

定常状態視覚誘発電位を用いた視野の質的側面に関する研究

山崎大輝^{*1} 安藝史崇^{*2} 木村達洋^{*3} 山崎清之^{*4}

A Study on Qualitative Evaluation of Visual Field Using Steady State Visual Evoked Potentials by

Daiki YAMAZAKI, Fumitaka AKI, Tatsuhiro KIMURA and Kiyoyuki YAMAZAKI

(Received: October 31, 2023, Accepted: November 14, 2023)

Abstract

The authors are conducting research on visual field measurement using SSVEP. We conducted an experiment using VR goggles to stabilize the position of visual stimuli. As a result of experiments with healthy participants, it was found that the SSVEP response tended to be suppressed as the visual field moved from the center to the periphery. However, a characteristically strong reaction was also observed in the peripheral visual field. We discussed the problems in applying the results of this study to visual field measurement.

Key Words : EEG, SSVEP, Visual field

1. はじめに

1.1 研究の背景

ヒトの視野は従来、片目で一点を見つめた時の範囲であり、一定の角度（有効視野）内における見え方の検査を視野測定という[1]。この視野測定はGoldmann 視野計及び、ハンフリー視野計を用いて行われることが一般的である。しかしこれらの機器を用いた測定法では、提示された光が見えにくく測定が難しい。また見えているかどうかの判断が患者の自己申告（主観的な判断）に頼らざるを得ないといった、問題点が挙げられる。そのため本研究では、人の視野内における対象光が見えているかどうかの2値ではなくどの程度の知覚が生じているかかという質的側面において、客観的な測定を試みるために、視野の複数地点においてフリッカ刺激を提示することで、定常状態視覚誘発電位（Steady State Visual Evoked Potential:SSVEP）を測定した。

近年、仮想現実(VR: Virtual Reality)が情報提示の手段として注目されている。特に、リハビリテーションや脳波測定においても、クリック1つで環境を変化させることができるため刺激提示の方法として利用される。

^{*1} 東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻 修士2年

^{*2} 東海大学工学部医工学科 助教

^{*3} 東海大学文理融合学部人間情報工学科 准教授

^{*4} 東海大学工学部医工学科 教授

1.2 目的

本実験では、VRヘッドセットを用いて、2種の周波数刺激(3Hz、5Hz)に対するSSVEPを測定し、脳波パワースペクトルの変化について観察し、視野の質的な面を検討した。

2. 定常状態視覚誘発電位(SSVEP)の計測

2.1 定常状態視覚誘発電位(SSVEP)

視野内に光刺激を提示した場合、視覚野で生じる誘発電位を視覚誘発電位（Visual Evoked Potential: VEP）と呼ぶ。特にフリッカ刺激などの連続的な刺激に対する視覚野の誘発電位は定常状態視覚誘発電位（Steady State Visual Evoked Potential:SSVEP）と呼ばれる。SSVEPはFFT解析を行うことによりパワースペクトル上で見ることができ、例えば15Hzで点滅刺激を提示した際には引き込み現象により15Hzの成分が多く出現し、さらにその2倍、3倍の高調波の成分も観察されることが知られている(Fig.1)[2]。また、パワースペクトル成分の大きさでは、中心視野と比較して周辺視野におけるパワースペクトルの反応が小さくなることが知られている[3]。また、SSVEPの中でも特に周波数が1Hz未満(0.5~1Hz程)であるフリッカ刺激に対しては刺激前後数100msのデータを抽出し、加算平均処理により刺激後の脳波の経時的な反応を観察することも可能

であり、特にフリッカ刺激に対する注意の有無を比較して SSVEP の振幅が変化すること [4] や、注意を向けたフリッカ刺激に誘発される SSVEP の位相が試行間で同期するため SSVEP における位相同期情報が注意の有無の 1 つの指標になり得る [5]。

本研究では、3Hz と 5Hz の点滅刺激を視野の各地点に対して提示し SSVEP を測定することで、視野の各刺激提示位置における脳波の変化を観察する。

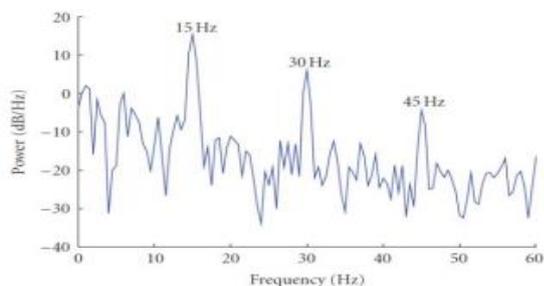


Fig.1 15Hz で視覚刺激時の周波数スペクトル[2]

3. 実験

3.1 実験刺激

実験に使用する刺激としていかに示す 4 種類の動画刺激を作成した (Fig. 2)。

- ① 背景が黒色であり、3Hz で点滅するフリッカ刺激
- ② 背景が黒色であり、5Hz で点滅するフリッカ刺激
- ③ 背景が黄色であり、3Hz で点滅するフリッカ刺激
- ④ 背景が黄色であり、5Hz で点滅するフリッカ刺激

また、それぞれの刺激では画面中央の点を 0 度 (中心視) とし、周辺視野として画面中央から左右にそれぞれ 20 度、40 度、60 度、さらに画面中央から上下に 20 度、40 度の点において刺激を 5 秒間ずつ、3 秒間のインターバルを挟んで提示した。また、刺激に使用した点は全て半径 5mm の円形で青色とし、観測者から 30cm の距離に提示されるよう調節を行った。

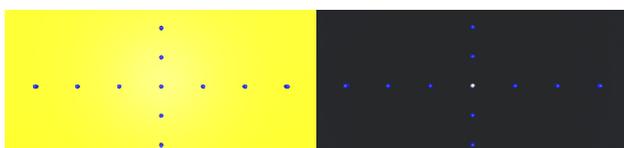


Fig.2 実験に用いた刺激提示位置

3.2 実験手順

20 代の眼科的に問題のない被験者のボランティアにご協力いただいた。

シールドルーム内にて BRAINPRODUCT 社 Brain Vision Product を用いて Brain Vision Recorder V-AMP に接続し、脳波測定を行った。脳波の測定電極は

国際 10-20 法に従い 頭部の 6 部位 (P3, P4, P7, P8, O1, O2) 及び、基準として A1, A2 を使用し、電極と頭皮の接触インピーダンスは 10k Ω 以下になるようにし、サンプリング周波数を 250Hz、ローカットフィルターを 0.5Hz、ハイカットフィルターを 49Hz に設定した。

被験者には、シールドルーム内にて VR ゴーグルを用いて「3.1 実験刺激」に記した①から④の動画を、両目、右目のみ、左目のみで視聴させ、その時の脳波を測定した。

3.4 解析方法

本実験で測定した 3Hz、5Hz 刺激時のデータについてはそれぞれの刺激位置における 5 秒間のデータを、0.5 秒間ずつ重なるように 9 つのデータに分割した。それらの 9 つのデータに対してはそれぞれ FFT 解析を行った。また、その 9 つのデータの平均を算出することでノイズ除去を行ったパワースペクトルを作成した。

4. 結果

4.1 提示刺激の周波数を変化させた場合

異なる 4 種類の提示刺激 (3Hz で背景黒色、5Hz で背景黒色、3Hz で背景黄色、5Hz で背景黄色) から得られたデータに対し FFT 解析を行った。

最初に、ある被験者の左目に対して、黒色の背景下で 3Hz の点滅刺激を提示した時と、黒色の背景下で 5Hz の点滅刺激を提示した時のパワースペクトルを Fig. 3 に示す。

Fig. 3 のグラフからそれぞれ 3Hz と 5Hz 付近にパワースペクトルのピークを確認することができた。このグラフのピーク値から、刺激提示位置 0 度の時とそのほかの刺激提示位置との相対値を算出し Fig. 4 に示す。

Fig. 4 に示したそれぞれの点滅刺激時における刺激位置ごとのスペクトル値を比較すると 3Hz 提示時は刺激位置が左右どちらにおいても 20 度の時が最も大きく、次いで 40 度、60 度という結果になり、5Hz 刺激提示時のスペクトル値を比較すると視野右方向においては 60 度が最も大きく、次いで 40 度 20 度であり、視野左方向においては最もスペクトル値が大きいのが 60 度、次いで 20 度、40 度という結果が確認できた。また、3Hz 刺激提示時には、中心視から離れるほどスペクトルが減少する傾向、5Hz 刺激提示時には、周辺視 60 度において最もスペクトルが大きくなる傾向が見られた。

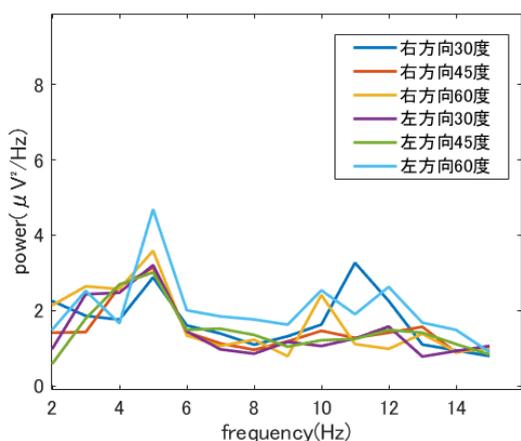
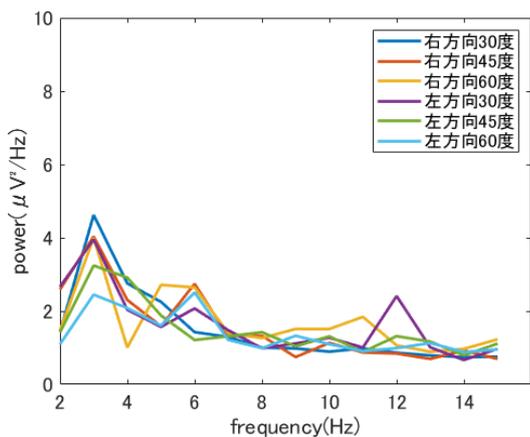


Fig. 3 黒色の背景に 3Hz の刺激を提示した際のパワースペクトル(上)
黒色の背景に 5Hz の刺激を提示した際のパワースペクトル(下)

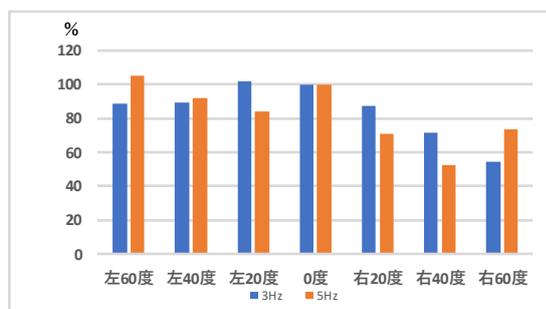


Fig. 4 3Hz 及び 5Hz の提示刺激における相対パワー値

4.2 提示刺激の背景色を変化させた場合

次に、3Hz の点滅刺激を黒色の背景に提示した際と、3Hz の点滅刺激を黄色の背景に提示した際のパワースペクトルを Fig. 5 に示す。

Fig. 5 のグラフからそれぞれ 3Hz 付近にパワースペクトルのピークを確認することができたため、ピーク値の比較を行うと、背景が黒色ケースでは、刺激位置が左

右どちらにおいても 20 度の時が最も大きく、次いで 40 度、60 度の順に小さくなったが、背景が黄色のケースにおいては、視野右方向において、20 度が最も大きく、次いで 40 度 60 度となった。次に、視野左方向においては最もスペクトル値が大きいのが 20 度、次いで 60 度、40 度という結果になった。次に Fig. 5 に示した詳細な数値を Table. 1 にまとめた。

各刺激提示位置でのスペクトル値について大きさの比較を行うと、背景が黒色の場合において大きな値であることが多く、さらに、平均値でもわずかに黒色優位であることが分かった。また、周辺視野での反応において背景が黒色の場合に中心視野との大きな違いが表れにくい傾向もみられた。

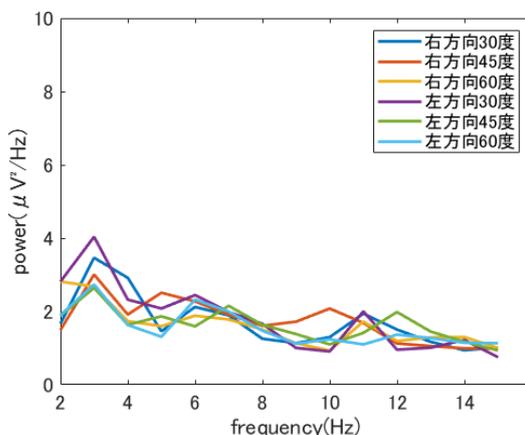
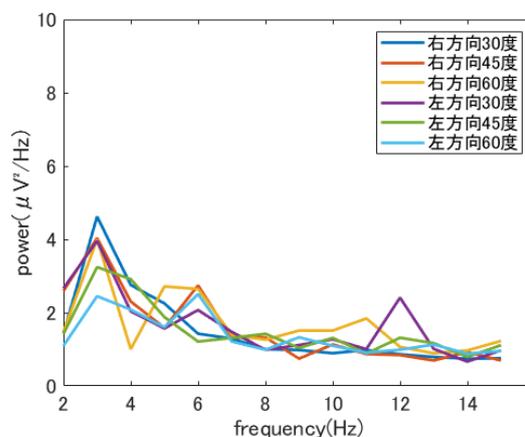


Fig. 5 黒色の背景に 3Hz の刺激を提示した際のパワースペクトル(上)
黄色の背景に 3Hz の刺激を提示した際のパワースペクトル(下)

Table. 1 各刺激位置でのパワースペクトルピーク値

	右方向20度	右方向40度	右方向60度	左方向20度	左方向40度	左方向60度	平均(μV²/Hz)
3Hz黒色	4.62	4.34	4.00	3.96	3.24	2.45	3.77
3Hz黄色	3.46	3.01	2.68	4.04	2.64	2.74	3.09

4.3 考察

本実験では提示刺激を2種設定した。5Hzでは3Hzの場合と比較して周辺視野での反応で脳波スペクトルが増大する傾向が見られた。この傾向は、周辺視野に多く分布する桿体細胞によるものであり、より素早い変化によって鋭敏に反応していると考えられた。

また、背景のコントラストを大きくした場合には全体的なスペクトル値が小さくなる傾向が見られた。この傾向は、黄色い背景の場合に、黒色の背景よりも光量が大きくなったことで、桿体細胞の働きが抑制されることによる変化であると考えられた。

最後に、周辺視野での反応において背景が黒色の場合に中心視野との大きな違いが表れにくい傾向から、背景が黒色の場合においては周辺視野において過剰な反応がおこる可能性があると考えられ、これは、刺激の注視によってスペクトルが増大することから黒色背景によって周辺視での注意が大きくなる影響であると考えられた。

5. 参考文献

- [1] 松本長太 「視野検査とその進歩」 近畿大医誌 (med j kinki univ) 第37巻3, 4号101~106 2012
- [2] Zhu D, Bieger J, Molina GG, Aarts RM: A survey of stimulation methods used in SSVEP-based BCIs. *Comput. Intell. Neurosci.*, 2010, pp.1-13, 2010.
- [3] 西藤聖二 「閉眼状態で使用可能なブレイン・コンピュータ・インターフェースを目的とした周期閃光刺激への意識集中に伴う閉眼脳波の変化の計測」 特集号論文「生活生命支援用メカトロニクス」24巻4号 p. 144~152 2012
- [4] S. T. Morgan, J. C. Hansen and S. A. Hillyard: Selective attention to stimulus location modulates the steady-state visual evoked potential. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 93, 4770-4774, May. 14. 1996
- [5] Y. J. Kim, M. Grabowecky, K. A. Paller, K. Muthu and S. Suzuki: Attention induces synchronization-based response gain in steady-state visual evoked potentials. *Nature* 2007 Jan;10(1):117-25