

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：32641

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K23388

研究課題名（和文）乳児期における視覚野の色相選択性の発達

研究課題名（英文）Development of hue selectivity in the visual cortex of infants

研究代表者

楊 嘉樂 (Yant, Jiale)

中央大学・研究開発機構・機構助教

研究者番号：80844703

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：視覚野では、反対色（赤・緑／青・黄）のほかに、中間色に選択的に反応するニューロンの存在が多数報告されている。一方で、視覚野の色相選択性の発達が検討されていない。本研究では、乳児を対象に、定常状態視覚誘発電位（SSVEP）を用い、視覚野における色相選択性の発達を調べた。実験では、錐体コントラスト空間で定義する色相環を8等分し、対応する8色を観察時のSSVEPを計測した。5-6ヶ月児30名を実験した結果、中間色に誘発されるSSVEPの振幅は、反対色のと差がなく、中間色への選択性が存在する証拠が得られなかった。この結果から、乳児の視覚野の情報表現では、反対色メカニズムが支配的であることが考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年乳児の色覚に関する研究が進み、低次レベルと高次レベルの色情報処理経路の発達について、ある程度解明されてきたが、色情報処理の中間レベルにあたる視覚野に色相選択性が存在するかは、研究手法が確立されていないため、全く明らかにされていない。本研究は、成人で確立された刺激の呈示手法を用い、5-6ヶ月児における視覚野の色相選択性が発達していることを明らかにした。この成果は、乳児向けの視覚呈示ディスプレイの開発に役に立つと考えられる。

研究成果の概要（英文）：Recent studies in primates and in human have indicated the existence of neurons in the visual cortex that selectively respond to hues off the cardinal axes of cone-opponent color space (intermediate colors). However, it is unclear when and how the hue selectivity develops in the early developmental stage of the visual system. In the present study, we measured hue selectivity of brain activity in infants using steady-state visual evoked potentials (SSVEPs). Eight test hues were chosen from a hue circle in an equiluminant plane defined by the cone-opponent color space. The SSVEP response amplitudes in 30 5-6-months old infants were recorded. Our results revealed that infant's SSVEP responses were more likely to be dominated by cone-opponent representation, in contrast to adults' SSVEP responses in which amplitudes were significantly larger in intermediate hues (magenta and lime-green; Kaneko, Kuriki & Andersen, 2020).

研究分野：知覚心理学

キーワード：乳児 色相選択性 定常状態視覚誘発電位

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

色情報を伝達する視覚経路は、低次レベル・中間レベルと高次レベルの3つに分かれることができる。低次レベルでは、L、M、S錐体から、L-MとS-(L+M)の信号の組み合わせで反対色として色情報が表現される。次の中間レベルでは、反対色として表現される色情報はV1野・V2野に転送され、様々な色相情報が抽出されることになる。さらに、V4野以降の高次レベルでは、色情報はカテゴリ化されると考えられる。

近年乳児の色覚に関する研究が進み、低次レベルと高次レベルの色情報処理経路の発達について、ある程度解明されてきた。錐体レベル (Volbrecht & Werner, 1987; Knoblauch et al., 1998)では生後1ヶ月から、神経節細胞以降の反対色処理経路 (Peeples & Teller, 1975; Brown & Teller, 1989; Suttle et al., 2002)では、3-4ヶ月から機能し始める。さらに、高次レベルの色情報処理では、5-6ヶ月ごろから色恒常性 (Dannemiller, 1989; Yang et al., 2013)とカテゴリカル色知覚 (Yang et al., 2015; Skelton et al., 2017)をもつことが示された。しかし、発達初期において、色情報処理の中間レベルにあたる視覚野に色相の情報が抽出されるか、すなわち色相選択性が存在するかは、研究手法が確立されていないため、全く明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究は、成人で確立された研究手法 (Kaneko, Kuriki & Andersen, 2020)を用い、乳児における視覚野の色相選択性の発達を明らかにすることを目指した。この手法では、定常状態視覚誘発電位 (SSVEP)を用いる。SSVEPとは、周期的にフリッカする刺激を観察するとき、フリッカ刺激と同じ周波数を持つ脳波電位である。異なる色フリッカ刺激に誘発されるSSVEPを比較することで、色に対する感度が調べられる。SSVEPは、乳児でも簡単に計測できるため、発達初期における視覚野での色情報表現を調べるのに適切な手法といえる。

3. 研究の方法

本研究は、発達初期における視覚野の色相選択性を検討するため、5-6ヶ月児を対象に、定常状態視覚誘発電位 (SSVEP)を用い、異なる色相を観察時の視覚野の活動を計測した。5Hzでフリッカするチェッカーボードパターンを刺激として呈示した。錐体コントラスト空間で定義する色相環を8等分し (図1)、対応する8色をチェッカーボードパターンに呈示してテストした。SSVEPデータの分析では、異なる色相を観察している時のSSVEPの振幅と潜時を計算し、各色相の違いを解析した。実験1では、5-6ヶ月児30名を対象に、異なる色相を観察している時のSSVEPを計測した。実験2では、視覚野の色相選択性の発達過程を探索的に確認するため、同一被験者の2ヶ月の縦断データを5人で収集した。

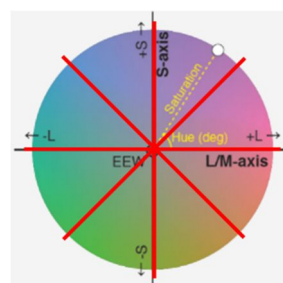


図1. 錐体コントラスト空間で定義する色相環を8等分し、対応する8色相をテストした。

4. 研究成果

実験1では、5-6ヶ月児30名をテストした結果、中間色に誘発されるSSVEPの振幅は、4つの錐体コントラストで定義する反対色 (赤・緑・青・黄) よりも強かった結果が観察できなかった (図2)。この結果は、成人と異なり、中間色に対する選択性がまだ発達していないことが考えられる。乳児の視覚野の情報表現では、色相を選択的に応答する形ではなく、反対色メカニズムが支配的であることが示唆されている。さらに、SSVEP振幅が赤・緑軸方向にバイアスされたことは、青・黄チャンネルよりも、赤/緑チャンネルのほうが先に発達することを反映している可能性が考えられる

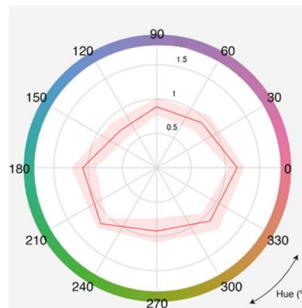


図2. 各色相のSSVEP振幅。

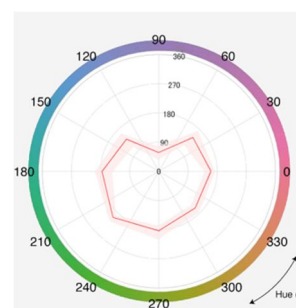


図3. 各色相のSSVEPの位相。

SSVEP反応潜時 (位相) について、乳児では青・黄軸において黄色方向よりも青方向の潜時がより短かったという非対称性がみられた (図3)。一方でこの非対称性に赤・緑反対色軸には観察された。この非対称性は、成人では観察されなかった。この結果から、青・黄反対色軸において、発達の特異性をもっていることが示唆されている。

実験2では、同一被験者の2ヶ月の縦断データを収集した。その結果、被験者内相関が被験者間相関よりも有意に高かった。この結果から、SSVEPによる色相選択性の測定は信頼性が高いと考えられる。

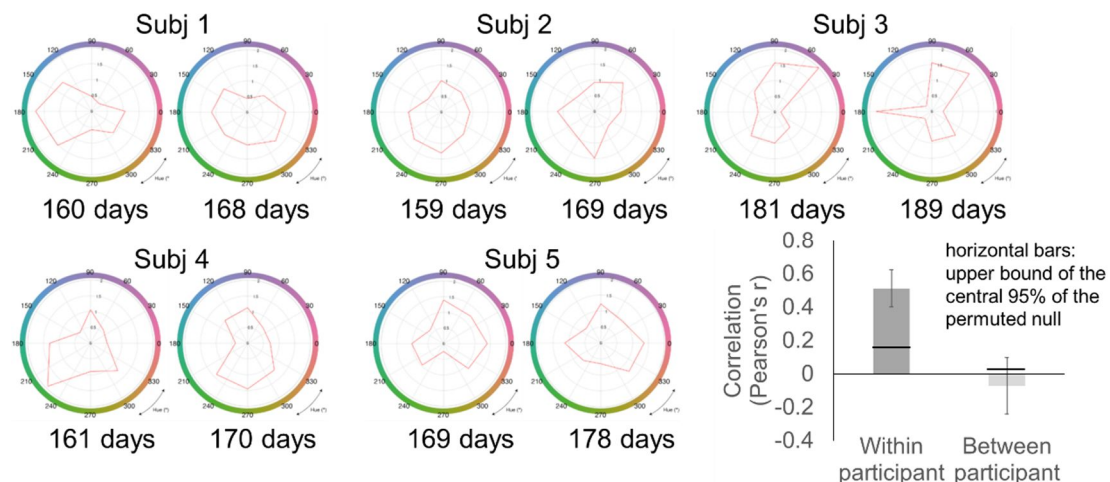


図 5. 5 人の縦断データ。右下の棒グラフは、被験者内相関と被験者間相関を示している。

< 引用文献 >

Brown, A. M., & Teller, D. Y. (1989). Chromatic opponency in 3-month-old human infants. *Vision Research*, 29(1), 37-45.

Dannemiller, J. L. (1989). A test of color constancy in 9-and 20-week-old human infants following simulated illuminant changes. *Developmental Psychology*, 25(2), 171.

Kaneko, S., Kuriki, I., & Andersen, S. K. (2020). Steady-state visual evoked potentials elicited from early visual cortex reflect both perceptual color space and cone-opponent mechanisms. *Cerebral cortex communications*, 1(1), tgaa059.

Knoblauch, K., Bieber, M. L., & Werner, J. S. (1998). M-and L-cones in early infancy: I. VEP responses to receptor-isolating stimuli at 4-and 8-weeks of age. *Vision Research*, 38(12), 1753-1764.

Peeles, D. R., & Teller, D. Y. (1975). Color vision and brightness discrimination in two-month-old human infants. *Science*, 189(4208), 1102-1103.

Suttle, C. M., Banks, M. S., & Graf, E. W. (2002). FPL and sweep VEP to tritan stimuli in young human infants. *Vision Research*, 42(26), 2879-2891.

Skelton, A. E., Catchpole, G., Abbott, J. T., Bosten, J. M., & Franklin, A. (2017). Biological origins of color categorization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(21), 5545-5550.

Yang, J., Kanazawa, S. O., Yamaguchi, M. K., & Kuriki, I. (2013). Investigation of color constancy in 4.5-month-old infants under a strict control of luminance contrast for individual participants. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(1), 126-136.

Yang, J., Kanazawa, S., Yamaguchi, M. K., & Kuriki, I. (2016). Cortical response to categorical color perception in infants investigated by near-infrared spectroscopy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(9), 2370-2375.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 楊嘉楽・金沢創・山口真美・栗木一郎 |
| 2. 発表標題 視覚野における色相選択性の発達 |
| 3. 学会等名 日本基礎心理学会第38回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 楊嘉楽・金子沙永・金沢創・山口真美・栗木一郎 |
| 2. 発表標題 発達初期の視覚野における色相選択性 |
| 3. 学会等名 日本視覚学会2020年冬季大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Yang, J., Kaneko, S., Kanazawa, S., Yamaguchi, M.K., & Kuriki, I. |
| 2. 発表標題 The development of hue selectivity in human visual cortex |
| 3. 学会等名 Virtual Vision Sciences Society 21th Annual Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|