

【課題番号：EECS2510】

## 身体動揺の視覚的フィードバックによる動揺安定に関わる 生理学的メカニズムの探索：加齢による影響の検討

大熊健太<sup>1)</sup> \*、高橋碧希<sup>1)</sup>、田中優生<sup>1)</sup>、渡邊龍憲<sup>1) 3)</sup>

1) 青森県立保健大学大学院健康科学研究科、2) 東京湾岸リハビリテーション病院、  
3) 早稲田大学スポーツ科学研究センター

Key Words ①視覚的フィードバック ②コヒーレンス ③立位バランス

### I. はじめに

超高齢化社会を迎えた日本において、転倒は要介護状態へ移行する主要な要因の一つであり、その予防が重要な課題となっている。近年、バランス機能低下に対するリハビリテーションとして、PC モニターを用いて身体の動きを視覚的にフィードバックしながらトレーニングを行う方法が注目されている。例えば、Ryan らは、立位を保持する被験者の足圧中心 (center of pressure: COP) の位置を PC モニターに視覚的にフィードバックすることで、バランスコントロールが向上し、身体動揺が減少することを報告している<sup>1)</sup>。また、脳卒中患者や脳性麻痺患者を対象とした臨床研究においても、COP の視覚的フィードバックを用いて静止立位を保持させると、身体動揺が減少することが報告されている<sup>2)3)</sup>。しかしながら、これらの研究では、視覚的フィードバックが身体動揺の減少に寄与することが示されているものの、その神経生理学的な制御メカニズムは十分に解明されていない。

中枢神経系の制御を推定するための有効な手法の一つにコヒーレンス解析がある。コヒーレンス解析とは、2つの信号間の特定の周波数における位相の同調性を計算し定量化する手法である。例えば、立位課題中に脳波と筋電図信号を記録し、それらのコヒーレンス解析を行った研究では、バランスを崩しそうになった際に、脳波と筋電図信号間で生じる  $\theta$  周波数帯 (4–8Hz) のコヒーレンスが增大することが報告されている<sup>4)</sup>。我々は先行研究において、視覚的フィードバックによる身体動揺減少のメカニズムを明らかにするために、健常若年者を対象に、脳波と筋電図信号のコヒーレンス解析を用いて検討し、視覚的フィードバックが一次運動野による利き足側の前脛骨筋の制御を高めることを明らかにした。しかし、バランスコントロールに重要な感覚機能、前庭機能、視覚機能の低下が生じる高齢者において、視覚的フィードバックを利用した身体動揺減少が生じるメカニズムは不明なままである。

### II. 目的

本研究の目的は、①高齢者における視覚的フィードバックによる身体動揺減少の生理学的メカニズムの一端を解明すること、②既存の若年者のデータと高齢者のデータを比較することで加齢による影響を検討し、転倒予防に効果的なリハビリテーションの開発に資する知見を得ることであった。

---

\*連絡先：〒030-8505 青森市浜館間瀬 58-1 E-mail: 2581002@ms.auhw.ac.jp

### Ⅲ. 研究方法

利き足が右である高齢者 30 名を対象とした。実験前に被験者の両側の前脛骨筋、ヒラメ筋、内側腓腹筋に表面筋電図電極を貼付した。さらに、国際 10-20 法に従い、脳波電極を Cz (一次運動野下肢領域上) に設置した。被験者はフォースプレート上に両脚立位をとり、立位保持課題を実施した (図 1)。このとき両脚の足幅は 10 cm、被験者と PC モニターとの距離は約 1 m とした。

実験課題は control 条件、1 倍条件、8 倍条件の 3 条件とした。control 条件では、PC モニターの中央に呈示される固視点 (○) を注視しながら両脚立位を保持させた。1 倍条件および 8 倍条件では、フォースプレートから算出された COP の動きに合わせて動くカーソルを PC モニター上に呈示した。1 倍条件では COP が 1 cm 動くときカーソルが 1 cm 移動し、8 倍条件は COP が 1 cm 動くときカーソルが 8 cm 移動するよう設定した (図 2)。これらの条件では、被験者に対して、カーソルを固視点 (○) にできるだけ近づけるように指示した。3 条件はランダムな順序で行い、各試行時間は 110 秒とした。各試行間には 3 分間の休憩を設け、疲労による影響を最小限にした。

フォースプレートより得られた COP のデータを用いて、前後方向の root mean square (RMS) を算出した。また、脳波と筋電図を用いて、脳波-筋電図コヒーレンスを算出した。統計解析では加齢による影響を明らかにするために群 (若年群・高齢群) と条件 (control 条件、1 倍条件、8 倍条件) を要因とする二元配置分散分析を行った。多重比較には Bonferroni 補正を用いた。



図 1 実験環境

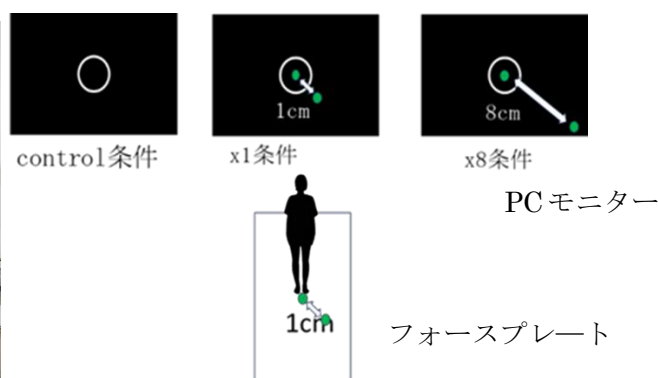


図 2 実験課題

### Ⅳ. 結果

RMS に対する二元配置分散分析の結果、群と条件の交互作用が認められた ( $F=4.412$ 、 $p=0.028$ )。事後検定を行った結果、若年者・高齢者ともに control 条件と 1 倍条件間、control 条件と 8 倍条件間で、有意差が認められた。また、すべての条件において若年者に比べて高齢者が有意に高い値を示した (図 3)。

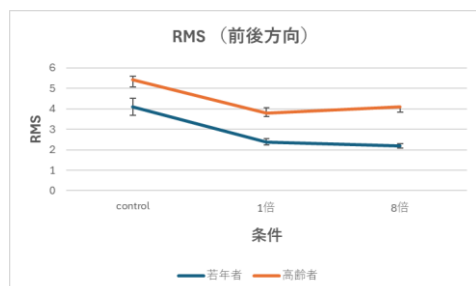


図 3 前後方向の RMS

統計学的に有意な脳波-筋電図コヒーレンスは、右前脛骨筋のみに認められた。脳波-右前脛骨筋コヒーレンスに対して二元配置分散分析を行った結果、 $\theta$  帯域で交互作用が認められた ( $F=$

6.613、 $p = 0.004$ )。事後検定の結果、若年者では control 条件と比較して 1 倍条件および 8 倍条件で有意に高かった。一方、高齢者では条件間で有意な差は認められなかった。また、すべての条件において若年者と高齢者の間で有意な差は認められなかった (図 4)。加えて、 $\gamma$  帯域 (30–45Hz) においても群と条件の交互作用が認められた ( $F = 6.115$ 、 $p = 0.007$ )。事後検定の結果、若年者では、control 条件と比較して 1 倍条件および 8 倍条件で有意に高かったが、高齢者では条件間で有意な差が認められなかった。また、すべての条件において若年者と高齢者の間で有意な差が認められた (図 5)。

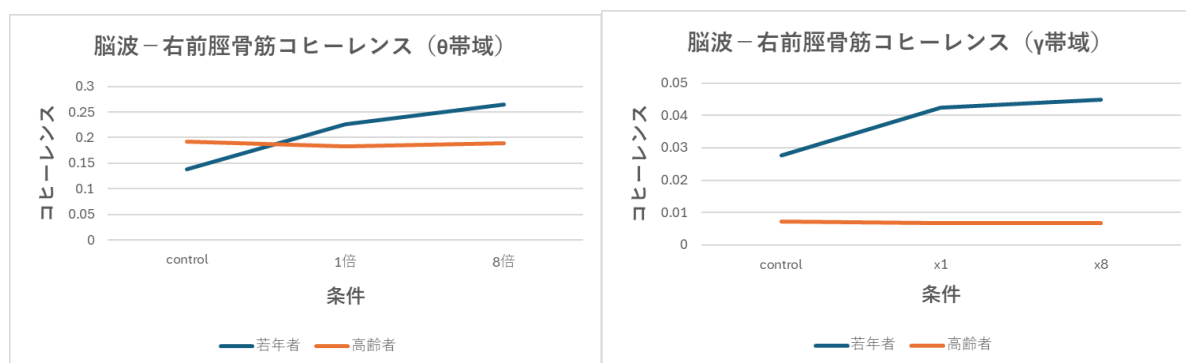


図 4 脳波-右前脛骨筋コヒーレンス ( $\theta$  帯域) 図 5 脳波-右前脛骨筋コヒーレンス ( $\gamma$  帯域)

## V. 考察

本研究により、高齢者においても若年者と同様に、視覚的フィードバックを利用することで身体動揺を軽減することが示された。一方で、高齢者では、若年者と比較して、視覚的フィードバックの有無に応じて一次運動野による利き足側の前脛骨筋の制御を調整する機能が低下している可能性が示唆された。

## VI. 文献

- 1) Ryan P Cawsey, Romeo Chua, et al. To what extent can increasing the magnification of visual feedback of the center of pressure position change the control of quiet standing balance? *Gait Posture* 29(2): 280-284, 2009.
- 2) Wei Wang, Yunling Xiao, et al. Analysis of center of mass acceleration and muscle activation in hemiplegic paralysis during quiet standing. *PLoS One* 14(12): 1-16, 2019
- 3) Stella F Donker, Annick Ledebt, et al. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res* 184(3):363-370, 2007
- 4) Mitchel Stokkermans, Teodoro Solis Escalante et al. Distinct cortico muscular coupling between step and stance leg during reactive stepping responses. *Front Neurol*:1-13, 2023

## VII. 発表 (誌上発表、学会発表など採択年度から過去 2 年間の実績を記載してください。)

- ・第 9 回若手研究者ネットワークシンポジウム
- ・第 30 回日本基礎理学療法学会学術大会