脳波の光刺激応答における刺激周波数と刺激強度依存性

Dependence of EEG response to flicker stimuli on stimulus frequency and intensity

○西藤 聖二¹, 重山 司¹, 田中 正吾¹

1. 山口大学大学院理工学研究科

○Seiji Nishifuji¹, Tsukasa Shigeyama¹ and Shogo Tanaka¹

1. Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

1. はじめに

脳波の発現メカニズムの解明は、臨床診断のみならずブレインコンピュータインターフェース(BCI)など、脳波を幅広い分野へ応用する上で、重要な課題である。脳波には周期的な閃光刺激に同調する性質があり、特に α 波(8~13Hz)帯域の周波数の光刺激に対しては、安静時 α 波の周波数が刺激周波数にシフトする「引き込み」現象が観測されるなど、 α 波が非線形振動システムの出力であることを示唆している。この観点から我々は、 α 波の光刺激応答を通じて発現メカニズムに関する知見を得るために、種々の刺激条件に対する α 波の応答の依存性を調べてきた。

一方、脳波は α 波帯域のみならず、広い刺激周波数範囲で刺激周波数に同調する成分(Steady-State Visually Evoked Potential: SSVEP)が現われる。¹⁾ SSVEPの発現機序も未だ不明な点が多いが、網膜の興奮性活動が視神経から視床(外側膝状核)を介して大脳皮質の視覚野等の広い領域に投射され、頭皮上に表れたとの仮説が提案されている。SSVEPは、BCIに应用する試みがあるなど、今後の応用の可能性も期待されているが、 α 波の引き込みとの関連や、刺激パラメータ依存性も十分に調べられていない。特に、SSVEPは空間的に伝播する波としては、定在波と進行波の2つに分かれることが知られているが、このような応答特性の違いの原因は明らかでない。

そこで、本研究では、SSVEPの空間特性の刺激周波数および刺激強度に対する依存性を調べたので、報告する。

2. 方法

2.1 実験 21~24歳の健常者16名(男15名、女1名)を対象として、電磁シールドルーム内で安静時と赤色閃光刺激時の閉眼脳波を測定した。脳波は、国際10-20電極配置法に則った頭部全体の15部位に探查電極を置き、両耳を連結して基準電位を得る単極導出法により導出した。その後、脳波計(日本光電製 EEG-5532、ゲイン86dB)で増幅し、PCで200 Hz/ch、分解能12ビットで離散値化した。実験に際しては、ヘルシンキ宣言の主旨に則って事前に被験者から同意を得た。

刺激時間は各試行40秒間とし、刺激周波数は7, 10, 12, 14, 16 Hzで試行毎に変えた。刺激強度は被験者の目の位置の照度で5~300 lxの範囲で8段階、昇順に設定した。刺激強度を昇順に設定したのは、高照度刺激の後に低照度刺激を与えると、慣れのために応答がきわめて弱くなることを避けるためである。したがって、刺激強度の各段階で刺激周波数を5通りずつランダムに変えて、計 $5 \times 8 = 40$ 通りの刺激パラメータの組合せで刺激応答脳波を測定した。

2.2 解析 Complex Demodulation法を用いて、刺激を基準としたSSVEPの位相差の瞬時値を推定した。以降、この量を位相と呼ぶ。SSVEPの前頭部~後頭部における位相の空間分布のほとんどは、前頭部と後頭部の間で約180degの空間位相差(逆相)を示す。本研究では、位相差の前頭部~後頭部の空間的構造から、(1)前頭部~頭頂部と頭頂部~後頭部の2つの同相同期する領域が頭頂部付近で大きな(90deg以上)の位相ギャップを持つ「定在波」型と、(2)前頭部~後頭部に

渡ってほぼ一様の位相勾配を持つ「進行波」型、(3)その他、に分類した。(1)(2)をあわせると全体の80%程度を占める。そこで、(1)定在波型と(2)進行波型の全体に占める割合と刺激パラメータ(周波数、強度)の関係を調べた。

3. 結果と検討

Fig. 1に、(a)定在波型、(b)進行波型の割合の刺激パラメータ依存性を示す。定在波の割合は、多くのパラメータ条件で進行波の割合をやや上回るが、中程度の照度(130 lx付近)では、それぞれの刺激周波数で定在波型の割合が極小値をとり、一方、進行波の割合が極大となって両者の大小関係が逆転する(Fig. 1(a)(b)矢印)。このとき、低照度条件に比べて、前頭部または後頭部の一方のSSVEPの振幅が安静時よりも大幅に増加している場合が多い。一方、高照度条件では前頭部・後頭部の両方で振幅が大き(図略)。従って、中照度では刺激への同調または α 波の引き込みが局所的な領域に発現し、この活動が頭部全体に伝播した結果、進行波様の位相構造を形成したと考えられる。

Fig. 1 Rates of (a) standing wave and (b) traveling wave pattern

参考文献

- 1) R. B. Silberstein, Steady-state visually evoked potentials: P. L. Nunez, Neocortical Dynamics and Human EEG Rhythms: New York: OUP USA, 1995: 272-303.