

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010 年度 ～ 2011 年度

課題番号：22700573

研究課題名（和文）片眼白内障手術患者における両眼情報統合過程の解明と臨床応用

研究課題名（英文）Investigation and application of the binocular integration process of patients after monocular intraocular lens implantation.

研究代表者

溝上 陽子（MIZOKAMI YOKO）

千葉大学・大学院融合科学研究科・助教

研究者番号：40436340

研究成果の概要（和文）：

白内障手術を片眼のみに行う場合、手術眼と非手術眼の見えの差が大きく違和感を訴える患者がいる。本研究は、片眼白内障手術前後の左右眼と両眼視それぞれの色知覚と空間周波数特性を調べることにより、その順応過程と両眼情報統合過程を検討した。その結果、左右眼の色知覚は異なるが両眼では情報が統合される、また空間周波数特性には優位眼が存在する傾向が得られ、視覚特性に応じたモデルによる見えの予測の可能性が示された。

研究成果の概要（英文）：

As monocular cataract surgery by intraocular lens (IOL) implantation is performed, color perception and spectral sensitivity between eyes at monocular observation are different. We investigated how the information from each eye was integrated and affect the appearance under binocular view. Our results showed that monocular information was integrated with different weighting in each patient, implying that a visual model predicting the binocular view could be constructed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学，リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：白内障手術・両眼情報・色覚・コントラスト感度・高齢者

1. 研究開始当初の背景

白内障の主な原因は加齢に伴う眼の水晶体の黄濁の進行によるものであり、進行に個人差があるとはいえ、誰もがいずれは直面する（80歳では90%以上）。白内障の手術では、濁った水晶体を取り除き人工の透明な眼内レンズを入れる。白内障の進行は両眼で異なるため、片眼のみ白内障手術を行う場合があ

る。そこで問題になるのは、透明な眼内レンズを入れた手術眼と、非手術眼の見えの差が大きく、手術後長期間にわたり違和感を訴える患者がいることである。しかし、両眼情報統合の問題について検討された研究はほとんど見当たらない。術後のコントラスト感度や色覚の測定結果は数多く報告されている。しかし、これらの研究は手術眼と非手術眼

「それぞれの」の視覚特性についてのみに注目している。当然のことながら、日常生活では両眼で見るので、両眼情報が統合された状態での見え方を知ることは非常に重要であると考えられる。

術後の見えの違和感とその変化に大きく関与していると考えられる視覚のメカニズムとして、長期的順応メカニズムと両眼情報統合メカニズムが挙げられる。研究代表者はこれまで視覚の順応メカニズムについて研究してきており、色分布や、ボケなどの空間特性から人の顔に至るまで、人間は外界の変化に対して柔軟に適応できることを示してきた。その視点から見ると、片眼白内障手術患者が経験する術後の違和感と見えが安定するまでの過程は、長期順応により安定していた両眼情報統合メカニズムが崩れ、再順応により新たな安定点を見出す過程といえる。

手術前後における左右眼の見えとその統合過程を解明することは、視覚の長期的順応と両眼の統合メカニズム、さらに両者の相互作用の観点からも大変重要と考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究は、片眼白内障手術前後の患者がどのように両眼情報を統合しているかを解明し、その結果を臨床や生活補助ツール、ユニバーサルデザインなどへ応用することを目的とする。将来、手術前後の診療や生活補助ツールに役立てるための基礎的研究として、片眼白内障手術前後の左右眼と両眼視それぞれの視覚特性を調べることで、その順応過程と両眼情報統合過程に関する基礎データの取得と視覚特性の分析・モデル化を目指す。

3. 研究の方法

片眼白内障手術患者の視覚特性のうち、色知覚およびコントラスト感度（空間周波数特性）について術後の定期的測定を行なった。また両眼立体視への影響を調べるため、立体視検査も合わせて実施した。一部の被験者では、術前術後の測定も行なった。

(1) 色知覚：色の見えが異なる各眼の情報が、両眼視ではどのように統合されるかを、各眼・両眼の無彩色知覚を求めることにより調べた。

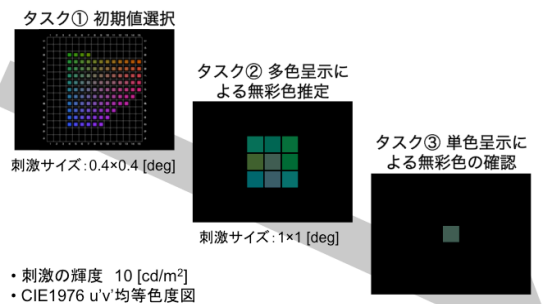
暗室に置かれた CRT モニター上に刺激を呈示して実験を行った。色知覚実験では、刺激の輝度は $10 \text{ [cd/m}^2\text{]}$ に設定した。図 1(a) に示すように、被験者はまず $u'v'$ 色度図上に示された正方形パッチの色配列の中から、無彩色に近い色パッチを選択した。以降は、その選択色付近の 9 色が 3×3 の配列で呈示されるので、その中から最も無彩色に近い色を選

ぶ、という判定を繰り返した。ただし 9 色の配列内の位置はランダムに変化した。被験者が 2 回連続して同じ色を選択した場合は 9 色の色差が小さくなっていき、最終的に色差が初期値の $1/24$ に収束した点を結果とした。また、複数色の同時観察による判定のバイアスを避けるため、最後に選択された単色のみを呈示して無彩色に見えるかどうかを確認した。以上の手順を右眼・左眼・両眼について各 3 回ずつ繰り返した。

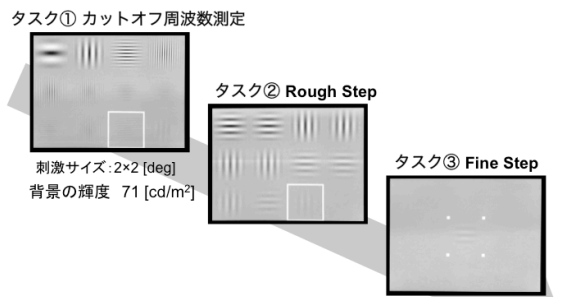
被験者は片眼白内障手術患者 19 名である。いずれの患者も両眼共に視力 0.8 以上、術後経過期間は 2 ヶ月から 4 年余りまで様々である。

(2) コントラスト感度（空間周波数特性）：視力・空間周波数特性が異なる各眼の情報が、両眼視ではどのように統合されるかを、コントラストと細かさを変化させたグレーティング（縞）が見える閾値を求めた。

コントラスト感度実験では、正弦波グレーティングにガウス関数をかけて作成したガボール刺激が用いられた。図 1(b) に示すように、まずカットオフ周波数を求めるため、12 段階の空間周波数を持つ 3×4 個のガボール刺激が並べられた。被験者はどこまで縞が識別可能かどうかを口頭で答えた。続いて、粗いステップでコントラストを変化させた条件で被験者ごとに閾値測定範囲の設定を行った後、本実験として、1 つの刺激がモニター



(a) 色知覚実験



(b) コントラスト感度実験

図 2 実験刺激と手順

中央に呈示され、被験者は呈示された刺激の方向縦横を口頭で回答した。コントラストを変えてこの作業を繰り返し、各空間周波数2, 4, 8, 16cpdの条件について同様の実験を行った。ただし各刺激はランダムな順番で呈示された。各空間周波数におけるコントラスト閾値を求め、その逆数をコントラスト感度とした。右眼・左眼・両眼について各条件3回ずつ行った。

色知覚実験の被験者のうち14名がコントラスト感度実験にも参加した。全員視力の完全矯正を行っている。被験者は、術後数週間以降の視力が比較的安定した状態、また非手術眼は矯正視力0.8以上を要する患者である。非手術眼に白内障がある患者、低視力の患者は含めなかった。実験は定期健診の際に行うので、術前後の視覚の変化を長期的に測定できた。

4. 研究の成果

(1) 実験結果と考察

図2は手術眼と非手術眼の無彩色点の差をプロットしたものである。術後の無彩色点は黄色方向（上方向）へシフトしている。これは、手術後の見えが青色方向へシフトしたことを示すと考えられ、既往研究での報告とも一致する傾向となった。

図3(a)は、両眼視での無彩色点が手術眼、非手術眼のどちらに近いかを比較するため、 $(\text{両眼}-\text{手術眼})/((\text{両眼}-\text{手術眼})+(\text{両眼}-\text{非手術眼}))$ のインデックスを取ったものである。ここでは、1.0に近いほど両眼の見えが手術眼に近いことを示すが、両眼の見えがどちらの眼の見えに近いかは個人差が大きく、手術眼、非手術眼の結果には有意差はなかった。図3(b)は、両眼視での無彩色点が優位眼、非優位眼のどちらに近いかを比較するため、上記と同様に $(\text{両眼}-\text{優位眼})/((\text{両眼}-\text{優位眼})+(\text{両眼}-\text{非優位眼}))$ のインデックスを

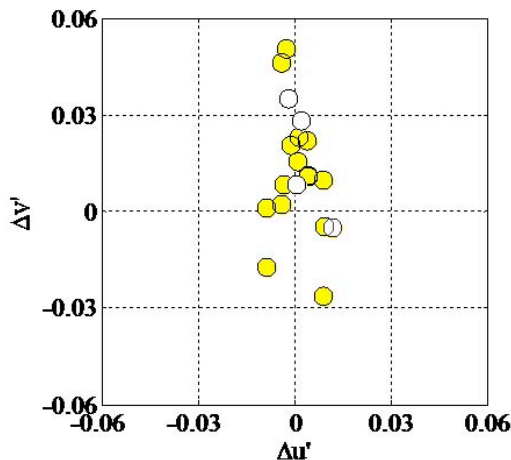
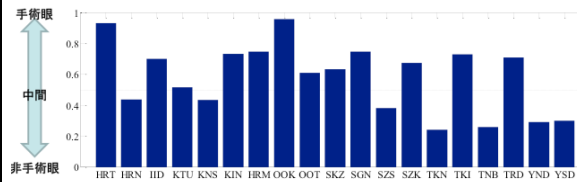
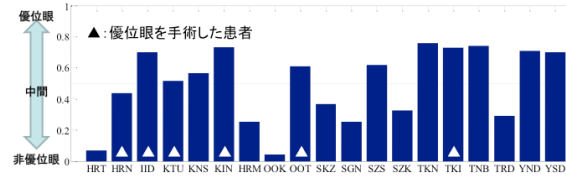


図2 CIEu'v' 色度図上に示された、手術眼と非手術眼の色知覚の違い



(a) 手術眼と非手術眼



(b) 優位眼と非優位眼

図3 両眼視における無彩色知覚インデックス

取ったものである。図中の△は、手術眼が優位眼（効き目）の場合を示している。その他の解析も合わせて検討した結果、無彩色点は、優位眼、視力の良い方の眼、手術眼の色に偏るわけではなく、手術眼と非手術眼の中間的な色として認識していると考えられるが、その重み付けは個人によって異なることが示唆された。

コントラスト感度に関しては、図4の例に示すように、両眼の見えが手術眼と一致する患者がいる一方、非手術眼と一致する結果となる場合や、左右眼・両眼ともに差のない患者と個人差が大きく、平均すると手術眼と非手術眼いずれかが優位であるという傾向は見られなかった。

また、両眼立体視検査の結果は、各眼の色知覚およびコントラスト感度が異なる患者においても良好であった。このことから、少なくとも今回測定した範囲では、片眼白内障手術が両眼立体視に与える影響は、小さいと

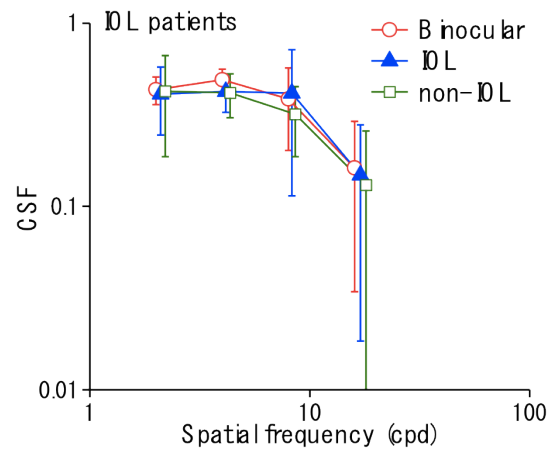


図4 被験者全員のコントラスト感度の平均。両眼 (Binocular)、手術眼 (IOL)、非手術眼 (non-IOL)。

考えられる。手術直後の状態については、今後検討が必要である。

今回の結果では時間的変化による無彩色点やコントラスト感度の変化は明確ではなかったため、より多くの被験者、または1人の被験者の経過を追った測定が引き続き必要である。

一部の患者では、術前術後の色知覚変化の測定も行った。その結果、一部の患者では非手術眼の無彩色知覚点も変化していた。両眼に無彩色知覚点は、手術眼に近い患者と、非手術眼に近い患者に分かれたため、どちらのための情報が優位かについては、個人差が大きいと考えられる。

(2) まとめ

本研究では、片眼白内障手術患者の長期的な見えの変化のデータを集めるとともに、一部の被験者についてはデータを術前から術後にかけて時系列で整理し、各眼・両眼の視覚特性変化を検討した。

データ解析の結果、大多数の患者において片眼ずつの色知覚は異なるが、両眼では情報は統合されていることが示された。また、術前後の比較では、手術眼のみならず非手術眼の無彩色知覚も変化していることが分かった。コントラスト感度に関しては、左右眼の差が小さいケースが多かった。差がある場合、両眼視の感度はコントラスト感度の良い方の眼の結果と一致する傾向があった。

コントラスト感度の場合には優位眼が存在するが、色知覚の場合には左右眼の情報を統合するという結果から、異なる視覚特性に応じたモデルを適用することにより見えの予測が可能であることが示された。ただし、左右眼の情報の重み付けは個人差が大きく、単純な視覚モデルでは予測できないと考えられる。したがって、実用的なモデル化のためには、更に多くの被験者の特性を調べるとともに、簡単なテストで個人に応じたパラメータ設定を行う手法の検討等が必要である。

主目的の白内障手術患者に対する実験以外にも、若年者を対象として心理物理学的手法も用いた中心視と周辺視の色知覚の個人差を比較する実験、色コントラスト順応効果を生理学的に計測する色知覚実験も行った。また、コントラスト感度についても様々な環境と視対象の明るさを用いて計測を行った。これらの結果は、主実験の結果との比較・解析に用いることができるだけでなく、今後の実験手法や視覚モデルの開発にもつながるものである。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① Sean O'Neil, Kyle McDermott, Yoko Mizokami, John Werner, Michael Crognale, and Michael Webster, Tests of a Functional Account of the Abney Effect, Journal of the Optical Society of America A, 査読有, 29-2, 2012, A165-A173
DOI: 10.1364/JOSAA.29.00A165
- ② Chad Duncan, Eric Roth, Yoko Mizokami, Kyle McDermott, and Michael Crognale, Contrast adaptation reveals increased organizational complexity of chromatic processing in the visual evoked potential. Journal of the Optical Society of America A, 査読有, 29-2, 2012, A152-A156
DOI: 10.1364/JOSAA.29.00A152

[学会発表] (計3件)

- ① 菅野雅人、矢口博久、溝上陽子、環境照度と画面輝度の組み合わせがコントラスト感度に与える影響、日本視覚学会2012年冬季大会、Vision 24, 18(11p10)、2012年1月19日、工学院大学
- ② 溝上陽子、豊田敏裕、青島明子、鈴木敬明、栗木一郎、中内茂樹、篠森敬三、岡嶋克典、佐藤美保、堀田喜裕、片眼への眼内レンズ挿入が色知覚とコントラスト感度に及ぼす影響、Optics & Photonics Japan 2010, Extended Abstracts, 10aE4、2010年11月10日、中央大学
- ③ 青島明子、豊田敏裕、溝上陽子、鈴木敬明、栗木一郎、中内茂樹、篠森敬三、岡嶋克典、佐藤美保、堀田喜裕、片眼白内障術後の色知覚、第46回日本眼光学学会総会、44(0-05)、2010年9月4日、パシフィコ横浜

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝上 陽子 (MIZOKAMI YOKO)

千葉大学大学院融合科学研究科・助教

研究者番号：40436340

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

青島 明子 (AOSHIMA AKIKO)

青島眼科・浜松医科大学眼科臨床協力医