

偽水晶体眼の色彩感覚

—電気生理学的見地より—

町田 繁樹, 福田 敦, 森 敏郎, 高橋 洋司, 田澤 豊

岩手医科大学眼科学教室

要 約

健常眼, 白内障眼, non-UV レンズあるいは UV レンズ移植眼について, 白色光による明順応下で 400~660 nm (20 nm 間隔) の 14 色の単色光刺激で ERG を記録し, b 波振幅のスペクトル応答曲線を求めた. non-UV あるいは UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude は, 健常眼および白内障眼に比較して, 短波長領域 (青~緑) で有意に大きな値を示した. また, non-UV レンズ移植眼と UV レンズ移植眼との間では 400 nm を除いて有意差はなかった. UV レンズ移植眼は, non-UV レンズ移植眼と同様に青~緑光に対する網膜応答が大きく, UV レンズ移植後にも色彩感覚異常 (色視症) が発症することが示唆され, その対策が必要であると考えられた. (日眼会誌 96: 784-789, 1992)

キーワード: non-UV レンズ, UV レンズ, 単色光 ERG, 色彩感覚異常 (色視症)

Color Sensation of Pseudophakic Eye From a Viewpoint of Electrophysiological Study

Shigeki Machida, Atsushi Fukuda, Toshiro Mori,
Yohji Takahashi and Yutaka Tazawa

Department of Ophthalmology, School of Medicine, Iwate Medical University

Abstract

Monochromatic ERG b-waves were recorded in normal eyes, cataractous eyes and pseudophakic eyes implanted with non-UV or UV IOLs. ERG b-waves were elicited by fourteen monochromatic stimulus lights ranging from 400 to 660 nm under white light adaptation, and spectral response curves were obtained from b-wave amplitudes. Compared with normal eyes or cataractous eyes, the relative b-wave amplitude of pseudophakic eyes was significantly larger in the short wavelength range from blue to green. Except for 400 nm, the spectral response curve of the eyes implanted with UV IOLs was similar to that of eyes implanted with non-UV IOLs. These results suggested that dyschromatopsia might not only occur in eyes implanted with non-UV IOLs but in eyes with UV IOLs. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 96: 784-789, 1992)

Key words: Non-UV IOL, UV IOL, Monochromatic ERG, Dyschromatopsia

別刷請求先: 020 盛岡市内丸 19-1 岩手医科大学眼科学教室 町田 繁樹
(平成 3 年 10 月 15 日受付, 平成 4 年 1 月 17 日改訂受理)

Reprint requests to: Shigeki Machida, M.D. Department of Ophthalmology, School of Medicine, Iwate Medical University, 19-1 Uchimaru, Morioka 020, Japan

(Received October 15, 1991 and accepted in revised form January 17, 1992)

I 緒 言

UV レンズは non-UV レンズと異なり近紫外線を吸収し、若年水晶体と類似した光透過率を有している。他方、水晶体は加齢に伴って黄色色素を増し、その結果、近紫外線のみならず可視光の青・緑色光も吸収するようになるため、白内障のない中高年齢者の健常水晶体であってもその透過率は UV レンズとは異なっている。このため UV レンズ移植眼と中高年齢者の健常眼を比較すると、UV レンズ移植眼では青・緑光が多く網膜に達し、網膜がこの青・緑光に対して応答し、その結果、色彩感覚異常（色視症）が発症すると考えられる。前回我々¹⁾は、non-UV レンズ移植眼と白内障眼の色光に対する網膜応答を定量化するために、単色光 ERG・b 波振幅を比較し、non-UV レンズ移植眼の青～緑の色光に対する b 波振幅は白内障眼のそれよりも大きいことを報告した。今回、中高年齢者の健常眼、白内障眼、non-UV あるいは UV レンズ移植眼の単色光刺激による ERG を記録し、偽水晶体眼における色視症の発症機序とその対策について若干の考察を加えた。

II 対象および方法

1. 対象

対象は眼底および視神経疾患を有しない健常眼 5 名 5 眼、白内障眼 9 名 10 眼、non-UV レンズあるいは UV レンズ移植眼の各 5 名 5 眼である。平均年齢はそれぞれ 60.6、71.8、74.0 および 69.0 歳である。健常眼は、中高年齢者で白内障のほとんどない水晶体を有し、視力が 1.0 以上の症例である。白内障眼は、未熟から成熟の老人性白内障であり、視力は 0.02～0.3 である。移植された眼内レンズは、Model: 85 T (アラガン社) の non-UV レンズと Model: 165 A (ファルマシア社) の UV レンズであり、白内障手術の術式は超音波水晶体乳化吸引術+眼内レンズ挿入術が 4 眼、計画的水晶体嚢外摘出術+眼内レンズ挿入術が 6 眼である。偽水晶体眼の視力は 0.8～1.2 である。ERG 記録は術後 1～2 週の時点で行ったが、この際に術後炎症の消失を細隙灯顕微鏡検査で確認している。健常眼および偽水晶体眼は石原表、東京医大表および Panel D-15 にて先天性色覚異常を有しないことを確認した。尚、白内障眼と偽水晶体眼の症例は同一であるので、術前に視力不良のため色覚検査を行えなかった症例は術後のみ施行した。

2. 単色光刺激装置

単色光刺激装置は、当教室の福田²⁾がすでに報告しているものと同様で、光源を 500 W のキセノンアーク (UXL-500, 三双製作所) とし、単色刺激光を得るために、光源、中性フィルターおよびオプティカルウェッジフィルターの前方にターレット型干渉フィルターを置いた。干渉フィルターは 400～660 nm の間で 20 nm 間隔の 14 枚である。単色光はファイバーオプティクスで角膜面上 1.5 cm の位置に導いた。刺激光のエネルギーは各波長ごとにオプティカルウェッジフィルターを合わせることによって等エネルギーとした。

3. ERG・b 波の記録の方法および条件

被検眼をミドリン P[®] の点眼で極大散瞳後、0.4% 塩酸オキシプロカインで表面麻酔し、閃電極 (川畑式電極の改変型) を角膜上に装着した。その前方に散光板を置き、網膜全体が順応、刺激されるようにした。不閃電極を前額部中央に、接地電極を被検眼と同側の乳様突起部皮膚に装着した。角膜面上で 500 lux の白色光で 20 分間の明順応後、同じ光による明順応下で 400～660 nm の 14 色の単色光による刺激を強度 1.27 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、持続時間 0.15 秒、頻度 0.5 Hz の条件で与え、得られた ERG を 32 回加算平均した。今回は、ERG・b 波振幅を検討の対象とした。

III 結 果

1. 単色光 ERG・b 波波形

図 1 に健常眼、白内障眼、図 2 に non-UV あるいは UV レンズ移植眼の単色光 ERG 波形の代表例をそれ

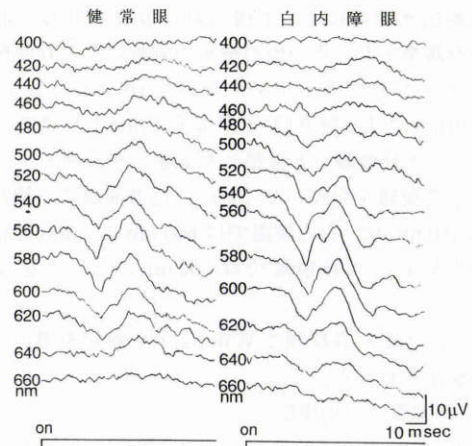


図 1 健常眼および白内障眼における単色光 ERG の代表波形。

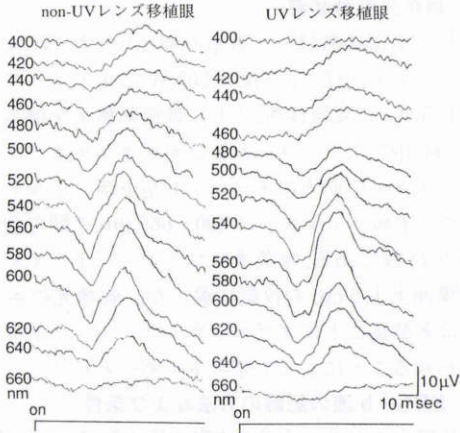


図2 non-UV レンズ移植眼および UV レンズ移植眼における単色光 ERG の代表波形。
正常眼および白内障眼に比較して全波長で b 波振幅が大きく、短波長領域でも大きな振幅を認める。UV レンズ移植眼における 400 nm の網膜応答はほとんど認められない。

それぞれ示した。健常眼の b 波振幅は、短波長領域で小さく、刺激光の波長が長くなるに従い大きくなり、560 nm で最大となる。更に、刺激光の波長が長くなると、再び b 波振幅は小さくなる。同様の傾向が、白内障眼でも認められた。一方、non-UV レンズと UV レンズ移植眼の b 波振幅は、健常眼および白内障眼に比較して全波長で大きく、短波長領域でも比較的大きな振幅が記録された。400 nm による刺激に対しては non-UV レンズ移植眼のみで網膜応答が検出された。

2. スペクトル応答曲線

各単色光刺激によって得られた b 波のうちの最大振幅を基準とし、その他の波長の刺激による b 波振幅の大きさを百分率で求め、これを relative b-wave amplitude とし、健常眼、白内障眼、non-UV あるいは UV レンズ移植眼の各群毎に対象眼の平均値でスペクトル応答曲線を作成した(図3)。応答曲線は、健常眼では 580 nm に、白内障眼では 600 nm に、non-UV および UV レンズ移植眼では 560 nm にピークを示した。

また、下記の各群間で Wilcoxon の検定を用いて有意差検定を行った。

1) 健常眼、白内障眼

420~480 nm (青) の領域で白内障眼の relative b-wave amplitude が健常眼より小さい傾向にあったが、両群間に統計学的有意差は認めなかった。

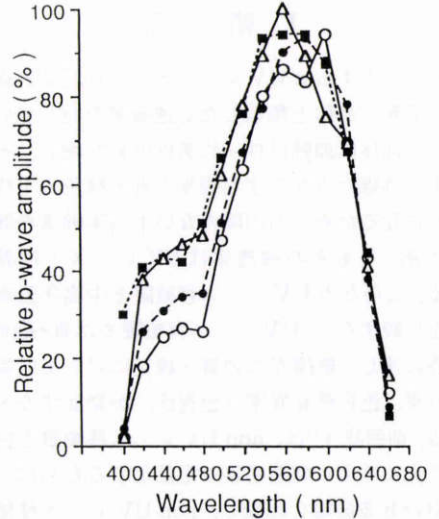


図3 relative b-wave amplitude (平均値) のスペクトル反応曲線。
●●: 健常眼, ○○: 白内障, ■■: non-UV レンズ移植眼, ▲▲: UV レンズ移植眼。

2) 健常眼、non-UV レンズ移植眼

400~500 nm (青紫~青緑) の領域で、non-UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude が健常眼より有意に大きな値を示した ($p < 0.05$)。

3) 健常眼、UV レンズ移植眼

400 nm (青紫) の刺激光では有意差は認められなかったが、420~500 nm (青~青緑) の領域で UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude が健常眼より有意に大きな値を示した ($p < 0.05$)。

4) 白内障眼、non-UV レンズ移植眼

non-UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude は 400~500 nm ($p < 0.01$) および 520 nm (緑) ($p < 0.05$) で白内障眼よりも有意に大きな値を示した。

5) 白内障眼、UV レンズ移植眼

UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude は 420~500 nm ($p < 0.01$) および 520 nm ($p < 0.05$) で白内障眼よりも有意に大きな値を示した。

6) non-UV レンズ移植眼、UV レンズ移植眼

400 nm で non-UV レンズ移植眼の relative b-wave amplitude が UV レンズ移植眼よりも有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。他の波長では、統計学的有意差は認められなかった。

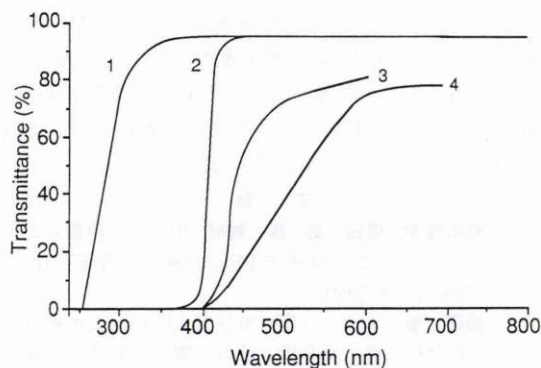


図4 光透過率曲線。

1 : non-UV レンズ (アラガン社提供), 2 : UV レンズ (カピ・ファルマシア社提供), 3 : 健常水晶体 (53歳)⁷⁾, 4 : 白内障水晶体 (78歳)⁸⁾。

IV 考 按

白内障手術後には網膜に達する光のスペクトルが変化し、白内障術後の色彩感覚異常(色視症)が発現するとされている。無水晶体眼および偽水晶体眼の色覚に関する心理物理的検索結果の報告³⁾⁴⁾はいくつかみられるが、電気生理学的見地からの研究は少ない。宇治⁵⁾は白内障眼と無水晶体眼のERG・b波の振幅を波長ごとに(400~680 nm, 16色)比較し、無水晶体眼では500 nm以下でb波振幅が著明に増大することを報告した。更に吉田ら⁶⁾は、黄色光順応下で青錐体系のERG・b波を分離記録し、白内障術後のb波が術前に比較して増大していたことから、青錐体系応答の比較的增加が無水晶体眼の青視症の原因であると述べている。前回我々⁷⁾は、non-UV レンズ移植眼の短波長側のb波は白内障眼に比較して有意に大きく、このことからnon-UV レンズ移植眼の色彩感覚異常の原因が説明できると報告した。このように電気生理学的方法は色に対する網膜応答を他覚的に定量化できる点で心理物理学的手法とは異なった特長を有していると考えられる。

図1, 2に示すようにnon-UVあるいはUV レンズ移植眼のb波は、健常眼および白内障眼に比較して全波長で高振幅であった。この理由として眼内レンズと健常水晶体および白内障水晶体の光透過率の差が考えられる。つまり、図4に示すようにnon-UVあるいはUV レンズは全可視領域(400~780 nm)で、53歳の水晶体⁷⁾および78歳の白内障水晶体⁸⁾に比較して高い光透過率を有しており、より多くの刺激光が網膜に達し、

b波が高振幅となったものと考えられる。また、UV レンズ移植眼ではnon-UV レンズ移植眼とは異なり400 nmの刺激光に対するb波振幅がほとんど認められなかった。これは、図4に示すようにUV レンズは400 nmの光をほとんど透過しないことに起因すると考えられる。

図3に示すように、眼内レンズ移植眼と健常眼および白内障眼との間のrelative b-wave amplitudeの差は、短波長ほど大きくなっているが、これは眼内レンズに比較して健常水晶体および白内障水晶体の光透過率が可視領域で短波長ほど減少するという特性を反映しているものと思われる。

白内障眼は青領域の弁色能の低下をきたし各種色覚検査において、第3色覚異常を呈することが多い³⁾⁴⁾とされている。その理由として混濁した水晶体の黄色色素が可視光のうちの短波長領域の光を吸収するので、青色光が减弱して網膜に到着するためと言われている。今回の我々の結果で、白内障眼の網膜応答が420~480 nmの青領域で健常眼よりも小さな値を示したことは、白内障眼における第3色覚異常の上記の発症機序を支持する結果である。一方、Tukamotoら⁹⁾は若年の正常者および高齢者(有水晶体眼ならびに偽水晶体眼)を対象としてColor Pattern Reversal VECPsを記録し、加齢による第3色覚異常には水晶体着色よりもむしろ網膜から大脳皮質までの神経経路の加齢変化が関与すると述べている。

図3に示すように、スペクトル応答曲線のピークは540~600 nmに位置しているので、今回の記録条件で得られたERGでは色覚に関与する錐体の応答を主に記録していると考えられる。以下、ERG・b波振幅から白内障術後の色彩感覚について考察する。

白内障術後の色視症としては青視症、黄視症、緑視症および赤視症が報告¹⁰⁾されている。この中で臨床によく経験するのは青視症と赤視症である。図3に示したように、non-UVあるいはUV レンズ移植眼は健常眼に比較して、青~青緑光に対する網膜応答が有意に大きい。青錐体の最大反応が電気生理学的に440 nm付近にある⁹⁾ことを考慮すると、UV レンズ移植により400 nm以下の光の透過率を抑えても、青錐体が最大反応する440 nm付近で比較的大きな網膜応答があるため、UV レンズ移植眼であってもnon-UV レンズ移植眼と同様に青視症を自覚する可能性が考えられる。

赤視症の原因については古くから多くの研究がなされ、Vogt¹¹⁾は無水晶体眼に緑色光を照射すると、残像

として一過性の赤視症が生じることを記載した。ここで述べられている残像は陰性残像である。陰性残像とは、ある色光を見た後に白い紙に眼を移すと最初の刺激光と補色関係にある色相に色ずいて見えることであり、赤と緑は補色の関係にある。前回我々は non-UV レンズ移植眼と白内障眼の単色光 ERG を比較し、偽水晶体眼の緑色光に対する網膜応答の増大が赤視症の発現の理由であることを指摘した¹⁾が、今回の結果でも、non-UV あるいは UV レンズ移植眼の 500 nm (青緑色光) に対する網膜応答は健常眼および白内障眼より有意に大きかったことより、UV レンズ移植眼でも non-UV レンズ移植眼と同様に陰性残像としての赤視症が発症する可能性が示唆された。しかし、UV レンズ移植眼では赤視症の発現が有意に少ないとの報告⁹⁾や紫外線による網膜障害が赤視症の原因とする報告¹²⁾もあり、紫外線の関与も考慮しなければならない。Werner ら¹³⁾は手術後 2~5 年経過した眼内レンズ移植眼を対象に心理物理的方法を用いて、青錐体、緑錐体および赤錐体それぞれの感度を求め、non-UV レンズ移植眼では慢性的紫外線暴露による photochemical damage が青錐体に選択的に生じており、non-UV レンズ移植眼では青錐体の感度が UV レンズ移植眼に比較して有意に低下しているとした。更に Werner ら¹⁴⁾は、赤視症の原因はこの青錐体の感度の低下であると述べている。以上のように、赤視症にはその臨床経過から 2 つのタイプがあると考えられる。すなわち、術後早期より発現する赤視症と術後数か月~数年は無症状で経過し、強い光暴露を契機に発現する赤視症¹⁰⁾¹²⁾である。前者は陰性残像であり、後者は紫外線障害で説明が可能であると考えられる。

UV レンズは、術後紫外線によっても生じるとされる嚢胞様黄斑浮腫¹⁵⁾や血液網膜関門の破綻の予防¹⁴⁾および紫外線による赤視症を予防する点で優れていると考えられている。しかし、UV レンズ移植眼であっても、non-UV レンズ移植眼と同様に青~青緑光に対する網膜応答が大きく、色彩感覚異常(色視症)が発現することから、non-UV レンズのみならず UV レンズ移植眼でも健常水晶体と類似した光透過率を持つ眼鏡を装着させて網膜に達する光の波長特性を健常眼に近付かせる必要があると考えられる。今回の研究は 500 lux の明順応下で行っており、順応光の強さを変えた場合に各群がどのような網膜応答を示すかは未知であり、装着すべき眼鏡の光透過率までは言及できない。Ham¹⁶⁾は、441 nm (青) から 1,064 nm (近赤外線) ま

でのレーザー光線をサル眼の網膜に照射し、特に青領域のレーザー光線による網膜障害が強いことを示した。この青色光による網膜障害を防御する意味からも、non-UV あるいは UV レンズ移植後に着色レンズ眼鏡の装着が必要であると考えられる。

文 献

- 1) 町田繁樹, 福田 敦, 森 敏郎, 他: 白内障眼および偽水晶体眼の単色光 ERG の検討. 眼紀 41: 2248—2252, 1990.
- 2) 福田 敦: ニワトリ眼の単色光 ERG・c 波の検討—杆体性 c 波と錐体性 c 波の分離について—. 日眼会誌 93: 599—609, 1989.
- 3) 花房 晶, 宮本 正, 野寄 忍, 他: 白内障眼, 無水晶体眼, 人工水晶体眼の中心色覚. 臨眼 40: 786—787, 1986.
- 4) 花房 晶, 白石弘志, 大浜敬子, 他: 紫外線吸収レンズ挿入眼の中心色覚. あたらしい眼科 5: 1040—1042, 1988.
- 5) 宇治幸隆, ヒト水晶体の可視光吸収が ERG に及ぼす影響について—第 2 報. 白内障手術前後における単色光 ERG の比較—. 日眼会誌 81: 1321—1327, 1977.
- 6) 吉田輝也, 宇治幸隆: 白内障手術における Blue cone 系反応の変化について. 臨眼 30: 333—338, 1976.
- 7) Boettner EA, Wolter JR: Transmission of the ocular media. Invest Ophthalmol 1: 776—783, 1962.
- 8) 森 礼於, 河本康太郎, 秋山順悦, 他: 水晶体着色による色の見え方変化の心理物理的測定. 日本色彩学会誌 7: 107—114, 1983.
- 9) Takamoto M, Adachi-Usami E, Fujimoto N: Color vision estimated by color pattern reversal VEPs in patients with intraocular lens implant, in Ohta Y (ed): Color Vision Deficiencies, Amsterdam, Kugler & Ghedini Publ, 77—85, 1990.
- 10) Jordan DR, Valberg JD: Dyschromatopsia following cataract surgery. Can J Ophthalmol 21: 140—143, 1986.
- 11) Vogt A: Über Blendungserythropsie der Aphakischen. Arch Augenheilk 127: 93—127, 1914.
- 12) Lawrence HM, Rynolds TR: Erythroptosis phototoxicity associated with non-ultraviolet-filtering intraocular lenses. J Cataract Refract Surg 15: 569—572, 1989.
- 13) Werner JS, Steel VG, Pfoff DS: Loss of human photoreceptor sensitivity associated with chronic exposure to ultraviolet radiation. Ophthalmology 96: 1552—1558, 1989.

- 14) **Werner JS, Spillmann L:** UV-absorbing intraocular lenses: Safety, efficacy and consequences for the cataract patient. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 27: 248—256, 1989.
- 15) **Kraff MC, Sanders DR, Jampol LM, et al:** Effect of ultraviolet-filtering intraocular lens on cystoid macular edema. *Ophthalmology* 92: 366—369, 1985.
- 16) **Ham WT Jr:** Ocular hazards of light sources: Review of current knowledge. *Occup Med* 25: 101—103, 1983.