

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：32419

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K19881

研究課題名（和文）高齢者の片脚立位保持時間はいかにして減少するか？ - メカニカルな機序解明と臨床応用

研究課題名（英文）How Does One-Leg Standing Time Decrease in the Elderly? -Mechanical Mechanism Understanding and Clinical Application

研究代表者

藤野 努 (Fujino, Tsutomu)

人間総合科学大学・保健医療学部・講師

研究者番号：10827827

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、片脚立位の不安定化メカニズムを明らかにすることであった。本研究の結果は以下の3つである。COPの前後方向制御が必ずしも前後方向のみの姿勢動揺制御に寄与しているわけではなく、左右方向の姿勢動揺制御にも影響していることを示していると考えられる。前額面におけるCOP周波数の速波成分が時間経過とともに単調増加することが片脚立位姿勢の維持が困難になることに関連している可能性がある。片脚立位において不安定な局面では筋シナジーの協調性を高めることで姿勢保持を図る間欠的な制御戦略を示すことが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

片脚立位はバランス能力の多寡を簡便に評価でき、転倒リスクを顕在化させる有用な手法である。しかし、片脚立位保持時間が臨床的に重要視されているにもかかわらず、その姿勢保持メカニズムは明らかでなかった。本研究の結果はバランス能力の評価やその改善を目指すテララーメイドなりハビリテーション手法の確立につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify the mechanism of instability in the one-leg standing position. The results of this study were threefold. (1) It is considered that the anteroposterior control of COP does not necessarily contribute to the control of postural sway only in the anteroposterior direction, but also affects the control of postural sway in the mediolateral direction. (2) The monotonous increase of the fast wave component of the COP frequency in the frontal plane with time may be related to the difficulty in maintaining the one-leg standing. The COP frequency in the frontal plane increased monotonically with time, which may be related to the difficulty in maintaining the one-leg standing.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：バランス 片脚立位 運動制御 高齢者

1. 研究開始当初の背景

本邦は高齢化および少子化に伴う人口構成の変化により、医療経済的負担の増大が国家にとって重要な問題となっており、いかに健康を長く維持するかという健康寿命の延伸が重要な社会的課題として認知されている。特に、転倒は高齢者の骨折の主な原因であり、要介護の主要因の一つでもあるため、転倒予防に対する取り組みは近年その重要性を増している。

高齢者の転倒リスクを抽出する代表的な指標の一つとして片脚立位保持時間がある。片脚立位は簡便かつ迅速にバランス能力を評価できる方法であり、この保持時間の減少は立位バランス能力の低下と結びつけられ(Bohannon et al. 1984; Seichi et al. 2014)、転倒や骨折リスクの因子として挙げられている(Vellas et al. 1997; Lundin et al. 2014)。しかし、片脚立位保持時間を測定・評価することはバランス能力の多寡を評価できる一方で、バランス能力の性質を明らかにできないため、転倒予防やバランス能力改善への発展性に乏しい。この問題点の解決のためには、片脚立位におけるバランスメカニズムの時間的変化を詳細に分析することで、姿勢維持が困難になるメカニズムを解明し、高齢者の片脚立位保持時間がいかにして減少するかを明らかにする必要がある。

片脚立位のような姿勢保持課題におけるバランスメカニズムを示す指標として COP 周波数がある。COP の周波数解析によって低周波帯域が視覚制御と連動し、中周波帯域が前庭・体性感覚情報に感受性があり、高周波帯域が固有受容制御及び筋活動を反映することが明らかとなっている(Golomer et al. 1999)。また、片脚立位保持時間減少と、30 秒間の片脚立位保持時における COP 平均周波数の増加との関係性が明らかとなっている(da Silva et al. 2013)。しかし、先行研究で用いられている安定した区間内の解析は、保持時間減少との関係性は記述できるが、時系列的情報を包含していない問題がある。COP 自体は全身運動の結果として変化する指標であり、その変化が具体的にどのような身体運動および筋活動の変化によって生じたかは COP のみの観察からは明らかにできない。臨床応用に向けては、身体運動レベルで生じたいかなる変化が COP の時系列的变化に影響を及ぼすのか？筋活動のレベルにおいても同様にいかなる変化が身体運動を経由し COP に影響を及ぼすのか？という 2 つの疑問を解決する必要がある。高齢者は身体の運動自由度を減少させ、下肢を固めることで難易度の高いバランスタスクに適応しているとされる(Benjuya, Melzer, and Kaplanski 2004; Nelson-Wong et al. 2012)。従来、この運動自由度の減少は COP 周波数の変調と結びつけられ、バランス能力の低下の指標としてみなされてきた(Kurz et al. 2018)。しかし、これらの指標においても同様に時系列的情報を包含していないため、COP の時系列的变化とこれら身体運動レベル・神経筋活動レベルでの自由度の時系列変化が、どのようにして COP の変化に関わっているかを明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究は、片脚立位時間減少のメカニカルな機序解明を行う。従来着目されてこなかった一試行内のバランスメカニズムの時系列変化を調査し、どのようなメカニズムでバランスを失うかを全身の指標である COP から身体運動レベル、神経筋活動レベルまで通貫して明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 両脚立位と片脚立位における足圧中心動揺に対するフラクタル時系列解析

健康成人 8 名を対象とした。課題は開眼での両脚立位および片脚立位保持とした。計測には 2 枚の床反力計 (AMTI 社製: サンプルングレート 1kHz) を用い、安定した 60 秒間のデータを解析対象とした。前後、左右方向の COP は位置および速度情報を算出し、得られた時系列データに対して DFA を実施した。スケーリング指数 (以下) は全領域、短時間領域、長時間領域それぞれで算出した。の値から持続性相関 ($0.5 < < 1.0$) および反持続性相関 ($0 < < 0.5$) を判断した。持続性相関から反持続性相関への転換点 (クロスオーバー) が確認された際にはクロスオーバーが生じた時間領域を算出した。各指標の比較比較に対応のある t 検定を実施し、有意水準は 5% 未満とした。

(2) 片脚立位における COP の時系列的周波数変化

対象は健康成人 8 名とした。立位課題は片脚立位とし、安定して 60 秒以上片脚立位を保てた課題を解析に採用した。計測には 2 枚の床反力計 (AMTI 社製: サンプルングレート 1kHz) を用い、計測したデータより COP 位置情報 (前後: COP_AP, 左右: COP_ML) を算出した。片脚立位開始前から 60 秒間の片脚立位保持までの連続した COP データに対して連続 Wavelet 変換を用いた周波数解析を行った。得られたデータは COP 位置情報の平均位置から標準偏差の 3 倍を超えた時点を基準として、両脚支持期 (DLS), 移行期 (Trans), 片脚立位期 (OLS) に相分けをした。それぞれの相において平均周波数 (MPF) およびその時間的な傾向 (MPF_TL) を線形回帰を用いて算出した。MPF の相間比較に反復測定分散分析を行い、事後検定として Bonferroni の補正を使用した paired t-test を実施した。また、MPF_TL の COP 方向間の比較に paired t-test を実施し、各検定とも有意水準は 5% 未満とした。

(3) 片脚立位の安定期・不安定期における COP 制御に対する筋協調性の相違

対象は健常成人男性 7 名とし、課題は 60 秒間の片脚立位保持とした。計測には無線筋電図計と床反力計を用いた。対象筋は両側の脊柱起立筋、大殿筋、中殿筋、大内転筋、大腿直筋、外側広筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、長腓骨筋、腓腹筋外側頭、ヒラメ筋の計 12 筋とした。床反力データに基づいて安定期 (well-balanced: WB)・不安定期 (unbalanced: UB) に分割し (図 1A), 各期の筋活動データに対して非負値行列因子分解を実施し筋シナジーの同定を行った (図 1B), 各筋シナジーの活性度を説明変数, CoP の変位 (前方, 後方, 内側, 外側) を目的変数とした多重線形回帰を行い, CoP 変位に対する筋シナジーの協調性を明らかにするために CoP 変位を被制御変数, 多重線形回帰の各係数を制御変数とした Uncontrolled manifold (UCM) 解析を実施した。UB と WB における UCM 解析の各指標 (V , $VUCM$, $VORT$) に対して対応のある t 検定を実施した ($p < 0.05$)

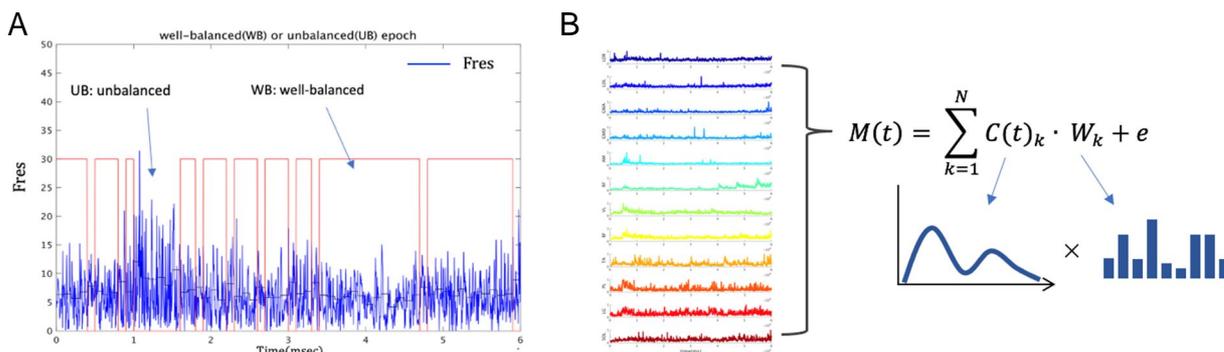


図 1 安定期 不安定期の分割と筋シナジー

4. 研究成果

(1) 両脚立位と片脚立位における足圧中心動揺に対するフラクタル時系列解析

クロスオーバーは速度データにおいてのみ確認された。左右方向の COP データにおいて、全ての指標で両脚立位と片脚立位間に有意な差を認めなかった。一方で、前後方向の COP においては、位置データにおける全時間領域 (両脚: 1.24 ± 0.12 vs 片脚: 0.97 ± 0.08), 長時間領域 (両脚: 1.06 ± 0.15 vs 片脚: 0.86 ± 0.10), 速度データにおける全時間領域 (両脚: 0.47 ± 0.09 vs 片脚: 0.32 ± 0.04), 短時間領域 (両脚: 0.92 ± 0.19 vs 片脚: 1.28 ± 0.04), 長時間領域 (両脚: 0.31 ± 0.08 vs 片脚: 0.20 ± 0.03), クロスオーバー (両脚: 30.6 ± 14.6 vs 片脚: 16.0 ± 4.5) において有意な差を認めた。

片脚立位は、支持基底面が狭いため左右方向の COP 調節が重要であると考えられてきた。しかし、本研究の結果からは、左右方向の全ての指標において片脚立位特異的な変化を認めず、前後方向にのみ課題間の相違が確認された。このことから、両脚立位と比較した片脚立位保持時の COP 制御は前後方向において長期相関を有した制御を行っている可能性が示された。つまり、COP の前後方向制御が必ずしも前後方向のみの姿勢動揺制御に寄与しているわけではなく、左右方向の姿勢動揺制御にも影響していることを示していると考えられる。

(2) 片脚立位における COP の時系列的周波数変化

MPF は COP_AP, COP_ML とともに OLS > Trans > DLS という傾向性を示した。対比較では COP_ML では全て有意差を認め、COP_AP では Trans と OLS 間の比較にのみ有意差を認めなかった

($p = 0.06$)。MPF_TL は全ての相において有意差を認め、DLS: COP_ML > COP_AP, Trans: COP_AP > COP_ML, OLS: COP_ML > COP_AP であった (図 2)。

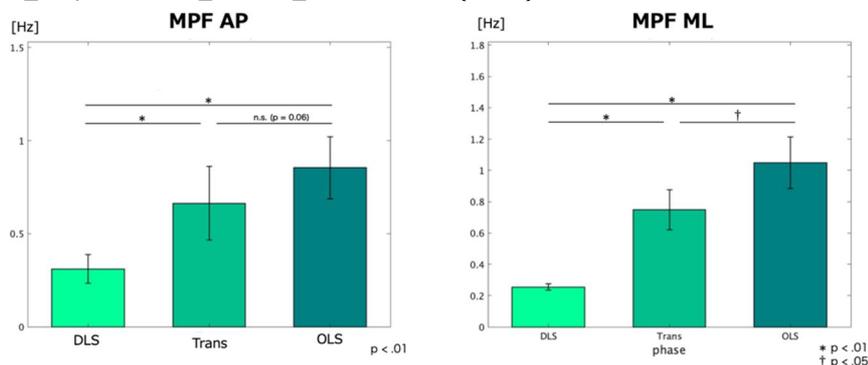


図 2 MPF の各相ごとの比較

DLS と OLS において COP_AP ではほぼ平坦な傾向であったが，COP_ML では単調増加する傾向を示した（図3）。

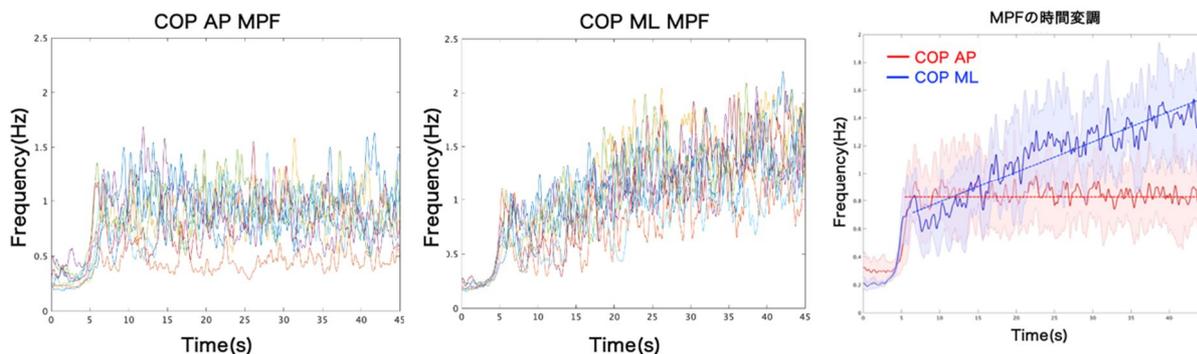


図3 MPF の時系列変化

MPF の相間の相違は物理的に不安定な状態で生じる大きな COP 動揺が，より周波数帯域の高いものの寄与によって構成されていることを示している．体節の運動学的協調性における同位相モードは 1 Hz 以下，逆位相モードは 1 Hz 以上であるとされていることから，片脚立位においては体節運動の逆位相性を強めて姿勢を制御していると考えられる．また，DLS における MPF_TL が COM_ML にのみ増加を示していたことから，前額面における COP 周波数の速波成分が時間経過とともに単調増加することが片脚立位姿勢の維持が困難になることに関連している可能性がある．

(3) 片脚立位の安定期・不安定期における COP 制御に対する筋協調性の相違

CoP 前方変位時の ΔV および VUCM において WB と比較して UB が有意に高値であった[ΔV , WB: -0.06 ± 0.05 vs UB: 0.17 ± 0.18 ($p = 0.029$), VUCM, WB: 0.03 ± 0.01 vs UB: 0.04 ± 0.01 ($p = 0.022$)]．他方向の変位時は WB, UB 間で有意な差を認めなかった．また， ΔV が 0 以上をとる（協調性を有する）のは CoP 前後変位時の UB のみであった[UB-前方: 0.17 ± 0.18 , UB-後方: 0.18 ± 0.37]（図4）。

UB に CoP が前方変位する際に筋協調性を高めたことは，片脚立位において不安定な局面では筋シナジーの協調性を高めることで姿勢保持を図る間欠的な制御戦略を示すと考えられた．一方で，前方以外の CoP 変位では WB と UB に差を認めなかった．この点に関しては 不安定期では前方変位時のみ筋協調性を高める戦略をとることで対応している，他の方向の CoP 変位に対しては今回計測した筋以外の筋を含んだ協調性戦略を有しているという 2 つの仮説が考えられた．

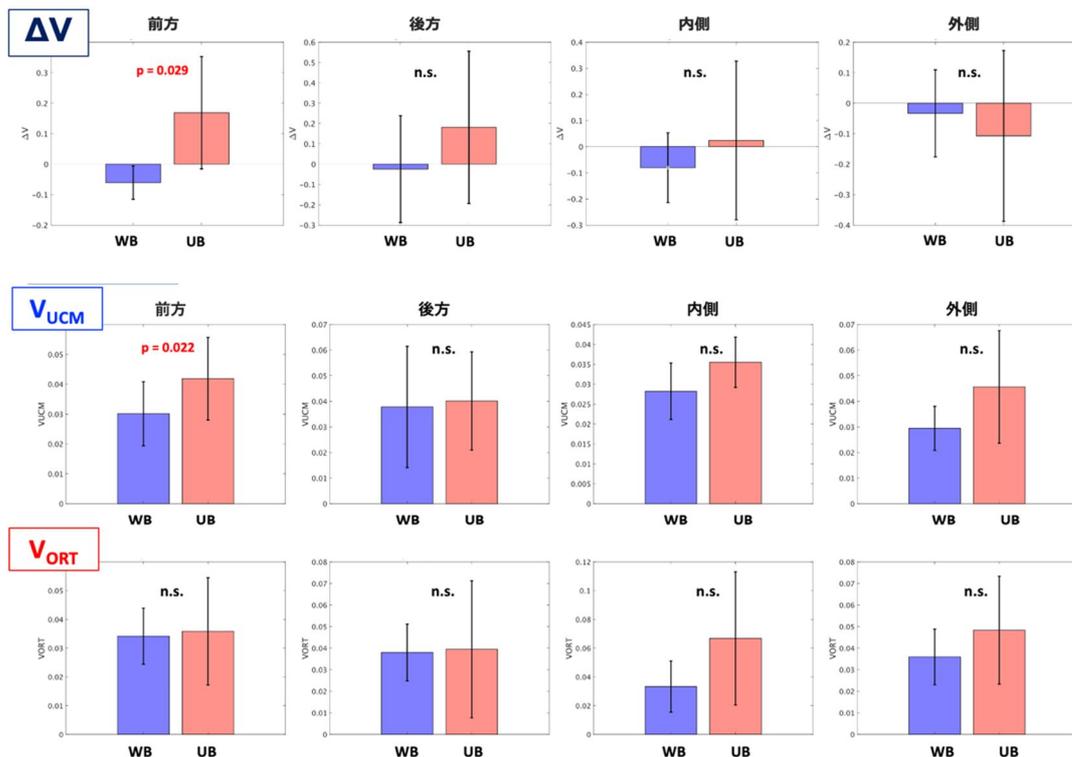


図4 各協調性指標の結果

<引用文献>

- Benjuya, Nisim, Itshak Melzer, and Jacob Kaplanski. 2004. "Aging-Induced Shifts from a Reliance on Sensory Input to Muscle Cocontraction during Balanced Standing." *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 59 (2): 166-71.
- Bohannon, R. W., P. A. Larkin, A. C. Cook, J. Gear, and J. Singer. 1984. "Decrease in Timed Balance Test Scores with Aging." *Physical Therapy* 64 (7): 1067-70.
- Golomer, E., P. Dupui, P. Séréni, and H. Monod. 1999. "The Contribution of Vision in Dynamic Spontaneous Sways of Male Classical Dancers According to Student or Professional Level." *Journal of Physiology, Paris* 93 (3): 233-37.
- Kurz, Eduard, Oliver Faude, Ralf Roth, Lukas Zahner, and Lars Donath. 2018. "Ankle Muscle Activity Modulation during Single-Leg Stance Differs between Children, Young Adults and Seniors." *European Journal of Applied Physiology* 118 (2): 239-47.
- Lundin, H., M. Sääf, L-E Strender, S. Nyren, S-E Johansson, and H. Salminen. 2014. "One-Leg Standing Time and Hip-Fracture Prediction." *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 25 (4): 1305-11.
- Nelson-Wong, Erika, Ryan Appell, Mike McKay, Hannah Nawaz, Joanna Roth, Robert Sigler, Jacqueline Third, and Mark Walker. 2012. "Increased Fall Risk Is Associated with Elevated Co-Contraction about the Ankle during Static Balance Challenges in Older Adults." *European Journal of Applied Physiology* 112 (4): 1379-89.
- Seichi, Atsushi, Yuichi Hoshino, Tokuhide Doi, Masami Akai, Yoshiko Tobimatsu, Kiyoshi Kita, and Tsutomu Iwaya. 2014. "Determination of the Optimal Cutoff Time to Use When Screening Elderly People for Locomotive Syndrome Using the One-Leg Standing Test (with Eyes Open)." *Journal of Orthopaedic Science: Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association* 19 (4): 620-26.
- Silva, Rubens A. da, Martin Bilodeau, Rodolfo B. Parreira, Denilson C. Teixeira, and César F. Amorim. 2013. "Age-Related Differences in Time-Limit Performance and Force Platform-Based Balance Measures during One-Leg Stance." *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 23 (3): 634-39.
- Vellas, B. J., S. J. Wayne, L. Romero, R. N. Baumgartner, L. Z. Rubenstein, and P. J. Garry. 1997. "One-Leg Balance Is an Important Predictor of Injurious Falls in Older Persons." *Journal of the American Geriatrics Society* 45 (6): 735-38.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 藤野努, 埜大樹, 園尾萌香, 久保田圭祐, 平田恵介, 宮澤拓, 金村尚彦
2. 発表標題 片脚立位におけるCOPの 時系列的周波数変化
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤野努, 園尾萌香, 久保田圭祐, 平田恵介, 埜大樹, 小林章, 国分貴徳, 金村尚彦
2. 発表標題 両脚立位と片脚立位における足圧中心動揺に対するフラクタル時系列解析
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤野努, 園尾萌香, 久保田圭祐, 平田恵介, 埜大樹, 小林章, 国分貴徳, 金村尚彦
2. 発表標題 片脚立位開始初期のCOP周波数解析による保持時間予測の試み
3. 学会等名 第38回関東甲信越ブロック理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤野努, 埜大樹, 園尾萌香, 久保田圭祐, 平田恵介, 宮澤拓, 金村尚彦
2. 発表標題 Fractal analysis of the center of pressure during multiple standing tasks
3. 学会等名 XXIII International Society of Electrophysiology and Kinesiology (ISEK) Congress 2020 (Virtual)
4. 発表年 2020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
---------	---------