

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32206

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K19772

研究課題名（和文）実行機能課題と小型センサを用いた転倒スクリーニングデバイス開発に関する基礎研究

研究課題名（英文）Basic Research on Execution Function Tasks and Development of Fall Screening Devices Using Small Sensors

研究代表者

松田 憲亮（Matsuda, Kensuke）

国際医療福祉大学・福岡保健医療学部・准教授

研究者番号：40549961

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、若年成人女性、高齢女性、およびリスク高齢女性を対象に安定した表面、不安定表面、および実行機能課題を実行中に不安定表面で姿勢を維持する能力を調査することを目的とした。姿勢制御は、重心動揺計および角速度センサーを使用して定量的に評価された。若年成人と比較し高齢者およびリスク高齢者は、不安定条件下で姿勢の動揺と足関節累積角度が増加した。不安定表面で実行機能課題を実行した場合、高齢者とリスク高齢者では、股関節と膝関節の累積角度が増加した。これらの知見は、姿勢調節を補う認知プロセスの減少と、加齢に伴う実行機能低下による姿勢維持のための不安定性と股関節戦略の活性化に関する新たな知見を提供した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、特に高齢者の転倒リスクという観点から加齢、認知機能、姿勢制御の複雑な関係を強調した。不安定条件下で実行機能課題を実行した場合、高齢者とリスク高齢者では、股関節と膝関節の累積角度が増加した。これらの知見は、姿勢調節を補う必要な認知プロセスの減少と、加齢に伴う実行機能低下による姿勢維持のための不安定性と股関節戦略の活性化に関する新たな知見を提供した。股関節戦略の増加により転倒リスクも上昇、特に筋肉量減少を伴うリスク高齢者ではその傾向が顕著であった。様々な年齢層と認知的要求に渡る立位姿勢制御戦略の調査により、姿勢不安定性の根底にあるメカニズムと転倒予防への影響に関する貴重な知見を提供した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to investigate the ability of young adult women, older women, and older women at risk of falling to maintain their posture on stable surfaces, unstable surfaces, and unstable surfaces while performing executive function tasks. Postural control was quantitatively assessed using a center-of-gravity sway meter and angular velocity sensors. Compared with younger adults, older adults and at-risk older adults showed decreased executive function and increased postural sway under unstable conditions. The cumulative angles of the hip and knee joints were increased in older adults and at-risk older adults when an executive function task was performed on an unstable surface. These findings provide novel insights into the reduced cognitive work required to compensate for postural regulation and increased instability and activation of hip strategies for postural maintenance via age-related deficits in executive function.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：実行機能 加齢 姿勢制御 転倒 高齢者 認知機能

1. 研究開始当初の背景

(1) 転倒は、骨折、転倒の恐怖、日常生活活動や社会活動への参加の低下の問題を発生させる可能性があり、さらに医療費や介護費用の増大に発展する。加齢の影響は姿勢の不安定性等による姿勢とバランスの問題に関連し、転倒リスクの高い高齢者では姿勢制御が重要である。姿勢制御では身体的タスクだけではなく、認知的タスクにも影響を受けるため、脳内の認知および運動制御システムの協調が重要であると報告されている。このシステムの協調には実行機能に依存しており、加齢により運動機能を補助する認知的働きかけは制限されるため、バランスに影響し転倒を発生することは理解しやすい。しかしながら、転倒スクリーニングでは、実行機能を必要とする二次課題は使用されておらず、単独の認知機能検査 (Mini Mental State Examination 等) によって転倒リスクを評価する現状がある。

(2) 実行機能の代表的な評価にはストロープ課題 (ST 課題) があり、申請者は健常成人における実行機能の働きと重心制御能力に関連性があることを示した。高齢者を対象とした先行研究²⁾では、二重課題 (例. 認知的課題をしながら立位をとる) を用いて、立位時の姿勢動揺や不安定性について考察されて来た。しかしながら、転倒リスクの運動方向、下肢の関節の運動性増加等は検討されていない。申請者は、実行機能課題中の立位姿勢制御を定量化、立位姿勢を維持する為の下肢関節の運動量や戦略を客観化することで、高齢者の転倒との関連性を明らかにできると考えた。

2. 研究の目的

(1) 臨床応用可能な小型モーションセンサと実行機能課題を用いて立位姿勢制御の定量的評価と戦略 (ストラテジー) を検討する。

(2) 実行機能課題中の立位姿勢制御の測定値について転倒予測指標の有用性を検証し、高齢者の実行機能の評価要素を取り入れた転倒スクリーニングデバイス開発の基礎研究とする。

3. 研究の方法

(1) 研究対象者は全て女性とし、20-22歳の女性参加者は大学内で募集、65-80歳の女性参加者はシルバー人材センターより募集した。

(2) 研究の同意が得られた研究対象者には、基本属性として、年齢、Body Mass Index (BMI)、skeletal muscle mass index (SMI)、Functional Reach Test (FRT)、実行機能、移動能力 (Timed Up and Go Test) を計測した。SMI の減少 (AWGS2019 基準 : 5.7kg/m² 未満) と FRT のカットオフ値 18.5 cm 未満に該当する高齢者をリスク高齢者と定義し、研究対象者を若年成人群、高齢者群、リスク高齢者群の 3 群とした。

(3) 実行機能の計測は、ST 課題と反応時間計測装置を用いた。先行研究³⁾に準じて、Stroop 干渉時間を算出し、実行機能指標とした。ST 課題では対象者の課題正答率も計測された。

(4) 研究対象者は、3 つの条件下で静止立位を取り、立位姿勢制御について重心動揺計と角速度センサーにより定量的に評価した。先行研究⁴⁾に準じて、参加者は利き足の足部、下腿部、大腿部、仙骨部に 3 軸角速度センサーを装着し、課題中の足関節、膝関節、股関節の角速度をサンプリング周波数 200Hz で計測した。角速度センサーを装着した状態で、対象者は前方 2m 先にスクリーンの課題を行いながら、重心動揺計上に裸足で静止立位をとり、総軌跡長の計測が実施された。3 つの測定条件は、①前方の星印を注視する静止立位、②不安定な表面 (フォームパッド) 上で前方の星印を注視する静止立位、③不安定な表面で ST 課題 + 静止立位の 3 条件とした。角速度データは移動平均処理、積分処理等を行い関節角度に変換、課題中の関節運動の累積角度を算出した。課題中の関節運動の累積角度計測は 1 名の測定者で実施し、検者内信頼性を算出した。

(5) 統計方法は、基本属性、課題中の総軌跡長、足関節・膝関節・股関節の累積角度について Kruskal-Wallis 検定および多重比較検定を用い、3 群間比較を実施した。3 つの測定条件における関節運動の累積角度については、FRT、TUG、実行機能指標との関連性を検討するため、Spearman 検定を実施した。有意水準は危険率 5% とした。

4. 研究成果

(1) 研究対象者は若年成人群 21 名、高齢者群は 25 名、リスク高齢者群は 12 名であった。リスク高齢者群の特徴として、他の 2 群と比較し、SMI、FRT が有意に減少し、実行機能の指標である Stroop 干渉時間は有意に増加した。高齢者群とリスク高齢者の年齢、体型 (BMI)、移動能力 (TUG)、ST 課題正答率に有意差はなかった。リスク高齢者群では骨格筋量の減少が著しく、骨格筋量減少により転倒リスクが増加する先行研究⁵⁾を支持する結果であった。さらに高齢者群と比較しても実行機能低下が強く、実行機能低下と反応時間や立位姿勢動揺の悪化の関連性⁶⁾を裏付けていると考えられた。

(2) 高齢者の立位姿勢制御の研究では、重心動揺計等を用いた二次元での姿勢動揺や不安定性

が考察されてきた。近年、ウェアラブル慣性センサーに基づく動作解析システムが開発されており、高い信頼性と優れた妥当性を備えた歩行と関節運動学パラメータの測定を可能にしている。特に角速度センサーは、就学前の子供の静的平衡能力を評価でき、非常に信頼性が高い⁷⁾。本研究でも課題中の足関節、膝関節、股関節の運動が、角速度センサーを使用して計測され、累積角度に変換された。課題中の累積角度測定の信頼性 ICC (1. 1) は、足関節 (0. 86)、膝関節 (0. 85)、股関節 (0. 74) で高かった。

(3) 高齢者では若年者よりも地面の安定性に立位姿勢制御がより強く影響を受ける。これは姿勢制御に必要な筋肉量が加齢とともに減少することに起因すると考えられている⁸⁾。活動量の少ない高齢者は特にバランスの問題を起こしやすく⁸⁾、高齢者群、リスク高齢者群の SMI 値と FRT 値の低下はこれらの調査結果を指示している。本研究の結果、課題条件①静止立位姿勢、課題条件②不安定な表面で静止立位における姿勢制御では、共に若年成人群と比較し、高齢者群、リスク高齢者群で総軌跡長が有意に増加することが観察され、立位不安定性が増加することが理解された。また、課題中の関節累積角度を観測したが、高齢者群、リスク高齢者群では足関節累積角度の有意な増加を確認し、足関節の運動を増加させることで姿勢制御を補うことが新しい知見として得られた (図1)。膝関節、股関節の累積角度はすべてのグループで増加傾向にあり、加齢の影響ではなかった。高齢者の立位姿勢の動揺は、the center of body pressure (COP) の上昇、生理的振戦、下肢筋量の減少⁹⁾や、課題難易度の上昇に伴う姿勢の動揺増加¹⁰⁾との関係が報告されている。特に高齢女性では姿勢調整中に COP 速度の増加が報告されており¹⁰⁾、高齢者およびリスクのある高齢者の不安定な床面における足関節累積角度の増加を裏付けている可能性がある。

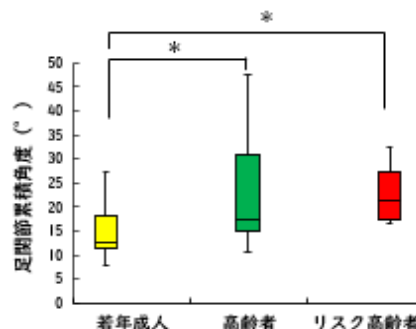


図1 不安定な表面上条件での静止立位の足関節累積角度 *: p < 0.05

(4) 高齢者の転倒リスクについて臨床的な視点から、実行機能とバランス機能は別々に評価されてきた。近年、COGNITIVE-MOTOR DUAL-TASKING (CMDT) の研究を通じて、老年期には、運動と同時並行的に行われる認知課題に割くことのできる認知能力が制限されていること²⁾、より複雑な認知的負荷がかかると、それに比例して姿勢安定性に大きなコストがかかること¹¹⁾がわかっている。本研究では対象者の実行機能を事前に評価し、課題条件③不安定な表面で ST 課題 + 静止立位の姿勢制御について、課題中の重心動揺と関節の累積角度を観測し、3 群間の比較検討を行った。課題条件③中の重心動揺を反映する総軌跡長では、若年成人群と高齢者群の間、および若年成人群とリスク高齢者群の間で総軌道長に有意差が認められたが、高齢者群とリスク高齢者群の間には有意差は認められなかった。課題条件③における関節の累積角度は、若年成人群と比較して、高齢者群、リスク高齢者群の足関節、膝関節、股関節累積角度が有意に増加した。特にリスク高齢者群では、高齢者群と比較して股関節累積角度が有意に増加した (図2)。姿勢制御メカニズムでは、姿勢が乱れず、ゆっくりとしたまたは小さな振幅の振動が発生する場合、足関節戦略が使用され、急速なまたは大きな振幅の振動が発生する状況では、股関節戦略が使用されることがわかっている。高齢者では足関節を安定させる筋力が徐々に低下し、立位不安定が強まると体幹や大腿筋の活性化が遅れ、股関節戦略に依存することが報告されている¹²⁾。また、足関節と股関節の混合活性化は、姿勢動揺を増加させる¹³⁾。実行機能が低下した高齢者、リスク高齢者群では、課題条件③で実行機能タスクを実施する際、運動制御を補助するための認知的要求が活性化されず、重心動揺、下肢関節の累積角度の増加として現れていると考えられた。特にリスク高齢者では、立位制御中の股関節累積角度増大が顕著であり、転倒リスクに寄与している可能性が示唆された。

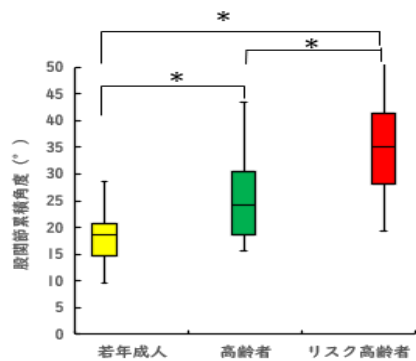


図2 不安定な表面上 + ST課題条件での静止立位の股関節累積角度 *: p < 0.05

(5) 課題条件③では、膝関節累積角度と FRT 値 ($r = -0.450, p < 0.01$) および股関節累積角度と FRT 値 ($r = -0.641, p < 0.01$) の間には負の相関を認め、股関節累積角度とストループ干渉時間 ($r = 0.347, p = 0.008$) の間には正の相関が認められた。FRT 値は転倒リスク指標であり、膝関節、股関節累積角度の増加は、転倒リスクとの関連性を示す可能性がある。また高齢者群、リスク高齢者群では加齢によるストループ干渉時間の増加 (実行機能低下) を示しており、課題条件③の立位制御において、身体的要求と認知的要求の協調が上手く機能しないことが予測される。その結果、立位不安定性を生じ、姿勢保持の中で股関節戦略への依存が生じるため、股関節累積角度の増加の現象として観察されると考えられた。大腿骨近位部骨折、転倒、および筋肉量の減少との関係は、加齢研究で報告されている¹⁴⁾。姿勢制御のための股関節戦略の活性化 (股関節累積角度の増加) は、SMI の減少を伴い、高齢者の転倒リスク指標として使用できる可能性があるが、今後の縦断研究等で検証する必要がある。

<引用文献>

- 1) Costa, K. G. D., Hussey, E. K., Fontes, E. B., Menta, A., Ramsay, J. W., Hancock, C. L., Loverro, K. L., Marfeo, E., & Ward, N. (2021). Effects of cognitive over postural demands on upright standing among young adults. *Perceptual and Motor Skills*, 128(1), 80-95.
- 2) Rizzato, A., Paoli, A., Andretta, M., Vidorin, F., & Marcolin, G. (2021). Are static and dynamic postural balance assessments two sides of the same coin? A cross-sectional study in the older adults. *Frontiers in Physiology*, 12, 681370.
- 3) Yanagisawa, H., Dan, I., Tsuzuki, D., Kato, M., Okamoto, M., Kyutoku, Y., & Soya, H. (2010). Acute moderate exercise elicits increased dorsolateral prefrontal activation and improves cognitive performance with Stroop test. *NeuroImage*, 50(4), 1702-1710.
- 4) Furuse, N., Watanabe, T., & Hoshimiya, N. (2005). Simplified measurement method for lower limb joint angles using piezoelectric gyroscopes. *Transactions of the Japanese Society for Medical and Biological Engineering*, 43(4), 538-543. (in Japanese).
- 5) Zhang, K., Ju, Y., Yang, D., Cao, M., Liang, H., & Leng, J. (2023). Correlation analysis between body composition, serological indices and the risk of falls, and the receiver operating characteristic curve of different indexes for the risk of falls in older individuals. *Frontiers in Medicine*, 10, 1228821.
- 6) Taylor, M. E., Lord, S. R., Delbaere, K., Kurrle, S. E., Mikolaizak, A. S., & Close, J. C. T. (2017). Reaction time and postural sway modify the effect of executive function on risk of falls in older people with Mild to moderate cognitive Impairment. *The American Journal of Geriatric Psychiatry: Official Journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, 25(4), 397-406.
- 7) Liu, R., Zhang, R., Qu, Y., Jin, W., Dong, B., Liu, Y., & Mao, L. (2022). Reliability analysis of inertial sensors for testing static balance of 4-to-5-year-old preschoolers. *Gait & Posture*, 92, 176-180.
- 8) Gouveia, É. R., Ihle, A., Gouveia, B. R., Kliegel, M., Marques, A., & Freitas, D. L. (2020). Muscle mass and muscle strength relationships to balance: The role of age and physical activity. *Journal of Aging and Physical Activity*, 28(2), 262-268.
- 9) Kouzaki, M., & Masani, K. (2012). Postural sway during quiet standing is related to physiological tremor and muscle volume in young and elderly adults. *Gait & Posture*, 35(1), 11-17.
- 10) Šarabon, N., Kozinc, Ž., & Marković, G. (2022). Effects of age, sex and task on postural sway during quiet stance. *Gait & Posture*, 92, 60-64.
- 11) Huxhold, O., Li, S. C., Schmiedek, F., & Lindenberger, U. (2006). Dual-tasking postural control: Aging and the effects of cognitive demand in conjunction with focus of attention. *Brain Research Bulletin*, 69(3), 294-305.
- 12) Lin, S. I., Woollacott, M. H., & Jensen, J. L. (2004). Postural response in older adults with different levels of functional balance capacity. *Aging Clinical and Experimental Research*, 16(5), 369-374.
- 13) Rikkonen, T., Poole, K., Sirola, J., Sund, R., Honkanen, R., & Kröger, H. (2018). Long-term effects of functional impairment on fracture risk and mortality in postmenopausal women. *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation Between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, 29(9), 2111-2120.
- 14) Erinç, S., Bozca, M. A., Bankaoğlu, M., Çakırtürk, S., Yahşi, Y., & Özdemir, H. M. (2020). Association of abductor hip muscle atrophy with fall-related proximal femur fractures in the elderly. *Injury*, 51(7), 1626-1633.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松田憲亮, 村井逸成, 池田拓郎
2. 発表標題 認知課題中における立位姿勢制御の定量的評価に関する研究
3. 学会等名 第9回日本地域理学療法学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------