

黄色眼内レンズのスペクトル感度に及ぼす影響

石田みさ子¹⁾, 築島 謙次¹⁾, 三輪まり枝¹⁾, 穂積 沙紀²⁾, 沖坂 重邦²⁾

¹⁾国立身体障害者リハビリテーションセンター病院眼科, ²⁾防衛医科大学校眼科学教室

要 約

無水晶体眼や紫外線非吸収眼内レンズ(以下 non-UV と略す)挿入眼, 紫外線吸収眼内レンズ(以下 UV と略す)挿入眼患者の色視症の原因解明を目的として, 矯正視力 1.0 以上の有水晶体眼, 無水晶体眼, non-UV 挿入眼, UV 挿入眼, 黄色眼内レンズ(以下 UVCY と略す)挿入眼のスペクトル感度を測定した。有水晶体眼では加齢に伴う青領域(400~440 nm)のスペクトル感度低下が認められた。400 nm における有水晶体眼(66 眼)のスペクトル感度で得られた回帰直線上に各種眼内レンズ挿入眼の感度の平均をプロットすると UVCY 挿入眼, UV 挿入眼は 20 代の有水晶体眼に相当するスペクトル感度

を示し, non-UV 挿入眼, 無水晶体眼は 0 代に相当する感度を示した。non-UV 挿入眼, UV 挿入眼は中長波長領域において逆に UVCY 挿入眼や, 有水晶体眼より感度が低下していた。UVCY 挿入眼は他の眼内レンズ挿入眼に比べ, 有水晶体眼に最も近いスペクトル感度を示した。(日眼会誌 98:192-196, 1994)

キーワード: 黄色眼内レンズ, スペクトル感度, 色彩感覚異常, 紫外線吸収眼内レンズ, 紫外線非吸収眼内レンズ

Influence of the Yellow-tinted Intraocular Lens on Spectral Sensitivity

Misako Ishida¹⁾, Kenji Yanashima¹⁾, Marie Miwa¹⁾,
Saki Hozumi²⁾ and Shigekuni Okisaka²⁾

¹⁾Eye Clinic, National Rehabilitation Center for the Disabled

²⁾Department of Ophthalmology, National Defense Medical College

Abstract

One of the complaints of patients with aphakic eyes or pseudophakic eyes implanted with UV or non-UV intraocular lenses (IOLs) is chromatopsia. To determine the extent of color distortion, we measured the spectral sensitivity curve of normal subjects with visual acuity above 1.0 with correction, if any, including subjects implanted with the yellow-tinted IOL (UVCY IOL: HOYA Co.). We found that color sensitivity in the blue range (400~440 nm) declined rapidly with subjects age. We drew a regression line plotting age against sensitivity for 66 normal subjects. Sensitivity for pseudo-

phakic eyes implanted with UVCY and UV IOLs at 400 nm corresponds to that of subjects in their early 20's. That of pseudophakic eyes implanted with non-UV IOLs and aphakic eyes corresponded to that of infants. In summary, compared to UV IOL and non-UV IOLs, the UVCY IOL was found to best approximate the color sensitivity of healthy eyes. (J Jpn Ophthalmol Soc 98:192-196, 1994)

Key words: Yellow-tinted IOL, Spectral sensitivity, Chromatopsia, Ultra-violet IOL, Non ultra-violet IOL

I 緒 言

眼内レンズ挿入手術が普及してくるにつれ, 色彩感覚異常やグレアが偽水晶体眼にとって問題となり, その防止策として着色眼内レンズの開発が進められてきた。し

かし, 着色レンズの問題点として青色系の透過率の低下に伴う色覚の異常や夜間視での感度低下が考えられた。しかし色覚の異常については, 工藤ら¹⁾や, 斉木ら²⁾は紫外線非吸収眼内レンズ(以下 non-UV と略す)挿入眼に着色フィルターを装用させ色覚の正常化を認めたことを

別刷請求先: 359 埼玉県所沢市並木 4-1 国立身体障害者リハビリテーションセンター病院眼科 石田みさ子
(平成 5 年 2 月 26 日受付, 平成 5 年 9 月 3 日改訂受理)

Reprint requests to: Misako Ishida, M.D. Eye Clinic, National Rehabilitation Center for the Disabled, 4-1 Namiki, Tokorozawa-shi, Saitama-ken, 359, Japan

(Received February 26, 1993 and accepted in revised form September 3, 1993)

報告し、太田ら³⁾や、浜野ら⁴⁾は、着色眼内レンズ(HOYA社製 UVCY, 以下 UVCY と略す) 挿入眼において Farnsworth-Munsell 100 Test (以下 100 Hue Test と略す)を行い、同世代の正常者や non-UV 挿入眼に比べ、エラースコアの減少を認めたと報告した。また、渥美ら⁵⁾⁶⁾は夜間視力について non-UV 挿入眼に着色レンズを装着して調べた結果、夜間視力の低下は認められず、同様の方法にて動体視力を測定し、着色レンズ装着にて動体視力の改善を得たと報告している。

偽水晶体眼にとって色彩感覚異常や夜間視力以外にもグレアの問題が重要であり、中泉ら⁷⁾は non-UV 挿入眼に着色レンズ装着にてグレア付加時のコントラスト感度の改善をみており、我々⁸⁾も UVCY の有用性についてコントラスト感度の測定を行い、UVCY 挿入眼が従来の眼内レンズや有水晶体眼と比較してコントラスト感度が良好なことを報告した。今回、我々は UVCY 挿入眼、従来の眼内レンズ挿入眼、無水晶体眼のスペクトル感度の測定を行い、UVCY 挿入眼におけるコントラスト感度の増強や色彩感覚異常の改善がどのような機序でもたらされるのかについて、さらに検討を行ったのでここに報告する。

II 対象と方法

1. 対象

対象は、矯正視力 1.0 以上の得られた有水晶体眼、無水晶体眼、UVCY 挿入眼、紫外線吸収眼内レンズ(以下 UV と略す、NIDEK 社製)挿入眼、non-UV (HOYA 社製)挿入眼である。眼内レンズ挿入眼および無水晶体眼は白内障手術後の影響がなくなったと思われる術後3か月以上経過したもので、中間透光体、眼底に病変の認められない者とした。白内障手術術式としては、すべて計画的な水晶体嚢外摘出術後眼内レンズを嚢内に挿入した。表1に有水晶体眼の各年齢群の眼数および表2に各種眼内レンズ挿入眼、有水晶体眼、無水晶体眼の眼数および

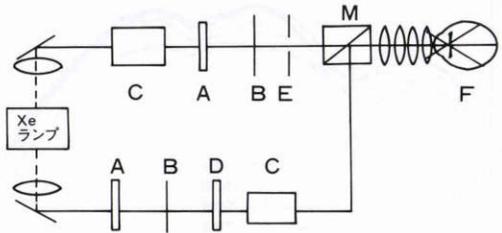
表1 有水晶体眼の眼数

10 ~ 19 歳	: 15 眼
20 ~ 39 歳	: 14 眼
40 ~ 59 歳	: 16 眼
60 ~ 79 歳	: 17 眼
80 歳 ~	: 4 眼
合計	: 66 眼

表2 各種眼内レンズ挿入眼、有水晶体眼 (40 歳以上)、無水晶体眼の眼数と平均年齢

UVCY 挿入眼	18 眼	64.4 ± 8.1 歳
UV 挿入眼	6 眼	68.2 ± 11.7 歳
non-UV 挿入眼	21 眼	65.6 ± 11.8 歳
有水晶体眼 (40 歳以上)	37 眼	61.5 ± 12.8 歳
無水晶体眼	5 眼	62.2 ± 14.9 歳

背景光投光系



検査光投光系

図1 色光刺激装置 (NIDEK 社製 RF-2) の光路系。
A: 干渉フィルター B: ND フィルター C: ジャッタ D: パターン E: 絞り F: 眼球
M: ミキシングチューブ

平均年齢を示す。表2における有水晶体眼は各種眼内レンズ挿入眼の年齢を考慮して40歳以上の者とした。

2. 検査方法

単色光刺激装置 (NIDEK 社製, RF-2) は既に築島ら⁹⁾が報告しているものと同様で、図1に光路図を示す。75 W のキセノン (Xe) ランプを光源とし背景光と検査光に分け、検査光路に干渉フィルター (中心波長が 400 nm ~ 700 nm まで 20 nm おきに 16 枚を用意し、半値幅は平均 8 nm である) を置き、ND フィルターにて等エネルギーとし、視角 1° の円形検査光とした。背景光強度 (29.0 μW) は 0.5 log 刻みで、検査光強度は 0.1 log 刻みで変えることができる。背景光と検査光はミキシングチューブで1つになり、マックスウェル視光学系にて被検者の対象眼に提示した。装置は NEC 社 PC-8801 MKII に連動している。今回、我々は10分の明順応の後、背景光を強度 1.5 log、視野 10° の白色光とし、中央の検査光を背景光から視認できた ND フィルターの最大値を閾値とし、各干渉フィルター毎に相対感度として 0.1 log 刻みで測定し、最後に自動的にスペクトル感度を記録した。

III 結果

1. 年齢別平均スペクトル感度 (図2)

スペクトル感度は 440 ~ 460 nm, 540 ~ 560 nm, 600 nm 付近にピークを持つ3峰性のパターンを示した。各年齢群の平均スペクトル感度は、年齢の上昇に従い低下の傾向を示した。加齢による低下は短波長領域、特に 400 nm において著しく認められたが、80 代の平均スペクトル感度を除いて長波長領域においては、その差は顕著ではなかった。

2. 有水晶体眼の 400 nm におけるスペクトル感度の分布

図3は加齢に伴う感度低下の最も著しい 400 nm におけるスペクトル感度の分布を年齢別に見たものである。加齢とともにばらつきは増加するが、加齢に伴ってスペクトル感度は低下する傾向を示した。Kruskal-Wallis 検

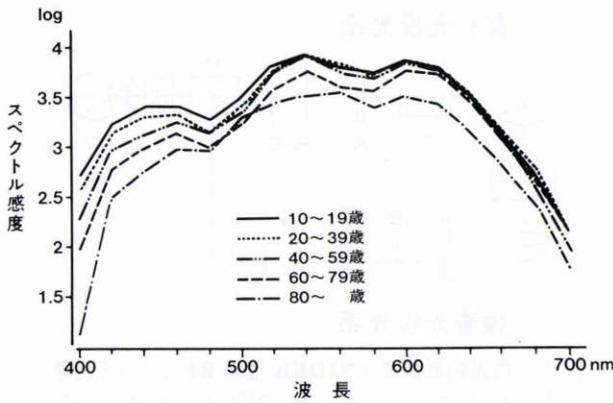


図2 年齢群別スペクトル感度.

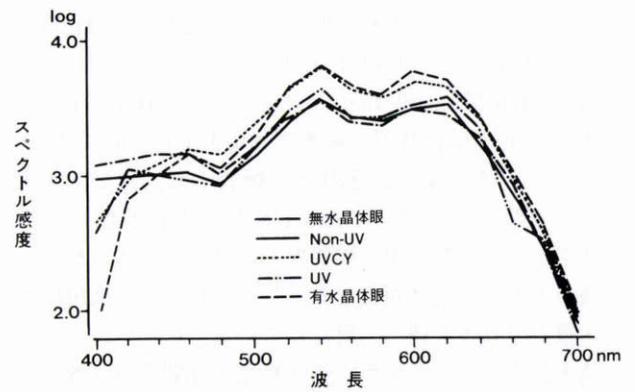


図4 各種眼内レンズ挿入眼, 有水晶体眼 (40歳以上), 無水晶体眼のスペクトル感度.

non-UV: 紫外線非吸収眼内レンズ, UVCY: 着色眼内レンズ, UV: 紫外線吸収眼内レンズ

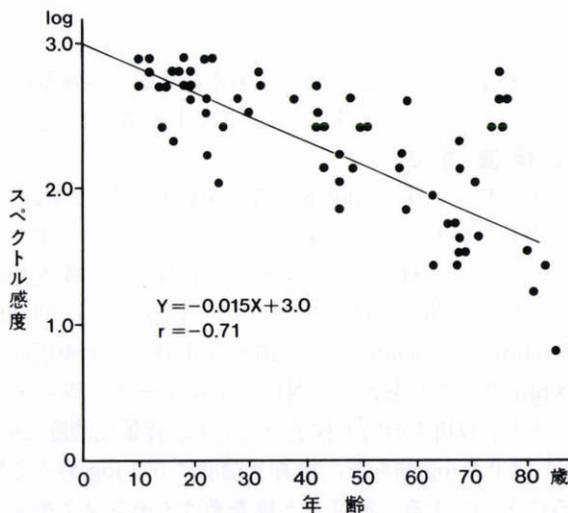


図3 有水晶体眼の400 nmにおけるスペクトル感度の分布.

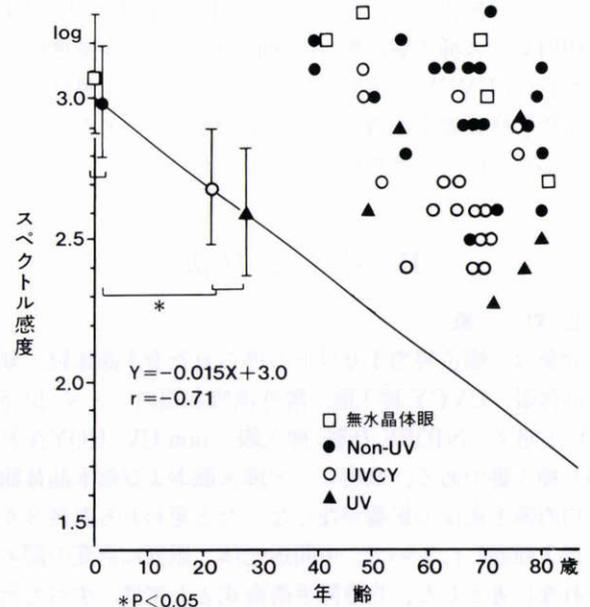


図5 無水晶体眼および各種眼内レンズ挿入眼の400 nmにおけるスペクトル感度の分布.

図2の有水晶体眼の回帰直線 $Y = -0.015X + 3.0$ を記入してある. non-UV: 紫外線非吸収眼内レンズ, UVCY: 着色眼内レンズ, UV: 紫外線吸収眼内レンズ

定にて10代毎の各年齢群とスペクトル感度には相関が認められた. 年齢 x とスペクトル感度 y の間の相関をみると, 回帰直線は $y = -0.015x + 3.0$ が得られ, $p < 0.001$ で有意な回帰が認められた. また, 相関係数 $r = -0.71$ ($p < 0.01$) であった.

3. 各種眼内レンズ挿入眼, 有水晶体眼, 無水晶体眼の平均スペクトル感度

白内障手術時の年齢を考慮して有水晶体眼は40歳以上のものを対象として, 各種眼内レンズ挿入眼, 無水晶体眼の比較を行った. 各眼の平均スペクトル感度を図4に示す. UVCY挿入眼は400 nmにおいて, 有水晶体眼やUV挿入眼より感度が上昇していた以外は全体的に有水晶体眼と同じ3峰性のパターンを示した. 一方 non-UV挿入眼, 無水晶体眼は, 短波長領域ではUVCY挿入眼, 有水晶体眼に比べ高い感度を示し, 中, 長波長領域では有水晶体眼, UVCY挿入眼に比べ低い感度を示し, 平坦化した3峰性を示していた. UV挿入眼は400 nmにおいては, UVCY挿入眼より感度は低下しており, 有水晶体眼に近い値を示しているが, 420 nm以上の波長ではUVCY挿入眼, 有水晶体眼と non-UV挿入眼, 無水晶体

眼の中間のパターンを示した.

4. 無水晶体眼および各種眼内レンズ挿入眼の400 nmにおけるスペクトル感度の分布

無水晶体眼および各種眼内レンズ挿入眼のスペクトル感度の中で最もばらつきが多い400 nmにおけるスペクトル感度の分布を図5に示す. 無水晶体眼, non-UV挿入眼, UVCY挿入眼, UV挿入眼のスペクトル感度の平均と標準偏差はそれぞれ $3.07 \pm 0.21 \log$, $2.97 \pm 0.20 \log$, $2.67 \pm 0.21 \log$, $2.60 \pm 0.23 \log$ であった. 図3の有水晶体眼のスペクトル感度の分布で得られた回帰直線と各種眼内レンズ挿入眼の平均スペクトル感度を重ね合わせ,

得られた回帰直線から推定すると無水晶体眼, non-UV 挿入眼, UVCY 挿入眼, UV 挿入眼の平均スペクトル感度はそれぞれ0歳, 0歳, 22歳, 26歳に相当するスペクトル感度を示した。この時, 20代の有水晶体眼の平均スペクトル感度と標準偏差は $2.55 \pm 0.29 \log$ で, UVCY 挿入眼, UV 挿入眼との間に有意差は認められなかった。また, UVCY 挿入眼, UV 挿入眼のスペクトル感度はそれぞれ無水晶体眼, non-UV 挿入眼のスペクトル感度に対して統計的に有意に低下していた ($p < 0.05$)。

IV 考 按

グレアや色彩感覚異常は偽水晶体眼にとって不愉快な現象であり, これを解決することが人眼水晶体の代用としての眼内レンズを考える上で必須であると思われる。

偽水晶体眼の色覚について, 市川¹⁰⁾¹¹⁾は100 Hue test を使った彼の評価方法により, non-UV と UV の間に有意差はなく, 水晶体の加齢による着色に模して作成した着色レンズ (UVCY とは異なる) を装着させたところ, 色視症の消失が可能であったとしている。色視症, 特に青視症発症には眼内レンズとヒト水晶体の透過率による違いが関与していると考えられているが, 色視症の検証については従来の色相検査を主にした評価が多い。色相検査は色空間上の距離に依存するが, 認知する側の人の座標軸は異なり, 有水晶体眼の人の座標軸と偽水晶体眼の人の座標軸とは同一ではない。そのため色相の違いによる差を検出することは困難であると思われる。また, 100 Hue test の85色の色度はHart¹²⁾が示すようにCIE色度図上の狭い範囲に限られており, 色相の変化を検出するのに最適とは考えにくい。そこで今回, 我々は各波長毎の色刺激に対する感度測定を行った。

今回我々が使用した各種眼内レンズと有水晶体眼 (Boettner¹³⁾から引用) の光線透過率を図6に示すが, UV においては我々の実測値からは400 nm において光が全く透過しない訳ではなかった。このことから, カタログ値と実測値が異なることが推測されたので各社のUVの透過率曲線を調べると, 同じUVと称していても400 nm における透過率が20~30%のものから50%を超えるものまで種々のレンズがあることがわかった。このためUVレンズといっても一様の透過率ではなく, 100 Hue test による評価でUVとnon-UVの間に差異を認めた愛知¹⁴⁾と認めなかった花房¹⁵⁾の報告のように相反する結果がでたのはこのことに起因していたのかもしれない。UV という名称を使う以上, レンズの透過率による何らかの規定が必要と思われる。また, 着色レンズについても今後同様の規定が必要であると思われる。

新しい眼内レンズを開発する上で色覚の発達を無視することはできないと思われるが, その発達について Verriest¹⁶⁾や, 野寄¹⁷⁾は100 Hue test のエラースコアが20代が最もエラーが少ないことを報告し, また市川¹⁸⁾

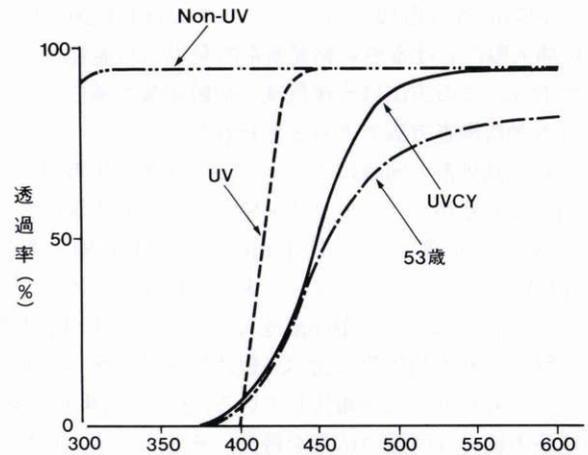


図6 有水晶体眼および眼内レンズ透過率。

53歳の有水晶体眼の透過率はBoettner¹³⁾の論文から引用した。non-UV: 紫外線非吸収眼内レンズ, UV: 紫外線吸収眼内レンズ, UVCY: 着色眼内レンズ

によると種々の報告から色覚は年齢とともに発達し, 20代で最高になり, 後は加齢とともに青を中心として少しずつ低下して60歳以上は明らかに低下するという。視機能の発達について形態覚の完成が4~5歳において行われる¹⁹⁾といわれるが, 色覚が20代において完成するとするならば, その間の約20年間は何を意味するのであろうか。

スペクトル感度という観点から色覚の発達を考えてみると, 10~84歳までを対象年齢とした我々の結果から, 全体的な傾向として加齢とともに感度の低下を認め, それは短波長側で顕著であり, 600 nm を越えた長波長領域では10代~60歳までほとんど統計的に差を認めなかった。また, Verriest²⁰⁾は有水晶体眼と無水晶体眼のスペクトル感度を測定し, 若年者と高齢者の無水晶体眼の短波長側のスペクトル感度に差を認めず, また有水晶体眼は短波長領域において無水晶体眼より低下していたと述べている。我々の結果から, 無水晶体眼 (平均年齢62歳) の400 nm におけるスペクトル感度が0歳の有水晶体眼のスペクトル感度に相当することを併せ考えると, 網膜レベルの加齢による感度低下は無視でき, 短波長領域の加齢による感度低下は生後から紫外線に暴露されることにより水晶体に眼に見えない黄化現象が始まる可能性を示唆している。有水晶体眼の400 nm におけるスペクトル感度についても年齢毎のばらつきは加齢とともに大きくなり, 水晶体着色の差によるものと理解され, 色覚の発達においては水晶体の生下時からの加齢変化は無視できないように思われる。しかし, 我々の行った検査や100 Hue test のような自覚的検査には年齢的な限界があり, 他覚的検査による色覚の加齢現象の裏付けが今後必要と思われる。

他覚的検査の1つとして電気生理学的検査が考えられ, 町田²¹⁾²²⁾が単色光刺激による網膜電図の測定にお

いて相対的b波振幅の評価によってnon-UV挿入眼、UV挿入眼における色彩感覚異常の発現の可能性を示唆しており、この方法は今後色覚の加齢現象を捕らえる上でも有効な検査方法であると思われる。

色彩感覚異常と同時にグレアは偽水晶体眼患者の大きな問題であるが、コントラスト感度と短波長領域のスペクトル感度を測定したHammerら²²⁾はUV挿入眼とnon-UV挿入眼のコントラスト感度に相違を認めず、スペクトル感度は390~410nmを除いて差を認めず、UV挿入眼でも有水晶体眼に比べ、短波長領域のスペクトル感度が上昇していたと報告している。我々の結果からも、短波長領域では同様の結果を得た。そして、中、長波長領域において有水晶体眼とUVCY挿入眼が感度良好で類似しており、逆に無水晶体眼やnon-UV挿入眼では有水晶体眼に比較して感度低下を認め、UV挿入眼は400nmを除いてその2群の間を示した。このことは既に報告⁹⁾したように、夜間視のコントラスト感度においてnon-UV挿入眼やUV挿入眼に比べてUVCY挿入眼が良好であることと関係があるのかもしれない。また、夜間視グレア付加によりnon-UV挿入眼、無水晶体眼のコントラスト感度が低下するのに対して、UVCY挿入眼では低下が認められにくく、有水晶体眼とほぼ同様のコントラスト感度を維持することから、UVCYが短波長領域をカットすることにより中間透光体に起因するグレアの発現を抑えるためと考えられる。さらにnon-UV挿入眼でNd:YAGレーザー後発白内障切開術によってコントラスト感度の改善が認められたことは後発白内障がグレアの原因の一つであったといえるが、UVCYは上記の理由で後発白内障を発症してもその影響を受けにくく、コントラスト感度が低下しにくいものと考えられた。

今回の我々の検査結果から、有水晶体眼のスペクトル感度は高輝度明順応下で青、緑、赤錐体を反映する3峰性を描き、加齢による変化は短波長領域に顕著に認められた。短波長領域、特に400nmにおけるスペクトル感度の低下はかなり早期から起こり、水晶体の着色によると考えられた。そして、UVCY挿入眼の400nmにおけるスペクトル感度は比較的若年者に相応し、420~700nmにおけるスペクトル感度も40歳以上の有水晶体眼とほぼ同じであった。このため、UVCY挿入眼のコントラスト感度が有水晶体眼とほぼ同様の感度を示すと考えられた。以上のことから、UVCYはnon-UV、UVに比べ、人眼により近いスペクトル感度を示し、臨床的に色彩感覚異常やグレア障害を起こしにくい眼内レンズであると考えられた。

文 献

- 1) 工藤 仁, 萩原 早, 斉木貴美, 浜野 薫, 小原ふく子, 花房 晶, 他: 白内障術後の色覚矯正用着色レンズの検討. 臨眼 44: 473-475, 1990.
- 2) 斉木貴美, 浜野 薫, 工藤 仁, 高村健太郎, 太田安雄: 着色眼内レンズの試作とその色覚に及ぼす影響. 眼臨 84: 1090-1094, 1990.
- 3) 太田安雄, 大浜敬子, 萩原 早, 斉木貴美: 着色眼内レンズとその色覚について. 眼臨 85: 1032-1035, 1991.
- 4) 大浜敬子, 萩原 早, 花房 晶, 友永正昭, 太田安雄: 着色した後房レンズの色覚に関する研究. 臨眼 45: 245-249, 1991.
- 5) 渥美一成, 小林 浩, 萩野誠周: 着色レンズの視機能—その1. 夜間視力—. IOL 5: 327-331, 1991.
- 6) 渥美一成, 田中英成, 萩野誠周: 着色レンズの視機能—その2. 動体視力—. 眼紀 43: 80-83, 1992.
- 7) 中泉裕子, 市川典子: カラーフィルターを介したIOL挿入眼のコントラスト感度. IOL 5: 38-44, 1991.
- 8) 石田みさ子, 佐藤弘美, 築島謙次, 穂積沙紀, 沖坂重邦: グレア下における着色レンズのコントラスト感度の改善. 眼紀 44: 399-405, 1993.
- 9) 築島謙次, 今水 寛, 石田みさ子: 主成分分析を用いた単色光刺激誘発脳波の解析. 眼紀 40: 797-802, 1989.
- 10) 市川一夫: 色覚とグレア. 三宅謙作(編): 眼科Mook, 47, 眼内レンズ, 金原出版, 東京, 146-159, 1992.
- 11) 市川一夫, 内藤尚久, 中田和彦: 人水晶体類似の透過特性を有する眼内レンズの研究: 2. 眼内レンズの着色について. 眼科手術 5: 545-549, 1992.
- 12) Hart WM Jr: Acquired dyschromatopsias. Surv Ophthalmol 32: 10-31, 1987.
- 13) Boettner EA, Wolter JR: Transmission of the ocular media. Invest Ophthalmol 1: 776-783, 1962.
- 14) 愛知忠明, 松波智恵子, 安江いずみ, 早野三郎: 偽水晶体眼の色覚について. 眼紀 36: 1764-1765, 1985.
- 15) 花房 晶, 白石弘志, 大浜敬子, 太田安雄: 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.
- 16) Verriest G: Further studies on acquired deficiency of color discrimination. J Opt Soc Am 53: 185-195, 1963.
- 17) 野寄 忍, 浜野 薫, 友永正昭, 太田安雄: Farnworth-Munsell 100 hue testの正常値について. 日眼会誌 91: 298-303, 1987.
- 18) 市川一夫: 色視症. 眼科手術 5: 249-257, 1992.
- 19) Rosner J: How Clearly Do the Patients See? Pediatric Optometry. Butterworth Publishers, Stoneham, 37-68, 1982.
- 20) Verriest G: The relative spectral luminous efficiency in different age groups of aphakic eyes. Die Farbe 21: 17-25, 1972.
- 21) 町田繁樹, 福田 敦, 森 敏郎, 高橋洋司, 田沢 豊: 偽水晶体眼の色彩感覚—電気生理学的見地より—. 日眼会誌 96: 784-789, 1992.
- 22) 町田繁樹, 福田 敦, 森 敏郎, 高橋洋司, 田沢 豊: 白内障及び偽水晶体眼の単色光ERGの検討. 眼紀 41: 2248-2252, 1990.
- 23) Hammer HM, Yap M, Weatherill JR: Visual performance in pseudophakia with Standard and ultraviolet intraocular lenses: A preliminary report. Trans Ophthalmol Soc UK 105: 441-446, 1986.