といわれる不可逆的な網膜障害がおこる。また、眼表面に関しては、雪目(電気性眼炎)と言われ、紫外線による角膜炎がおこることも知られている。ブルーライトは加齢黄斑変性との関連が細胞培養実験、動物実験、疫学調査などから強く示唆されており、長い日照時間、白内障手術後、抵抗力低下、加齢などが悪化因子とされている。特に高齢者に対してはサングラスや黄斑色素や抗酸化物質を含むサプリメントが推奨されている。

われわれは眼表面の培養細胞を使用してブルーライトの光毒性を測定した。今回使用した光源のブルーライトエネルギーは太陽光を直視するくらいの強さで細胞毒性が出現している。日常の光環境とは差があるが、特に運転中は常時太陽光が眼に入るため、慢性的な影響を考慮する必要がある。網膜の実験では市販されている蛍光灯でも superoxide dismutase(抗酸化酵素の一種)ノックアウトマウスでは容易に網膜障害が生じたと報告されている。したがって、コンタクトレンズ装用者や寝不足、栄養不良など全身状態不良の

運転者はブルーライトによる障害に対する抵抗力が低下しており、運転中は長時間太陽光に曝露するため、さまざまな急性ならびに慢性眼表面異常がおこりうる。羞明、眼痛、流涙、視朦、異物感が生じた場合、安全運転にも影響しかねない。

今回は実際のフロントガラスでの実験はしていないが、安全運転のためには十分な視認性が確保されるとともに、有害な光成分から目を保護する機能にも十分配慮される必要があると思われた。

図 ブルーライトの培養細胞に対する光毒性
ウサギ角膜上皮細胞(RC-1) 405nmブルーライト照射後の細胞生存率。方法は文献に準じている。LD=ブルーライト照射



3) ブルーライト遮光の覚醒度への影響

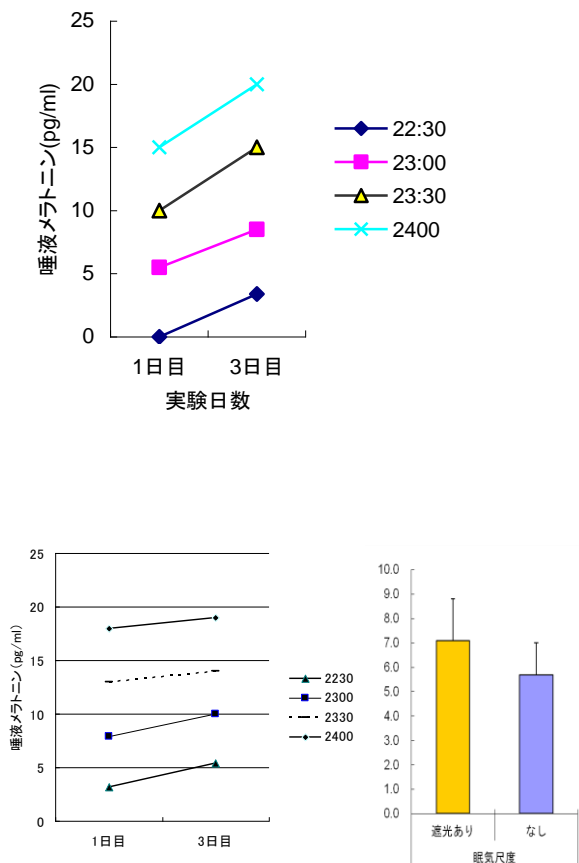
夜間就寝前、人工照明からのブルーライトを遮光することにより、メラトニン分泌が増加した(左図)。脈拍、血圧、アミラーゼ、日中の眠気には差がなかった(メラトニンの測定は全部終了していないため、一部のみ報告)。夜間のPC作業中、ブルーライトを遮光した場合はしない場合よりも眠気が増強した(右図)。以上の結果から、人工照明やコンピュータ液晶端末から発するブルーライトには覚醒作用があり、ブルーライトを遮光すると覚醒作用が減り、眠気が増すと考えられた。

昼間太陽光のもとで運転する場合には、覚

醒度は光以外の要因でも決まってくると思われる。普段の睡眠習慣、全身状態、疲労などが関与するであろう。ブルーライトの影響を調べるには夜間が最も適していると考え、ブルーライトの曝露と遮光の場合で覚醒度（眠気）の程度を測定した。その結果、ブルーライトを遮光することで眠気が有意に増加した。対照としてブルーライトは遮光せず、可視光線を同程度遮光する眼鏡を使用した場合には眠気は少なかった。夜間運転をする場合、グレア対策やコントラスト確保の目的で調光や遮光をする場合、ブルーライトを過度に遮光すると居眠りをきたす危険性が増加する。フロントガラスやドライバー用の眼鏡やサングラスはブルーライトの透過性を考慮するべきと考えられる。

図 ブルーライトが覚醒度に与える影響

(上図)ブルーライト遮光眼鏡を24時の就寝前2時間、3日間装用すると、メラトニン分泌量が著明に増加してくる。(下左図)ブルーライトを遮光しないとメラトニンの増加は少ない。(下右図)ブルーライト遮光眼鏡装用中は眠気が有意に増強する (N=11, P<0.05)。



3 今後の課題

運転中の光環境や視覚に関わる条件はきわめて多彩であり、一般化かつ単純化した実験系が望まれる。これまでブルーライトに関連した眼科的研究がほとんどなかったため今回の結果は今後の研究の目安になりうると思われる。気候、日照、車内や車外の光源、窓ガラスが多種多様であり、実際の道路や車両での実験を実施することには困難を感じた。

本研究では瞳孔反応や運転シミュレータでのブルーライト曝露と影響の実態を調査解析する予定であったが、諸般の事情で研究期間内ではそこまでに至らなかった。今後、さらに詳細なブルーライトの影響を検証していくとともに、実験条件を実際の車両や路上での条件に近づける工夫をしていくことが望まれる。

4 研究結果の公表方法

今後、解析をさらに進めて、国内外の学会で発表し国際英文誌に投稿予定である。

文献

- 1) 綾木雅彦. ブルーライトとメラトニン アンチエイジング医学 10 : 722-726、2014
- 2) 坪田一男 綾木雅彦. ブルーライトは目に悪い? 養護教諭のための教育実践に役立つQ&A V 健康教室 2014年7月増刊号 32-36 ページ 東山書房
- 3) Niwano Y, Konno T, Iwasawa A, Ayaki M, Tsubota K. Blue light injures corneal epithelial cells in the mitotic phase *in vitro*. Br J Ophthalmol. 2014;98(7):990-2,
- 4) 衛藤憲人、田中太一郎、西脇祐司、坪田一男:疫学応用に向けた可視-紫外線個人曝露量測定システムの開発.日衛誌 68 : 118-125、2013.