

認知的負荷がステップ動作開始時における予測的姿勢制御に及ぼす影響

南航大^{1, 2)} *、山中英士¹⁾、奥山航平³⁾、川上途行^{1, 3)}、渡邊龍憲²⁾

- 1) 東京湾岸リハビリテーション病院、2) 青森県立保健大学大学院健康科学研究科、
3) 慶應義塾大学医学部リハビリテーション医学教室

Key Words ① 注意 ② 遂行機能 ③ 姿勢制御 ④ 転倒 ⑤ 二重課題

I. はじめに (または「緒言」等)

外的環境に対する素早いステップ反応は転倒回避能力に関与する観点からも日常生活における安全な移動のために不可欠な機能である。通常、脚を一步踏み出す際には、重心が最初に遊脚側へ移動し、その後立脚側に移動する。この最初の遊脚側への重心移動は予測的姿勢制御 (Anticipatory Postural Adjustments : APA) と呼ばれ、重心を円滑に立脚側へ移動させる役割を果たす [1]。一方で、左右どちらからステップを開始するか不確実な状況では、重心が最初に立脚側に移動する場合があります、これは予測的姿勢制御エラー (APA エラー) と定義されている [2]。また、APA エラーのメカニズムとしては、不適切な反応を抑制し、適切な反応を選択する抑制機能と強く関連することが報告されている [2]。そこで我々は、ワーキングメモリの負荷が増加することで抑制機能が低下することから [3, 4]、ワーキングメモリ負荷が APA エラーに及ぼす影響を検証した。そして、ワーキングメモリ負荷はステップ動作の遂行に必要な認知資源に影響を及ぼし、APA エラーの発現を増大することを明らかにした [5]。しかしながら、ワーキングメモリ負荷が APA エラーの発現を増大する神経メカニズムは不明なままである。

II. 目的

本研究の目的は、脳波計を用いて、ワーキングメモリを用いた認知的負荷が APA エラーの発現を増大する神経メカニズムを解明し、新たな転倒リスク評価の開発に向けた基礎的なデータを構築することであった。

III. 研究方法 (または「研究の経過」等)

右利き健康成人 6 名を対象とした。各被験者は国際 10-20 法に基づいて 64 チャンネル脳波計を頭部に装着した。脳波計装着後、快適な立脚幅で床反力計上に直立し、ステップ課題単独あるいは、ステップ課題をワーキングメモリ課題と同時に実施する二重課題を実施した。ステップ課題には一致条件と不一致条件からなるフランカー課題を採用した。二重課題条件では、被験者に各ステップ課題の前に 1 桁 (低負荷) あるいは 6 桁 (高負荷) の数字を記憶するよう指示した。床反力計より得られたデータから、ステップ動作時の APA エラー率、反応時間、離地時間を算出し、ステップ課題条件とワーキングメモリ負荷条件を 2 要因とした、反復測定二元配置分散分析を実施した。また、脳波計より得られたデータから事象関連電位を算出し、各電極の p 値の算出には Bootstrap 法、多重比較の補正には FDR 法を用いた。

*連絡先：〒030-8505 青森県青森市大字浜館字間瀬 58-1 E-mail:2381011@ms.auhw.ac.jp

IV. 結果 (または「成果」等)

反復測定二元配置分散分析の結果、APA エラー率、反応時間、離地時間ともにステップ課題条件による主効果を認め、ワーキングメモリ負荷条件による主効果および交互作用は認められなかった。単純主効果検定の結果、すべてのパラメーターに関して、一致条件と比較して不一致条件で有意に高値を示した。事象関連電位に関して、FCz における刺激呈示後 200ms 付近の負の振幅 (N2) において、ステップ課題条件とワーキングメモリ負荷条件による有意な交互作用を認めた。事後検定の結果、ワーキングメモリ高負荷条件において、一致条件と比較して不一致条件で有意な N2 の振幅の増大を示した。

V. 考察

本研究により、ワーキングメモリ負荷の増大は選択的注意や抑制機能を要する Flanker 課題の不一致条件における APA に影響し (実験 1)、不一致条件における N2 振幅を増大することが明らかとなった。N2 振幅は、不適切な反応を抑制し適切な行動を選択する認知過程である葛藤抑制を反映しており、前帯状皮質と背外側前頭前野が関与すると考えられている。特に競合状態におけるエラーの検出には (Flanker 課題における不一致条件)、前帯状皮質が中心的な役割を果たし、検出した情報は背外側前頭前野へ連絡されるが、この過程を反映しているのが N2 と考えられている。また、ワーキングメモリは思考や行動を監視し調整する一連の認知過程である実行機能の中核をなす要素であり、主に背外側前頭前野、前帯状皮質を含む前頭-頭頂 ネットワークが関与すると考えられている。したがって、ワーキングメモリ負荷の増大により、不一致条件に対する葛藤抑制が増大 (N2 振幅の増大) し、その結果、APA エラーの発現増大に寄与したことが考えられる。

VI. 文献

1. Tateuchi, H., et al., *Anticipatory postural adjustments during lateral step motion in patients with hip osteoarthritis*. J Appl Biomech, 2011. **27**(1): p. 32-9.
2. Cohen, R.G., J.G. Nutt, and F.B. Horak, *Errors in postural preparation lead to increased choice reaction times for step initiation in older adults*. J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2011. **66**(6): p. 705-13.
3. Lavie, N., et al., *Load theory of selective attention and cognitive control*. J Exp Psychol Gen, 2004. **133**(3): p. 339-54.
4. Wei, H. and R. Zhou, *High working memory load impairs selective attention: EEG signatures*. Psychophysiology, 2020. **57**(11): p. e13643.
5. Minami, K., et al., *Working memory load modulates anticipatory postural adjustments during step initiation*. Exp Brain Res, 2024. **242**(5): p. 1215-1223.