

身体運動に伴う遅延聴覚フィードバックへの順応過程 - 事象関連電位の経時的变化 - *

☆樋田浩一, 矢野目敬真, 上野佳奈子, 嶋田総太郎 (明治大, JST CREST)

1 はじめに

自らの身体運動とその感覚フィードバックを正しい組み合わせで対応付けるための条件として、両者の時間的整合性が挙げられる。一方、実際の場面を想定すると、道具の使用や楽器演奏など、外部システムからのフィードバックに遅延が存在する場合があります。脳には遅延感覚フィードバックに対して適応的に対処する何らかの方略が存在すると考えられる。

既往の研究において、身体運動に伴う感覚フィードバックに遅延を伴う場合、その遅延に順応することが示されている^{[1][2]}。また、聴覚フィードバックの遅延検出において、事象関連電位 (event-related potentials : ERPs) の P2 成分が増強されること^[3]、および、遅延に順応した後は P2 の増強がみられなくなることが示された^[4]。そこで本研究では、遅延聴覚フィードバックへの順応過程に着目し、ERPs 成分の経時的な変化に着目した脳波測定実験を実施した。

2 実験

2.1 被験者

右利きの健聴者 12 名 (男性 6 名, 女性 6 名, 20.8±1.4 歳, Mean±SD) を被験者とした。

2.2 実験方法

実験には、被験者のマウスクリック (右手人差し指) に対して、カナル型イヤホン (ER-4B ; Etymotic Research) から聴覚刺激が出力されるシステムを用いた (E-Prime 2.0 ; Psychology Software Tools, Inc.)。刺激は全て 100 ms の遅延を挿入した 1 kHz の純音 30 ms (立ち上がり・立ち下がり各 10 ms に線形なフェードイン・アウトを含む) とし、S/N を十分に確保して両耳に出力した。なお、実験で使用了システムには、マウスクリックから聴覚刺激呈示までに 53.3 ms の実験装置固有の遅延が内在するが、この状態を遅延のない状態 ($t = 0$ ms) と定義した。

被験者は防音室内の椅子に座り、前方の注視点を固視した状態で、1 秒間隔で連続してマウスをクリックした。300 試行 (約 5 分) を 1 セッションとし、セッション間に約 3 分の休憩を挟んで 3 セッション合計 900 試行実施した。

2.3 脳波計測と分析

脳波測定には、g.tec 社製の脳波測定システム (BCI Research System) を用いた。反応は Ag-AgCl 頭皮電極 (活性電極) を国際 10-20 法の Fz (前頭), Cz (頭頂), Pz (後頭), 左耳朶 (基準電極), AFz (接地電極) の 5 ヶ所に貼付し計測した。全ての電極と皮膚間のインピーダンスは 10 kΩ 以下とした。脳波には、0.5~30 Hz の帯域通過フィルタをかけ、サンプリング周波数 512 Hz で記録した。

被験者ごとの各電極のデータは、聴覚刺激呈示時を起点 ($t = 0$) として $t = -300 \sim +700$ ms の区間を切り出し、60 試行ごとに加算平均波形を求めた。この際、 $t = -100 \sim 0$ ms における平均電位をベースラインとし、 $\pm 80 \mu\text{V}$ を超える電位が含まれた試行は、アーティファクトの混入とみなして加算平均から除外した。

1~60 試行目の加算平均波形を 1 フレーム目とし、加算平均を行う試行を 1 試行ずつずらして、841 フレーム目 (841~900 試行) まで算出した。更に、被験者ごとの加算平均波形から全被験者の総加算平均波形 (grand mean waveform : GMW) を算出した。

ERPs 成分として、加算平均波形の $t = 75 \sim 150$ ms の陰性ピークを N1, $t = 150 \sim 250$ ms の陽性ピークを P2 と定義した。

3 結果

セッション 1 の特徴的なフレーム (1st : 開始直後, 70th : P2 の振幅が最大, 240th : セッション間の休憩直前) の GMWs を Fig.1 に示す。波形は類似しているもののピークの振幅には差がみられ、N1 成分は実験開始直後、

* Adaptation process between delayed auditory feedback and self-body movement –Temporal change of event-related potentials-, by TOIDA, Koichi, YANOME, Takamasa, UENO, Kanako and SHIMADA, Sotaro (Meiji Univ., JST CREST).

P2 成分は開始後約 1~2 分経過後の振幅が大きい。このことから、同じ刺激を呈示していても、ERPs 成分の振幅は経時的に変化することが確認された。

実験中 (3 セッション) の GMWs の経時変化を Fig.2 に示す。また、被験者ごとの加算平均波形のピークから求めた N1 と P2 の平均振幅を Fig.3 に示す。Fig.3 において、休憩前後の試行が含まれるフレームは灰色で表示している。なお、マウスクリックの平均間隔は 1117.8 ± 96.6 ms であった。

P2 成分の振幅 (Fig.3(b)) に着目すると、セッション 1 では 70 フレーム前後にかけて増加した後、緩やかに減少する傾向がみられる。休憩後のセッション 2 にも類似の増加・減少傾向がみられる。セッション 3 にはこの傾向はみられず、60 フレーム前後にかけて減少した後、セッション 1, 2 終了時と同程度の振幅を中心に細かく増減する波形となった。セッション 1, 2 にみられた減少傾向及びセッション 3 全般の比較的小さい振幅値は、遅延検出に伴って増強される P2 成分が、遅延への順応によって減少する様子を示すと考えられる。

4 考察

実験の結果から、遅延に順応することに伴い、P2 の振幅が減少する可能性が示唆された。なお、P2 が最大振幅となるのは実験開始直後ではなく、開始後 100 フレーム弱経過してからであったが、これは、実験タスクへの慣れや課題に対する集中に伴うタイムラグだと考えられる。また、休憩後のセッション 2 冒頭において P2 の振幅が回復することから、遅延への順応現象は長時間残効しない可能性が考えられる。一方で、セッション 3 において開始後の増加傾向がみられなかったのは、セッション 1, 2 における順応によってセッション 3 冒頭から P2 が抑制された (遅延の検出感が鈍った) ためと考えられる。

今回の実験結果と対応して、心理実験においても、遅延した刺激に曝されることで、遅延弁別閾が遅延方向へシフトする現象が 4 分程度まで観察されることが示されている^[2]。一方で、身体運動に伴う遅延感覚フィードバックへの順応は 1 分以下で生起すると報告している研究もあり^{[5][6]}、今後、更なる検討が必要である。

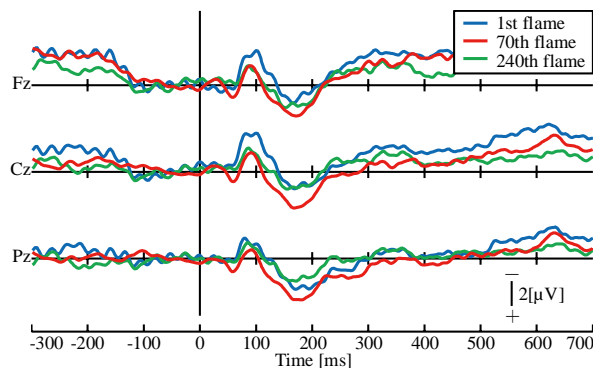


Fig. 1 Grand mean waveforms (GMWs)

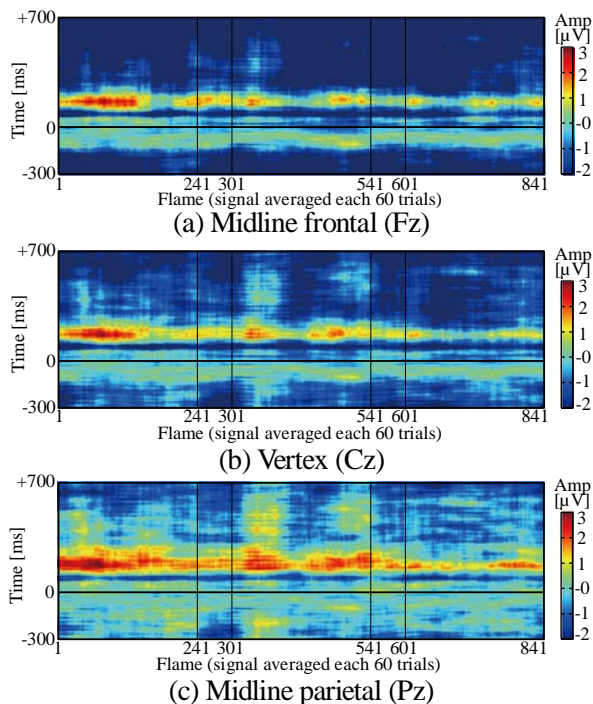


Fig. 2 Temporal change of GMWs

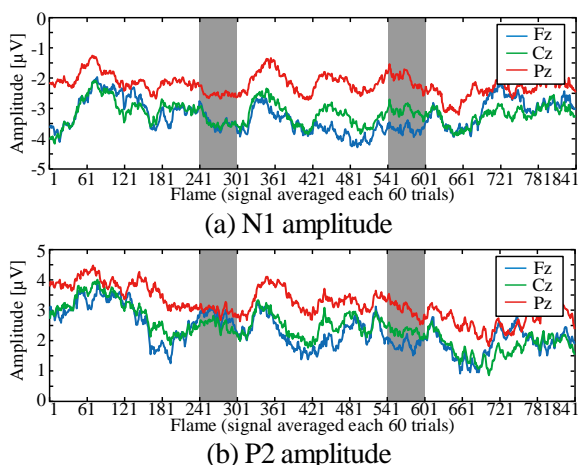


Fig. 3 Temporal change of ERPs amplitude

参考文献

- [1] Stetson *et al.*, *Neuron*, 51(5), 651-659, 2006.
- [2] Toida *et al.*, *Neuroreport*, 25(5), 284-288, 2014.
- [3] 樋田他, 音講論(秋), 473-476, 2014.
- [4] 樋田他, 聴覚研資料, 44(7), 433-438, 2014.
- [5] Sugano *et al.*, *Front. Psychol.*, 3, 246, 2012.
- [6] Burg *et al.*, *J. Neurosci.*, 33(37), 14633-37, 2013.