

促通反復療法の支援を目的とした

脳内の事象関連脱同期における確率分布モデルの導出

Derivation of the Probability Distribution Model in Event-Related Desynchronization

in The Brain That Are Designed to Help Repetitive Facilitation Exercise

○ 高澤純一 三浦智 小林洋 藤江正克 (早稲田大学)

Junichi TAKAZAWA, Waseda University

Satoshi MIURA, Waseda University

Yo KOBAYASHI, Waseda University

Masakatsu G. FUJIE, Waseda University

Abstract: The repetitive facilitation exercise (RFE) which the early recovery of the motor function of a hemiplegia failure needs to give a stimulus to a paralysis part before spine attainment of a motor command. The motor command was detected by phenomenon of event-related desynchronization (ERD) in which the power value of 8~13 [Hz] belt of brain waves decreases at motor command developmental time. We aim at development of the equipment which gives a stimulus automatically by ERD. The purpose of this paper is a study of the usefulness of the application to the device by calculate the maximum ERD probability. To obtain the EEG changes most statistically realizing the RFE, we construct the probability distribution model of the EEG power changes. The power change rate which the subject's ERD probability was peaked at 55.1%. In the future, we construct the algorithm for detecting motor command in 250 [ms].

Key Words: Event-Related Desynchronization, Repetitive Facilitation Exercise, Brain Machine Interface

1. 緒言

1-1 背景

我が国では、脳卒中の患者数は2020年には285万人を超えるとされている。脳卒中の後遺症で最も発生頻度の高い片麻痺の回復には長期間のリハビリテーションが必要とされていることが多い。鹿児島大学の川平らが提案した促通反復療法は、促通という外的な操作を行い患者の運動指令を伝達させ、麻痺の早期回復が可能な療法である⁽¹⁾。促通反復療法の有用性は木佐らの研究により、通常療法に対する麻痺の改善が示されている⁽²⁾。

促通反復療法のメカニズムは下記である。患者が脳内で運動指令を発生させ、運動指令が脊髄に到達する前に麻痺部を伸張させ刺激する。この伸張刺激により脊髄が興奮し運動指令の伝達路が活性するため、麻痺部位における神経経路の運動指令が通り易くなり、麻痺部が動かし易くなる。

促通反復療法の最も重要な点は、運動指令の脊髄到達前に刺激を与えることである。しかし、人為的に促通反復療法を行う場合、療法士は運動指令を検知できないため経験と勘に依存して行うという問題が存在する。従って、患者の運動指令に合わせて定量的に適切なタイミングで刺激を与え、促通反復療法を支援する装置が必要である。

1-2 先行研究

促通反復療法を支援する装置の先行研究として、安川電機の上肢リーチング訓練装置が挙げられる⁽³⁾。しかし、装置による刺激は周期的な動きを前提として発生させるため、動作が困難な片麻痺患者には非効果的である。従って、運動指令を自動で検知し、刺激を行う装置が必要である。

1-3 研究目的

本研究では、片麻痺患者の脳波を測定し脳内の運動指令が脊髄に到達する前に運動意図を検知し、適切なタイミングで刺激を加える促通反復療法支援装置を開発する。

2. 事象関連脱同期による運動指令の検知・本稿の目的

促通反復療法を起こす装置の開発には、運動指令の脊髄到達前に運動指令を検知し、刺激を発生するアルゴリズムが必要である。運動の意図は動作開始の約300[ms]前より発生するという知見と、脊髄筋間の動作遅れ時間が約15[ms]という知見を踏まえ、刺激の発生タイミングは、脳が運動計画を行い始めてから285[ms]以内と定めた^{(4),(5)}。解析時間は後述する解析脳波の最低周波数である8[Hz]の2周期分の250[ms]とし、35[ms]で刺激を発生させる(Fig. 1)。

運動指令の検知には、脳波の事象関連脱同期(以下、ERD)を利用したアルゴリズムの構築を行う。ERDとは、運動想起時や運動時に脳波の α 帯域(8~13[Hz])のパワー値が減衰する現象である。ERDの判定は、脳波のばらつきを除去するため複数試行の加算平均処理後に行うのが一般的だが、この手法では運動指令の脊髄到達前の判別は困難である⁽⁶⁾。

本研究では脳波のパワー値変化を確率的な分布から考察することで脳波のばらつきに対応する。そして、確率的に最も高い運動指令発生時の脳波変化を計測することで促通反復療法を起こす刺激を発生させる手法を考えた。

本手法の構築には運動指令時のERD発生確率を検討し、ERDを促通反復療法へ利用する有用性の検討が必要である。従って、本稿の目的は、運動指令発生時の脳波のパワー値変化の統計モデルを求め、ERDの最大発生確率からERDの促通反復療法への適用の有用性の検討である。

3. 運動想起時の脳波のパワー値計測実験

3-1 実験目的

本実験では、運動想起時の脳波のパワー値変化を計測し統計モデルを導出する。導出した統計モデルからERDの最大発生確率を求め、ERDの促通反復療法への適用の有用性の検討を目的とする。

3-2 被験者

インフォームドコンセントを得た若年健常者3名(性別:男3名,年齢:22歳1名,23歳2名,利き手:右利き2

名, 左利き 1 名)を対象に実験を行った。被験者には, 疲労等の影響を防ぐため, 十分な睡眠を取るよう指示をした。

3-3 実験タスク

実験の様子を Fig. 2 に, 実験の流れを Fig. 3 に示す。被験者をリラックスした状態でイスに座らせ, 実験を行った。1 タスクを 8[s]とする。タスク開始と同時にモニタに十字の記号を表示させる。タスク開始から 3[s]までを安静区間とする。タスク開始 3[s]後, モニタ上に右方向の矢印を掲示し, 矢印を合図に右肘の屈曲, 伸展の運動想起を行い続ける。そしてタスク開始 8[s]後, 画面上の十字の表示を消し, 被験者はそれを合図に運動想起を終了し, 安静状態で次のタスク開始を待つ。タスク開始 3[s]~8[s]を肘の屈伸の運動想起区間とする。以上のタスクを 1 被験者 40 回行った。

3-4 実験装置

被験者の脳波を計測するため, 脳波計 g.USBamp(g.TEC 社)を用いた。サンプリング周波数は 256[Hz]とした。電極の取り付け位置は, 国際 10-20 法に基づき左の上肢運動に対応している CP3 と FC3 のバイポーラ誘導とした。GND を Fpz, Reference 電極を A2 とする。

3-5 解析手法

運動想起時の脳波のパワー値変化の統計モデルを以下のステップにより行った。

[1]全タスクの脳波のパワー値の加算平均を行う。

[2]運動想起区間開始時からパワー値変化の減衰率が最大となるまでの時間を求める。パワー値変化率は式(1)にて求め, ERD の判定は, 運動想起時にパワー値が減衰するという ERD の定義より式(1)が負となった場合とする⁽⁶⁾。

$$ERD = \{(P_{Rest} - P_{Act}) / P_{Rest}\} \times 100 < 0 \quad (1)$$

ただし, $P_{Rest}[\mu V^2]$ を安静区間の脳波の平均パワー値, $P_{Act}[\mu V^2]$ を運動想起区間の脳波の平均パワー値とする。

[3][2]にて求めた時間幅でのパワー値変化率を全試行にて行い, パワー値変化率のヒストグラムを作成する。

[4]ヒストグラムより ERD の最大発生確率を算出する。

3-6 実験結果

全タスクの加算平均の結果, 3 名中 2 名(被験者 A, B)にて ERD が判定された。Fig. 4 に被験者 A の実験タスク中の 1 試行分のパワー値変化を示す。運動想起区間開始時より, パワー値が減衰している。パワー値変化の確率分布を求めた結果, 被験者 A, B の両人にて -50.0% に集積した分布が得られた。パワー値変化の確率分布は負の領域を含むこと, -50.0% に集積していることから正規分布による近似を行った。Fig. 5 に被験者 A の運動想起区間のパワー値変化率のヒストグラム及び正規分布を示す。

ERD の定義外の脳波のパワー値変化率が正の試行と, 被験者 A, B において ERD が未発生であった減衰率 -116.6% 未満の試行を取り除き, 構築した正規分布による統計モデルより ERD 発生の最大確率を求めた結果, 55.1% の確率が得られた。Fig. 6 に被験者 A の ERD 発生確率, 及び正規分布によって得られた ERD 発生確率を示す。

3-7 考察

正規分布の統計モデルより最大 ERD 発生確率は 55.1% と求まった。これは肘の屈伸動作の運動想起時, ERD は 55.1% の確率で発生すると言える。促通反復療法は通常療法と比べ質, 量ともに 2 倍, 3 倍の訓練を実現するため, 目標値を 50.0% とする⁽⁷⁾。ERD の最大発生確率が目標値の 50.0% よりも高く得られたため, 促通反復療法を起こすため ERD を適用する有用性を満たしていると言える。一方, 本稿の被験者は 3 名と少なく, ERD が判定されたのが 3 名中 2 名であるため, 被験者数を 10 名追加した追実験が必要である。

4. 結言

本研究では, 効果的なリハビリテーション方法である促通反復療法を支援する装置の開発を目指している。促通反復療法を起こす刺激タイミングを確率的な分布から求める手法の構築に向け, 運動想起時の ERD の最大発生確率から ERD の促通反復療法への適用の有用性の検討を目的とした。肘の屈伸の運動想起を行う実験から求めた運動想起時の脳波のパワー値の変動の統計モデルを構築し, パワー値の減衰率が -50.0% の集積する正規分布に沿うことを確認した。導出した統計モデルから, 最大 ERD 発生確率は 55.1% と求まり目標値の 50.0% よりも高い発生率を得られたため, ERD の促通反復療法への適用の有用性が示された。今後は確率的な分布から刺激タイミングを求め 250[ms]の解析時間で促通反復療法を起こす手法を構築する。

参考文献

- (1) 川平和美, 片麻痺回復のための運動療法 促通反復療法の理論と実際, 医学書院, 2010.
- (2) 木佐俊郎, 回復期脳卒中片麻痺に対する促通反復療法の効果, 総合リハ, 38 巻, 2 号, pp. 165-170, 2010.
- (3) 安川電機, 促通反復療法(川平法)のリハビリ装置を開発 - 脳卒中の後遺症治療をサポート -, <http://www.yaskawa.co.jp/php/newsrelease/contents.php?id=289&year=2013>, 2014 年 7 月 7 日参照.
- (4) B. Libet, G.A. Gleason, Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential), Brain, vol.106, pp. 623-642, 1983.
- (5) 赤沢堅造, 生体情報工学, 東京電機大学, p98, 2001.
- (6) G.Pfurtscheller, Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization basic principles, Clinical Neurophysiology, pp. 1842-1857, 1999.
- (7) 老健医療研究会, 促通反復療法(川平法)の理論と治療実績, <http://www.roken.or.jp/medical/wp/archives/368>, 2014 年 7 月 7 日参照.

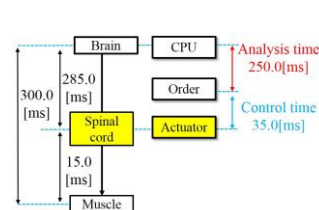


Fig. 1 Control time of the system

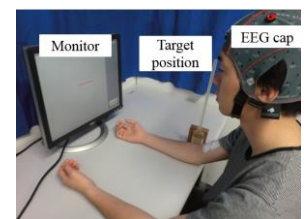


Fig. 2 State of the Experiment

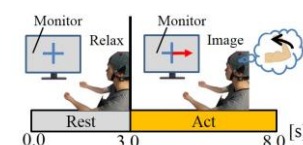


Fig. 3 Flow of the experiment

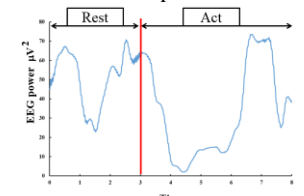


Fig. 4 Change of EEG power

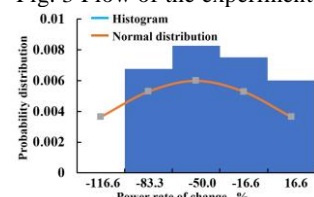


Fig. 5 Histogram of the power attenuation factor

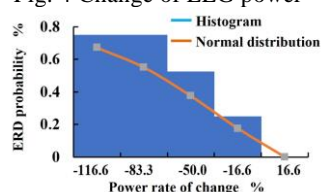


Fig. 6 The ERD probability by histogram