

若年者の黄色着色フィルム使用による錐体コントラスト感度変化

原口翔太¹⁾ 小野峰子¹⁾ 石川奈津美¹⁾

1) 東北文化学園大学医療衛生学部リハビリテーション学科視覚機能学専攻

要旨

【目的】黄色着色フィルム使用の有無による短(S)・中(M)・長波長感受性(L)錐体コントラスト感度の客観的な変化を ColorDx CCT-HD を用いて明らかにすることを目的とした。【対象および方法】屈折異常以外の眼疾患のない10例18眼(20.9±0.3歳, 矯正視力1.0以上)を対象とした。黄色着色フィルムはペーパー・インクリボン CK900Lを使用し, 錐体コントラスト感度は ColorDx CCT-HD を用いた。黄色着色フィルムで呈示視標を覆った状態(On)と通常測定状態(Normal)で左右眼をそれぞれ測定し, ColorDx CCT-HD の測定結果である logCS と独自 Score の平均値を比較検討した。【結果】logCS は L・M・S 錐体において, Normal でそれぞれ 2.0±0.1, 1.9±0.1, 0.8±0.1, On で 1.9±0.1, 1.9±0.1, 0.6±0.1 となり, L, M 錐体は有意差がみられず, S 錐体で有意に低下した。Score の結果は Normal で 106.2±14.1, 103.3±11.9, 99.3±13.9, On では 99.7±12.4, 96.1±9.1, 77.9±11.3 で, logCS と同様だった。【結論】ColorDx CCT-HD で黄色着色フィルム使用の有無による錐体コントラスト感度測定をした結果, S 錐体コントラスト感度の有意な低下がみられ, S 錐体活動の抑制を客観的に示すことができた。

【キーワード】 黄色着色フィルム, ColorDx CCT-HD, S 錐体コントラスト感度

I. 緒言

視覚障害者の QOL 向上を目指し提供されるロービジョンリハビリテーションにおいて羞明に対するケアは視機能の有効活用に有用であることは周知のことである。しかし羞明に対する補助具である遮光レンズ等は, 臨床においてロービジョン者の自覚的な有用性は認識されているが, 客観的な評価が難しい。また, 疾患特性に応じた遮光レンズの選定についても明確なものはまだ示されていない。

羞明とは, 通常ならまぶしいと感じない光に対して, まぶしさを覚える状態のことである。視覚は網膜に投影された光刺激を視細胞が受け取ることから得られる感覚である。視細胞には明所で働き色を識別できる錐体と暗所でもわずかな光を感じることができる桿体がある。錐体

には, 感受波長が異なる短波長感受性錐体(以下 S 錐体), 中波長感受性錐体(以下 M 錐体), 長波長感受性錐体(以下 L 錐体)の3種類がある。特に S 錐体は, 羞明の原因である 500 nm 以下の短波長光の感受性錐体である¹⁾。短波長光は中波長光, 長波長光より高エネルギーの光であり, 散乱しやすい特徴がある。光の散乱は羞明の大きな要因である。電磁波の中で人間の目に光として感じる波長範囲が可視光線(380-780 nm)であり²⁾, 波長により異なる色感覚を与える。波長の短い順に 380-430 nm は紫, 430-490 nm は青, 490-550 nm は緑, 550-590 nm は黄, 590-640 nm は橙, 640-770 nm は赤として認識される。

3種類の錐体はそれぞれ最大感度が異なり, S 錐体は約 420 nm-430 nm, M 錐体は約 530

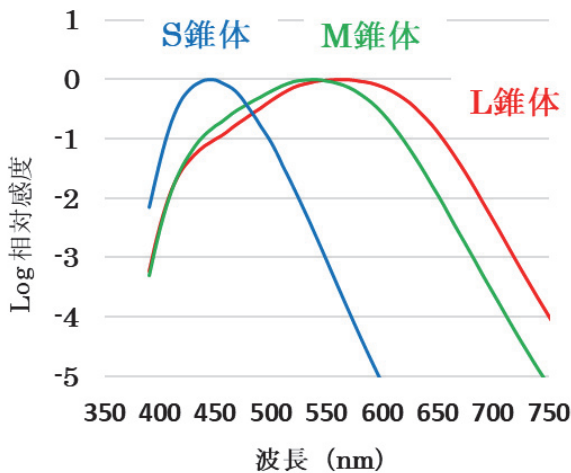


図1 S・M・L錐体の感度分布(文献4より)

-534 nm, L錐体は約534-561 nmである³⁾ (図1)。各錐体の感度分布が重なることで可視光線の領域をカバーして色覚を得ている。

2018年に、米国でパイロットの色覚異常を精密に検出することを目的に、3種類の錐体のコントラスト感度(cone contrast sensitivity)を測定して錐体細胞の評価ができる機器が開発された(ColorDx CCT-HD, Konan Medical USA, カルフォルニア, 米国)。

色覚異常は、3つの錐体のうち1つが欠損、あるいは不完全な機能しか持たない場合に生じる⁵⁾。従来、色覚異常の臨床的確定診断にはアノマロスコープが用いられている⁶⁾。しかしアノマロスコープでは、ColorDx CCT-HDのように各錐体を個別に評価することはできない。開発されたColorDx CCT-HDは、3種類の錐体コントラスト感度を機器独自のスコア値 Scoreとして示すことで、従来のCone contrast testよりも色覚異常を錐体レベルで高精度に検出することができる。

今回我々はColorDx CCT-HDを用い、この機器本来の目的である色覚異常を検出することではなく3種類の錐体コントラスト感度を測定することで、羞明抑制の評価が可能かどうかを検証することに取り組むこととした。

特にS錐体の活動の抑制を数値で示すことが

できると、羞明の抑制の評価を客観的に示すことになる。今後、羞明に対する評価法の一つとして使用できる可能性がある。これが可能になると、遮光レンズの抑制効果の強さや、ロービジョン者への最適な遮光レンズの選定にエビデンスを示すことができると考える。

羞明の抑制には遮光レンズ、カラーレンズ、カラーフィルムが用いられる⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。日常生活の工夫として、白地に書かれた黒文字が読みにくい場合には白地の反射によるまぶしさ軽減を目的に、白黒反転や黄色着色フィルムを紙の上に置いて使用する方法を紹介する¹⁵⁾。遮光レンズは、短波長領域の光の透過率を抑えて視物質の反応を抑制することで、S錐体の活動が抑えられ羞明を緩和することができる¹³⁾¹⁴⁾。これらの羞明の緩和に関する評価はロービジョン者の自覚的なものが多く⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾¹³⁾、S錐体の活動を客観的に評価した報告はない。

本研究の目的は、ColorDx CCT-HDを使用し、羞明の軽減効果が得られている黄色着色フィルム有り無し状態で各錐体のコントラスト感度を評価すること、特にS錐体の活動が抑えられているかを客観的に評価できるかについて検証することとした。

II. 対象および方法

研究対象者は屈折異常以外の眼疾患のない20～40歳の者を対象に募集を行い、協力の得られた10例(20.9±0.3歳, 男女比1:9, 矯正視力1.0以上, 等価球面度数-2.08±1.85 D)とした。除外基準は色覚異常のある者とした。色覚異常の有無は、アノマロスコープを用いて色覚異常が無いことを確認した。さらに本研究では、ColorDx CCT-HDの基準(後述)に則り、基準値を下回らないことを確認した。結果、2名の片眼が基準値を下回ったため、最終的に18眼(等価球面度-2.15±1.90D)を対象とした。

黄色着色フィルムは、三菱電機株式会社のペーパー・インクリボン(CK900L, 三菱電機株式

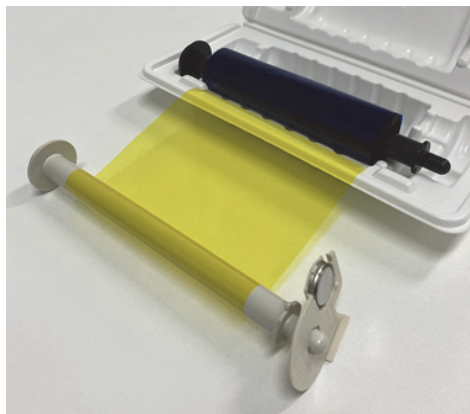


図2 ペーパー・インクリボン CK900L

会社、東京、日本)を使用した(図2)。既報¹⁵⁾において製品の詳細等の記載がないため、筆者らが臨床でロービジョン者から有用と評価されたものである。

錐体コントラスト感度の測定には、米空軍航空宇宙医学校と株式会社コーナン・メディカルが共同開発をした ColorDx CCT-HD を用いた(図3)。この機器は、モニターに表示された S 錐体、M 錐体、L 錐体に対応した色付きのランドルト環(図4)の方向を専用のタッチパネルで回答することで各錐体のコントラスト感度を個別に計測する。この結果をスコア化し色覚異常の有無を評価する。また、従来のコントラスト感度測定機器では計測が困難であった低コントラスト領域も高精度に検出することが可能である。



図3 ColorDx CCT-HD



図4 各錐体に対応したランドルト環視標
左から L 錐体, M 錐体, S 錐体の視標
(製品カタログより引用)

測定は機器のモニターの色の変化を考慮し、毎回、校正用の色彩計でキャリブレーション後、明室下において視距離 0.6 mで行った。左右眼をそれぞれディスプレイ上の視標呈示部分に黄色着色フィルムを静電気で張り付け覆った状態(以下 On)と、黄色着色フィルムで覆わなかった通常測定状態(以下 Normal)の2回測定した。

測定結果は、この機器で示されている単位を用いた。logCS は錐体コントラスト感度のログスケール値を表し、Score は色覚異常の判定のために測定された錐体コントラスト感度から算出された機器独自のスコア値である。Score は、米国エアフォースのパイロットの色覚異常の判断基準に基づき、75 を境に Pass/Fail ラインが設定され 75 未満を先天性または後天性色覚異常、75 以上 90 未満をコントラスト感度の低下または後天性色覚異常、90 以上は正常色覚とする。

解析は黄色着色フィルム On と Normal での各錐体コントラスト感度の測定結果 logCS と Score の平均値を、paired - t 検定を用いて比較した。有意水準は $p < 0.05$ とした。また、本研究は東北文化学園大学倫理審査委員会の承認(文第倫第 20-20 号)後、ヘルシンキ宣言に基づく倫理原則を遵守した上で、研究対象者には十分な説明を行い、自由意思による同意を得て実施した。

III. 結果

錐体コントラスト感度測定により得られた logCS と Score の結果を表 1, 2 に示す。logCS

表1 logCSの結果

logCS	Normal	On	p
L 錐体	2.0 ± 0.1	1.9 ± 0.1	0.15
M 錐体	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.1	0.22
S 錐体	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1	< 0.0001
平均値 ± 標準偏差 n = 18 paired - t			

では、Normal と On で L, M 錐体に有意差はみられなかったが(p=0.15, p=0.22), S 錐体では有意に数値が低下した(p<0.0001). Score も logCS と同様の結果となった(p=0.15, p=0.22, p<0.0001).

IV. 考按

本研究で使用した ColorDx CCT-HD は錐体コントラスト感度を高精度に測定し、色覚の正常、異常に関係なく微細な変化を数値化することができる。また特異度、感度ともに 100%とされ¹⁶⁾、色覚異常の種類や重症度を検出可能な検査であると報告されている¹⁷⁾¹⁸⁾。そのため、今回の測定結果は、十分に信頼性が高いものと考えられる。

堀口¹⁴⁾は S 錐体、杆体、メラノプシンが羞明に関与している可能性が高いと述べている。また、山田ら⁷⁾は 500 nm 以下の短波長光が羞明を感じやすい波長であると報告し、堀口ら¹³⁾は遮光レンズが S 錐体の活動を抑制することで羞明の緩和に役立っている可能性があるとして述べている。今回、錐体コントラスト感度の測定で得られた S 錐体の logCS と Score の有意な数値の低下は、S 錐体の活動の抑制を客観的に示すものと考えられる。

本研究で使用した黄色着色フィルムの分光透過率曲線と ColorDx CCT-HD で呈示されるランドルト環視標の波長分布を図 5 に示す。羞明の原因となり得る 500 nm 以下の短波長光のうち、約 400 nm から 480 nm では黄色着色フィ

表2 Scoreの結果

Score	Normal	On	p
L 錐体	106.2 ± 14.1	99.7 ± 12.4	0.15
M 錐体	100.3 ± 11.9	96.1 ± 9.1	0.22
S 錐体	99.3 ± 13.9	77.9 ± 11.3	< 0.0001
平均値 ± 標準偏差 n = 18 paired - t			

ルムが S 錐体の測定視標の波長を抑制している。そのため、On の状態では logCS と Score に有意な低下が見られたと考えられる。低下はしていたが On において、S 錐体 Score の平均値が Fail の 75 を下回らず、色覚異常を呈するほどではなかった。つまり、ColorDx CCT-HD で黄色着色フィルム使用の有無による錐体コントラスト感度を測定した結果、異常値ではない程度ではあるが、有意な低下が明らかとなり S 錐体活動の抑制がみられたことを示すことができた。

また、L, M 錐体については、約 540 nm から 590 nm と約 525 nm から 560 nm までの波長を各々抑制しているが、黄色着色フィルムの光透過率が約 90%を超えているため、有意差がみられなかったと考えられる。

本研究の限界は以下の点が挙げられる。本研究では Normal と On で測定を行ったため、フィルムの散乱光が結果に影響したかについては不明である。また、本研究の対象者は年齢 20.9 ± 0.3 歳の若年者を対象に錐体コントラスト感度を調べた。そのため、中高年や高齢者、遮光レンズやフィルムの適応となるロービジョン者等での評価は不明である。さらに、今回は筆者らが選定した黄色着色フィルムを使用し検討を行ったため、その他の遮光レンズやフィルムにおいても本研究と同様の結果となるかは不明である。加えて、遮光レンズは日常場面でのコントラストを改善する¹¹⁾と報告されているが、錐体コントラスト感度との関係性についても不明である。日常生活の様々な場面でのコントラス

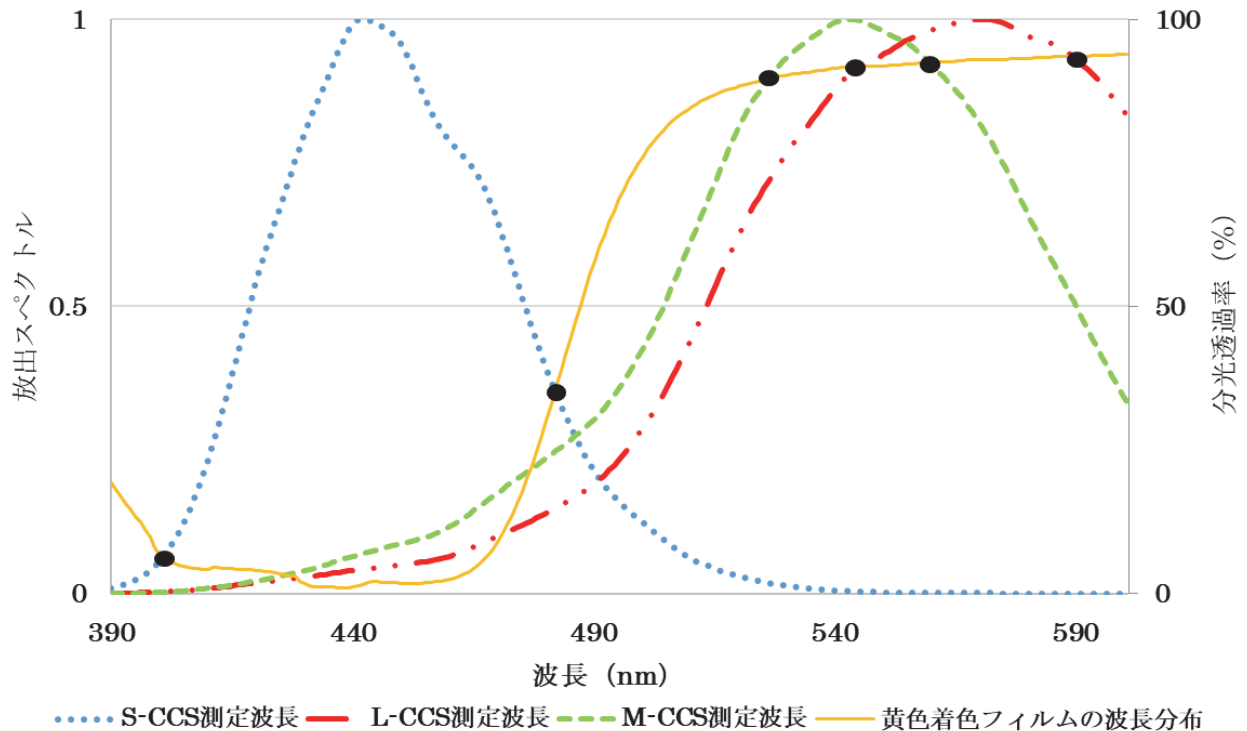


図5 ColorDx CCT-HD で呈示されるランドルト環視標と黄色着色フィルムの波長分布

黒点(●)は黄色着色フィルムと各錐体測定波長との交差点を示す。黄色着色フィルムは、L 錐体の測定視標の交差点である約 540 nm から 590 nm, M 錐体の測定視標の交差点である約 525 nm から 560 nm, S 錐体の測定視標の交差点である約 400 nm から 480 nm では各錐体の測定視標の波長を抑制している。

トは、白黒のコントラストを含め様々な色のコントラストとの関係性についても検討する必要がある。様々な補助具の使用の有無で各錐体コントラスト感度の有意な差が示されれば、数値の大きさや差からそれがどのような意味を持つのかを検討することでエビデンスを示すことが可能と考える。

今回の研究結果から客観性のある数値化として示すことができたため、この結果を基礎データとして今後さらに研究を深めたい。

V. 結論

ColorDx CCT-HD で黄色着色フィルム使用の有無による錐体コントラスト感度を測定し比較検討した。S 錐体コントラスト感度の有意な

低下が明らかとなり、S 錐体活動の抑制を客観的数値として示すことができた。

VI. 文献

- 1) 坂本保夫: 遮光と視機能—透明遮光眼鏡への挑戦—. 日本白内障学会 2010; 22: 24-28.
- 2) 小林義治, 松岡久美子, 臼井千恵, 他 編: 市川一夫. 色覚: 視能学. 第3版. 東京: 文光堂; 2022. P. 76-85.
- 3) 浅川賢: 対光反射とメラノプシン. 医学のあゆみ 2023; 284: 815-818.
- 4) Stockman A, Sharpe LT: The spectral sensitivities of the middle- and long-wavelength-sensitive cones derived

- from measurements in observers of known genotype. *Vision Res* 2000; 40: 1711-1737.
- 5) 岩佐真紀, 村木早苗: 色覚異常の診断に必要な検査と対応方法. *あたらしい眼科* 2020; 37: 1055-1062.
 - 6) 安間哲史: アノマロスコープ検査の基礎. *視覚の科学* 2017; 38: 16-21.
 - 7) 山田明子, 新井田孝裕, 靱負正雄, 他: 網膜色素変性症の羞明生起における特異的波長. *あたらしい眼* 2015; 32: 1349-1354.
 - 8) 楡井しのぶ, 堂山かさね, 国谷暁美, 他: 井上眼科病院における遮光眼鏡の選定に影響を及ぼす因子. *日視会誌* 2010; 39: 217-223.
 - 9) 中村秋穂, 細野佳津子, 石井祐子, 他: 井上眼科病院緑内障外来におけるロービジョンケア. *あたらしい眼* 2005; 22: 821-825.
 - 10) 村田憲章, 石井雅子, 張替涼子, 他: 新潟大学ロービジョン外来における後期高齢者のロービジョンケア. *日本ロービジョン学会誌* 2015; 15: 58-62.
 - 11) 阿曾沼早苗, 不二門尚: 遮光眼鏡とロービジョン. *あたらしい眼科* 2007; 24: 1179-1186.
 - 12) 村瀬忍, 池谷幸子, 林田宏一, 他: 日常生活でまぶしさを感じていた ASD のある中学生への遮光眼鏡による支援. *LD 研究* 202; 29: 123-131.
 - 13) 堀口涼子, 原直人, 内山仁志, 他: VDT 作業に使用する遮光レンズのコントラスト視力装置 CAT2000®を用いた視機能評価—遮光レンズ眼鏡の自覚, 他覚的選択方法の見直し—. *あたらしい眼科* 2015; 32: 1499-1502.
 - 14) 堀口浩史: 遮光眼鏡と羞明—分光分布から羞明を考える—. *あたらしい眼科* 2013; 30: 1093-1100.
 - 15) 青島明子: 成人のロービジョン外来症例集. *あたらしい眼科* 2018; 35: 603-610.
 - 16) Rabin J, Gooch J, Ivan D: Rapid quantification of color vision: the cone contrast test. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52: 816-820.
 - 17) Rabin J: Quantification of color vision with cone contrast sensitivity. *Vis Neurosci* 2004; 21: 483-485.
 - 18) Rabin J: Cone specific measures of human color vision. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997; 37: 2771-2774.

Changes in cone contrast sensitivity using a yellow tinted film in young adult humans

Shota Haraguchi¹⁾, Mineko Ono¹⁾, Natsumi Ishikawa¹⁾

1) Department of Rehabilitation, Visual Science Course, Faculty of Medical Science and Welfare, Tohoku Bunka Gakuen University

Abstract

【Purpose】 To investigate objective changes in long (L), middle (M), and short wavelength sensitive (S) cones contrast sensitivity with and without using a yellow tinted film. 【Subjects and methods】 The subjects were 18 eyes (20.9 ± 0.3 years old, corrected visual acuity of 1.0 or more in decimal) of 10 patients with no eye disease other than refractive error. The film used was a paper ink ribbon. The cone contrast sensitivity (CCS) was measured using the ColorDx CCT HD software for color vision test. We used the Landolt ring corresponding to the L, M, and S cones. The measurements were recorded with the film non-covering target (Normal) and the covering target (On). We compared the logCS values and scores of each CCS with and without the film. 【Results】 Regarding the L, M, and S cones, the logCS values were 2.0 ± 0.1 , 1.9 ± 0.1 , and 0.8 ± 0.1 without the film and 1.9 ± 0.1 , 1.9 ± 0.1 , and 0.6 ± 0.1 with it. No significant difference was observed under the L and M cones. The S cone significantly reduced. The scores were 106.2 ± 14.1 , 103.3 ± 11.9 , and 99.3 ± 13.9 without the film and 99.7 ± 12.4 , 96.1 ± 9.1 and 77.9 ± 11.3 with it, similar to the logCS values. 【Conclusion】 Measurements with of CCS with the ColorDx CCT-HD showed that the sensitivity of S-CCS using the film significantly reduced in young adult humans, objectively demonstrating suppression of the S cone activity.

【Key words】 Yellow tinted film, ColorDx CCT-HD, S cone contrast sensitivity