

体位変換支援システムへ応用可能な脳波解析手段の検討

Electroencephalogram (EEG) Analysis Method Available for Postural Change Support System

○ 石井泰祐（芝浦工大） 花房昭彦（芝浦工大） 米田隆志（芝浦工大）

Taisuke ISHII, Shibaura Institute of Technology, Graduate School of Engineering
Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology, Department of Bioscience and Engineering
Takashi KOMEDA, Shibaura Institute of Technology, Department of Bioscience and Engineering

Key Words: Postural Change, Electroencephalogram (EEG), Bedsore, Sleep, Event-Related Potential (ERP)

1. はじめに

筋萎縮性側索硬化症(ALS)患者や重度脊髄損傷者が、寝たきりとなった場合には、仙骨部など骨が皮膚表面に近い場所で、血流の停滞が原因で褥瘡を誘発する恐れがある。一般的な寝具を使用している場合、その予防には約2時間毎の体位変換が必要⁽¹⁾であるが、夜間の体位変換は介護者・被介護者の QOL の低下を引き起こす可能性がある。このため被介護者自らの意思や睡眠周期で、自律的に体位変換を行える介護ベッドの開発を目指している。体を動かせない被介護者が自律的に介護ベッドを動作させる生体信号としては、非侵襲的に計測する脳波の利用を考えており、これまで睡眠脳波の計測と解析⁽²⁾を行ってきたが、本報告では自らの意思を表出することを目的とした事象関連電位(以下 ERP)の計測と解析結果について報告する。

2. ERP 計測実験

2-1 実験目的

視覚刺激や聴覚刺激に対して現れる脳波による ERP は、刺激の外的事象と同期していることから、脳波から意図の検出が可能となる。ERP の中でも特に P300 と呼ばれる成分は、課題刺激に対して刺激後約 300~500ms 後に現れる陽性の電位変動で、Sutton ら⁽³⁾によって報告された。P300 を検出する事により、選択的な注意を向けている文字やメニューを脳波から判別する事ができるため、一切筋肉を動かすことのできない被介護者が自らの意思で選択的に体位変換することが可能となる。本実験ではなるべく簡易な方法で計測した脳波に対して、ERP の有無の検出を行うことが容易となる信号処理方法の調査を実験目的とした。

2-2 計測方法

実験装置の構成図を Fig.1 に示す。計測した脳波を増幅する生体アンプ(BA-1008,TEAC 社)、PC に取り込むための AD 変換器(NI USB-6259, NATIONAL INSTRUMENTS 社)、信号処理を行うための PC から構成した。信号の入力、処理、表示を行う一連のソフトウェアは MATLAB(MathWorks 社)によりすべて自作した。

被験者は心身共に健康な 20 代の男性 1 名で、実験に対するインフォームドコンセントを得た。ERP は、頭頂部に優勢に出現する事が確認されているため、国際 10-20 法に従って Cz, Pz に皿電極を設置し、右耳朶(A2)を基準とした電圧変化を記録した。額部には生体アースを設けた。生体アンプは増幅率を 2 万 5000 倍、ハイカット周波数を 30Hz に設定し、AD 変換器のサンプリング周波数は 1kHz とした。

PC のディスプレイに文字やメニューを表示し、表示色などの表示状態の変更、変更時の同期信号出力、脳波計測も

同時に行えるソフトウェアを作成した。点灯順序の変更(乱数による順序可能)、点灯間隔時間の変更、点灯回数の変更なども可能である。本実験では Fig.2 に示すように a, b, c, d, e のアルファベットを黄色に順次点灯させた。被験者には、指定したアルファベット(以下 Target)が点灯した際に、回数を数えて意識を集中するように指示した。本実験では、Target を 'd'、点灯の間隔を 300ms、a~e の文字の繰り返しを 35 回に設定した。この 35 回の繰り返しを 1 セットとし、10 セットの実験を行った。1 セット間に、休息时间として 1~3 分間を設け、被験者に疲労が蓄積しないようにした。

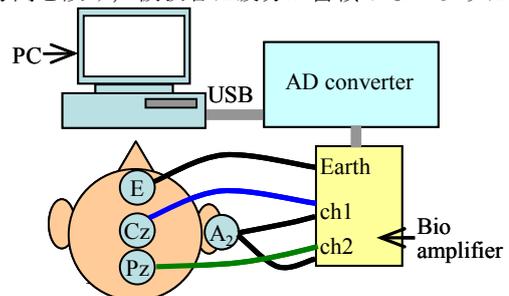


Fig.1 Configuration of ERP measurement system

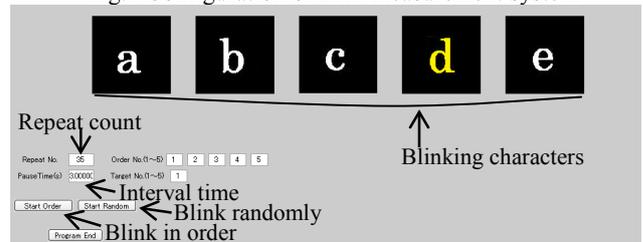


Fig.2 Developed software for ERP measurement

2-3 実験結果

ERP を計測するには加算平均処理が必要であることから、Target の 'd' が点灯した時刻を 0s として、その前 300ms からその後 1500ms までの加算平均処理を 1 セットの計測データの先頭から 5, 10, 20, 30, 35 回分のデータを用いて行った。また加算平均処理にあたって、電源ノイズの除去を目的とした通過域 40Hz (遮断域 45Hz, 遮断域減衰率-60dB) の FIR ローパスフィルタをかけた場合(以降 LPF:40Hz)とさらに低域の α 波の周波数成分までとした通過域 13Hz (遮断域 17Hz, 遮断域減衰率-60dB) の FIR フィルタをかけた場合(以降 LPF:13Hz)の比較を行った。また ERP の有無の確認が容易になるかどうか調べるため、複素形式の Morlet の式((1)式)を Mother wavelet とする Wavelet 解析も行い、初期値として $F_c = 0.849$ を設定した⁽⁴⁾。Fig.3 のように実部は正弦波が減衰する形の Mother wavelet である。なおこれら一連の処理も MATLAB により行った。

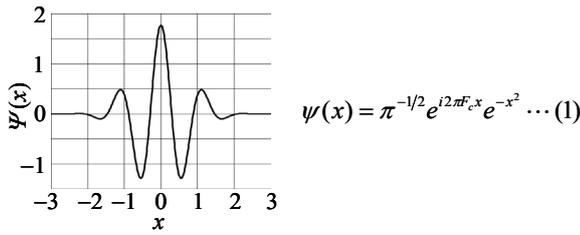


Fig.3 Real part of mother wavelet of Morlet

Table 1 No. of ERP estimated times

Average times	LPF(Hz)	No. of ERP estimated
35	40	6
	13	8
30	40	7
	13	7
20	40	4
	13	6
10	40	4
	13	4
5	40	4
	13	4

Fig.4 に 2 セット目の Cz の計測データに対して 13Hz, 40Hz のローパスフィルタをかけ、加算平均処理を 35 回行った結果を示す。Target が点灯した時が 0ms である。また Fig.5 には Fig.4 で得られた波形変化を Wavelet 解析した結果の振幅成分を示す。Fig.4 の A 部、ならびに B 部に示される ERP の P300 由来と考えられる変動が確認できたが、13Hz でローパスフィルタをかけた Fig.4(a)の方が波形は顕著であった。一方 Fig.5 の Wavelet 解析結果では約 300ms の時刻で、両者共に幅広い周波数にわたって数値が大きくなっており(A 部, B 部)、ERP の確認を行うことが可能であった。

加算平均回数、LPF の周波数を変えた時に、各 10 セットの試行のうち Target の ERP を推定できた回数を Table 1 に示す。ERP の推定には Wavelet 解析の結果を用い、8~13Hz の帯域、300ms~500ms の範囲で、その信号成分強度が極大値を有しているかによって判定した。加算平均回数が 10 回以下の場合、推定できたのは 4 回と半数以下であったが、加算回数が 20 回以上の場合には LPF:13Hz で 6 回、30 回以上では、LPF:13Hz, LPF:40Hz いずれの場合でも 6 回以上となった。加算回数 20 回、35 回の結果から、LPF:13Hz の方で正答率が高い傾向にあることが分かった。

2-4 考察

脳波には ERP 以外の変動成分も混在しているため加算平均回数が 10 回以下と少ない場合、判定の確率が低い、本実験の場合、加算平均回数を 30 回以上にすると、約 7 割以上の確率で判定することが可能であった。また 13Hz と低い周波数でフィルタ処理を行った方が、正答率が高い傾向にあったが、これはフィルタにより ERP 以外の変動成分を除去する効果があるためと考えられる。

また判定に失敗した例には、Target の前後の文字 'c', 'e' に誤った場合があった。これは、300ms と短い間隔で順次点灯を行ったため、Target の点灯が予測でき、Target 点灯直前に Target をカウント、あるいは Target 点灯直後に Target をカウントしてしまったことが原因と考えられる。

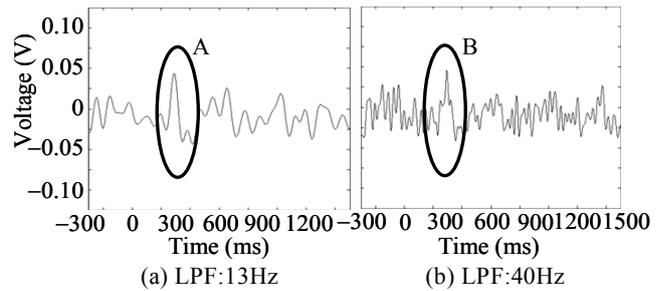


Fig.4 Result of ERP measurement after signal averaging of 35 times

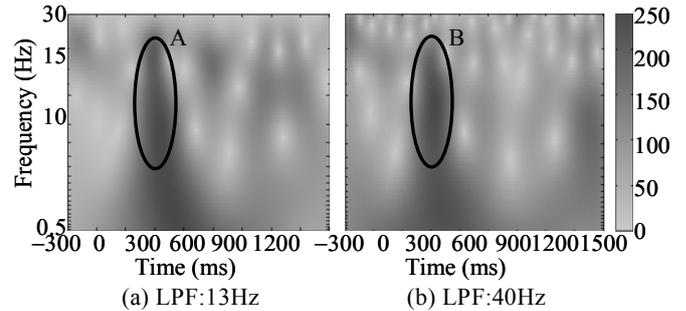


Fig.5 Result of wavelet analysis of ERP after signal averaging of 35 times

3. まとめ

ERP の計測と信号処理を行えるシステムを開発し、健康な成人男性 1 名を対象に、ERP の計測実験を行った。13Hz と 40Hz のローパスフィルタで処理したのち、加算平均処理と Wavelet 解析処理を行って Target としての文字の判定確率を調べた。13Hz のローパスフィルタで処理した方が、また加算平均回数を増加することにより正答率が向上する傾向にあった。Wavelet 解析では 8~13Hz の帯域、300~500ms で信号成分が極大となっている領域が存在するかどうかで判定することが可能であった。

今後は、被験者数を増やしての実験、順次点灯だけでなく、乱数を用いた点灯など点灯条件を変えた場合の実験を行っていく必要がある。またなるべく簡易な脳波計測で ERP の発生を検出するための、信号処理方法、より良い判定条件の導出方法を検討し、判定などの処理の自動化も行っていく予定である。

参考文献

- (1) 田中マキ子, 動画でわかる褥瘡予防のためのポジショニング, 中山書店,p.2, 2006.
- (2) 石井泰祐, 花房昭彦, 米田隆志, 睡眠脳波の短時間FFTとWavelet解析の比較, 第19回ライフサポート学会フロンティア講演会, p.60, 2010.
- (3) Samuel Sutton, et al, Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty, Science, Vol.150, No.3700, p.1187-1188, 1965.
- (4) I.ドブシー著,山田道夫,佐々木文夫訳,ウィーブレット10講,初版2刷,シュプリンガー・ジャパン株式会社, p.98,2007