視覚の仮現運動知覚に伴う誘発脳磁図の計測

津田良一・上野照剛*

九州東海大学工学部情報システム工学科, 熊本市渡鹿 9-1-1 (☎862)

*九州大学工学部情報工学科, 福岡市東区箱崎 6-10-1 (☎812)

Measurement of Evoked Magnetic and Electric Fields Associated with Visual Apparent Movement

R. Tsuda and S. Ueno*

Dept. of Information and Systems Engng., Kyushu Tokai Univ., 9-1-1, Toroku, Kumamoto 862

*Dept. of Computer Sci. and Communication Engng., Kyushu Univ., 10-1, Hakozaki 6-chome, Higashi-ku, Fukuoka 812

This study focuses on the measurement and topographic analysis of evoked magnetic and electric fields associated with the perception of visual apparent movement. Evoked magnetic fields were obtained in response to about 50 trials of apparent-movement stimulation in the bilateral temporal and occipital lobes. Evoked potentials were also recorded from 16 scalp sites in the 10-20 system, and used to create topographic potential maps. The magnetic fields and potential topographic maps suggest that the sources associated with visual apparent movement can be modeled by at least four current dipoles with two dipoles located in the bilateral temporal area and oriented toward the vertex, and two small dipoles located almost in the occipital area and oriented downward. This dipole model closely simulates the evoked potentials and magnetic fields associated with visual apparent movement.

Key words: visual apparent movement, DC-SQUID, evoked magnetic fields, evoked potentials, current dipole, EEG topography, higher visual area, MT area

1. はじめに

空間的に異なる位置に配置された複数個の刺激を適当な時間間隔を置いて継時的に提示したときに、一方から他方に刺激が連続して移動するように感じられる知覚現象は仮現運動と呼ばれ、視覚や皮膚感覚などの基本的特性の一つである。視覚の仮現運動にはランダムドットパターンなどの刺激間距離が非常に小さい範囲で成立する近傍運動過程と、小光点や輪郭のある図形などの継時的刺激で成立する遠隔運動過程という二つの処理過程が提唱されている^{1)~3)}。近傍運動過程の仮現運動は末梢の網膜レベルが起源と考えられており、これに基づく仮現運動知覚モデルも提案されている⁴⁾。一方、遠隔運動過程の仮現運動は中枢が関与しているといわれているが、その形

成過程についてはまだ不明な点が多い^{5), 6)}。近年、脳波、脳磁図を通して脳内電源の局在推定が行われるようになった^{7), 8)}。しかしながら、仮現運動知覚に伴う脳磁図計測はほとんどなされていない。

本研究では視覚の仮現運動知覚に伴う誘発脳波および誘発脳磁図の計測を行い、その時間的・空間的な特徴をもとに仮現運動知覚に関連する活動部位について検討を行った。

2. 仮現運動知覚特性

心理物理実験により仮現運動が最もよく知覚される最適な刺激間距離 (Spatial Separation, SS) と刺激間時間間隔 (Stimulus Onset Asynchrony, SOA) を求めた。Fig. 1 に仮現運動の時間空間関係を示す。視覚刺激として直径 5 mm の緑色発光ダイオードを用い、これを視角 1°ごとに計 11 個配置した刺激パネルを作成した。刺激パネルと被験者との距離は 115 cm に固定した。心理実験では 6 種類の SS (1, 2, 4, 6, 8, 10°) と、7 種類の SOA

Fig. 1 Temporal and spatial patterns of apparent-movement stimulation.

Fig. 2 Judgments of visual apparent movement as a function of stimulus onset asynchrony (SOA) for each spatial separation (SS).

Fig. 3 Experimental setup for the measurement of evoked magnetic fields.

(0, 40, 80, 120, 160, 200, 300 ms) の計 42 通りの刺激対の組み合わせの中からランダムに被験者に提示した。被験者には仮現運動の良さを 4 段階評価するように指示した。Fig. 2 に仮現運動判定結果を示す。SS が視角で 2° 程度以下、SOA が 80 ms から 140 ms の範囲で高い判定率が得られた。SS は 4° 以上に大きくなると刺激の移動方向は知覚できるものの、滑らかな知覚印象は消失していくため判定率は低下した。これより、誘発反応測定実験では SOA が 120 ms、SS が 2° の 2 点連続刺激を仮現運動誘導刺激とした。

3. 測定方法

7ch-DC SQUID を用いた脳磁図計測システムを Fig. 3 に示す。緑色発光ダイオードによる刺激光を、光ファイバを介して磁気シールド室内に導き、被験者の眼前約 20 cm の位置に提示した。仮現運動誘導刺激の約 50 回

Fig. 4 Topographic maps of evoked potentials obtained in response to apparent-movement stimulation in the latency range of 100 ms to 220 ms.

Fig. 5 Topographic maps of evoked potentials obtained in response to control stimulation.

反復刺激に対する誘発脳磁図を後頭部および両側側頭部を中心に測定した。また、国際 10-20 法電極配置に従う頭皮上 16 箇所における誘発電位も測定した。一方、比較のため、対照刺激に対する誘発脳波も測定した。対照刺激としては仮現運動が知覚されないことを考慮して、仮現運動誘導刺激と同じ SOA を有する同一部位連続刺激とした。この場合、仮現運動誘導刺激の場合と同様、対照刺激を中心視するように指示した。

4. 結果および考察

仮現運動刺激に対する誘発電位を早期に出現する成分と後期に出現する成分に分けて検討する。Fig. 4 は仮現運動刺激の先行刺激の立上り時刻からの潜時 100 ms から 220 ms の範囲における脳波トポグラフィーである。ここでは測定した誘発脳波のうちの陽性ピークと陰性ピークを求め、その間を X, 9, 8, ..., 0 の 11 段階に量子化して表現した。したがって図中の X は最高電位、0 は最低電位、5 は中間電位を表す。図より潜時 100 ms において後頭部優位に P1 成分が、潜時 160 ms において N2 成分の出現がみられる。Fig. 5 は対照刺激に対する脳波トポグラフィーであり、P1, N2 成分は仮現運動刺激の場合と同様のパターンを示しているが、潜時 200 ms あたりから陽性頂点の出現がみられ、その後時間の経過とともにトポグラフィーは平坦なパターンを示すようにな

Fig. 6 Topographic maps of evoked potentials extracted by subtracting the responses to the control stimulation from those of the apparent-movement stimulation in the latency range above 300 ms.

Fig. 7 Scalp locations and evoked magnetic fields measured in the bilateral temporal and occipital areas. Magnetic fields go out of the right temporal area, and magnetic fields go into the left temporal area. The upward-pointing arrow indicates a latency of 300 ms.

る。一方、仮現運動刺激に対する誘発電位の後期成分として、仮現運動刺激提示後の潜時 300 ms 以降で、頭頂部優位に陽性電位が出現した。この潜時範囲では対照刺激に対する誘発電位は平坦であった。したがって、仮現

運動知覚に関連する成分は仮現運動刺激に対する誘発電位から対照刺激に対する誘発電位を差し引いた部分に含まれるものと考えられる。Fig. 6 は刺激後の潜時 300 ms 以降の引算波形の誘発脳波トポグラフィーである。

これより、潜時 300 ms 以降で、正中線上の頭頂部を中心に陽性電位の出現がみられ、これが仮現運動知覚に関連する電位分布パターンと考えられる。この結果より、仮現運動知覚に関連する脳磁図成分は同様に潜時 300 ms 以降に出現するものと考えられる。

Fig. 7 に脳磁図の空間分布パターンを示している。図中、特に潜時 300 ms 以降に限定すると、左前側頭部で磁束の湧き出し、左後頭部では吸い込み、さらに右後頭部および右中側頭部では湧き出しを示した。また、部位 Cz における脳磁図は平坦であった。

一般に網膜に到達した視覚情報は外側膝状体を経て大脳皮質視覚領に伝達される。視覚神経は X 細胞の経路である X 系列と、Y 細胞の Y 系列に大別される。X 系列は特に色や形状の知覚に関係するのに対して、Y 系列は運動知覚や奥行き知覚に関係するとされている^{9)~11)}。Y 系列は第 1 次視覚野である V1 野から第 2 次視覚野の V2 野を経て視覚連合野の MT 野 (V5 野)、さらに頭頂連合野へ連絡されていると考えられている。

今回の脳波、脳磁図の測定結果から電流ダイポールを仮定した場合、後頭部で下向きのダイポール、および中側頭部で上向きのダイポールの存在が示唆された。これらのダイポールによる電位の総加算として頭頂連合野に陽性電位が出現するものと考えられる。

5. む す び

視覚の仮現運動知覚に伴う誘発脳波および誘発脳磁図の測定を行った。その結果、仮現運動刺激提示後の潜時 300 ms 以降において頭頂部を中心に陽性電位が出現した。電流ダイポールを仮定した場合、後頭部および両側中側頭部においてダイポールの存在が示唆された。今後はこれらダイポールの位置、方向について詳細な検討を行う必要がある。

本研究の一部は文部省科学研究費試験研究 (A) 03505002 によった。

文 献

- 1) O. Braddick: *Vision Res.*, **14**, 519 (1974).
- 2) J. H. Kirman: *Percept. Psychophys.*, **15**, 1719 (1974).
- 3) S. M. Anstis: *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **B290**, 153 (1980).
- 4) 安田 稔, 磯野春雄: 信学論 (D), **J70-D**, 1018 (1987).
- 5) 津田良一, 上野照剛: 医用電子と生体工学, **29**, 1 (1991).
- 6) D. Regan and H. Spekreijse: *Nature*, **225**, 92 (1970).
- 7) 上野照剛, 松岡成明: 医用電子と生体工学, **14**, 24 (1976).
- 8) S. Ueno and K. Iramina: *Brain Topography*, **3**, 151 (1991).
- 9) E. R. Kandel and J. H. Schwartz: *Principles of Neural Science*, Elsevier, p. 364 (1985).
- 10) M. Livingstone and D. Hubel: *Science*, **240**, 740 (1988).
- 11) 斎藤秀昭: 情報処理, **30**, 114 (1989).

1993 年 10 月 12 日受理, 1993 年 12 月 15 日採録