

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：34533

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26750344

研究課題名(和文)高齢者の筋の同時活動戦略に着目した効率的姿勢制御機構の解明

研究課題名(英文)Theoretical prediction of the role of co-contraction during balance recovery in elderly

研究代表者

永井 宏達 (NAGAI, Koutatsu)

兵庫医療大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号：00633348

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、外乱応答に着目し、順動力学シミュレーションモデルを用いて、同時収縮の役割を明らかにすることである。方法は実際に外乱刺激の動作を高齢者において測定し、そのデータを元にシミュレーションモデルを作成した。作成されたモデルを用いて姿勢反応を分析した。結果、外乱刺激前に同時収縮を増大させると、外乱後の動揺速度が減少した。よって、同時収縮の増大は、外乱に対する有効な姿勢戦略と思われる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to determine the effect of muscle co-contraction on balance recovery by using a simulation model. The muscle-driven forward simulation model included an inverted pendulum with two ankle muscles, a plantar flexor muscle (PF), and a dorsal flexor muscle (DF). The model was created based on experimental data obtained from balance recovery after applying backward platform translation to a standing elderly woman. Baseline simulation was performed using this model. We performed two simulations with increased DF excitation at the same level of simulation and at the same pattern of simulation. Our results revealed that the same pattern simulation decreased the maximum dorsal flexion angle after platform translation. During the same level of simulation, the insufficient PF force used to recover balance resulted in a forward fall. These results imply that co-contraction is an effective strategy for recovering balance at the expense of additional muscle excitation in the elderly.

研究分野：運動制御

キーワード：同時収縮 外乱 高齢者 姿勢

### 1. 研究開始当初の背景

姿勢制御時において主動筋と拮抗筋が同時に活動する同時収縮は、加齢とともに増大することが近年の研究で明らかになってきている。この同時収縮の増大は、外乱に対応する姿勢制御戦略の一つであると考えられている。拮抗筋が引き合い同時収縮を生じている状況では、関節が動くとき一方の筋は伸張され拮抗する筋は短縮する。筋の長さ - 張力・速度 - 張力の関係性より、筋は伸張されると、強い張力を発揮しやすい特性を持つため、伸張された筋の張力は増加し、短縮した筋の張力は低下する。結果として関節が動かされた方向と逆向きに力を発揮して外乱に抗する機能を持つ。このようなメカニズムは知られているものの、外乱刺激後の立位姿勢制御反応は反応時間など様々な要素に影響を受けるため、同時収縮単独の影響を測定することは難しいという問題があった。これらを解決するためには、実際に被験者を測定するだけでなく、その結果に基づいたシミュレーションモデルを構築し、分析する必要があった。

### 2. 研究の目的

本研究では筋の長さ - 張力、速度 - 張力の関係性を考慮した順動力学シミュレーションモデルを用いて、外乱応答における同時収縮の役割を検討することで、効率的な姿勢制御戦略とはどのようなものかを解明することを目的とした。

### 3. 研究の方法

研究は外乱刺激の動作測定を始めに行い、このデータを元に被験者のモデルを作成して、外乱刺激後の姿勢制御反応をシミュレーションにより解析した。対象者は 65 歳女性 1 名として大転子および外果に反射マーカーを張り付け、安静立位の状態から床面が前方に速度 15cm/秒、移動距離 6cm で動いた際の垂直軸に対する大転子 - 外果を結んだ線の角度および前脛骨筋とヒラメ筋の筋電図を測定した (Trentadue, OT Bioelettronica 社)。

シミュレーション解析の立位モデルは足関節が底背屈する 1 リンクの倒立振り子モデルを想定し、倒立振り子の先端部分に身体重心が位置するとした。筋の長さ - 張力、速度 - 張力の関係を考慮した背屈筋と底屈筋の 2 筋を足関節に作成した。筋モデルの起始停止、至適筋長、腱の長さは先行研究で用いられているモデルデータを用い、背屈筋は前脛骨筋、底屈筋はヒラメ筋のデータを用いた。また最大筋力に関して、背屈筋は前脛骨筋、長母指伸筋、長趾伸筋の合計値、底屈筋はヒラメ筋、腓腹筋の合計値を用いた。外乱刺激前の安静立位における足関節角度は動作測定データから求め、背屈 4.35° とした。

安静立位時の同時収縮に三条件を設定し、背屈筋群が活動しない 0% 条件、背屈筋群が

20%、40% 活動する条件とした。なお活動量は最大筋力で正規化した。底屈筋は安静立位を保持する活動量として、同時収縮をモデル化した (図 1)。

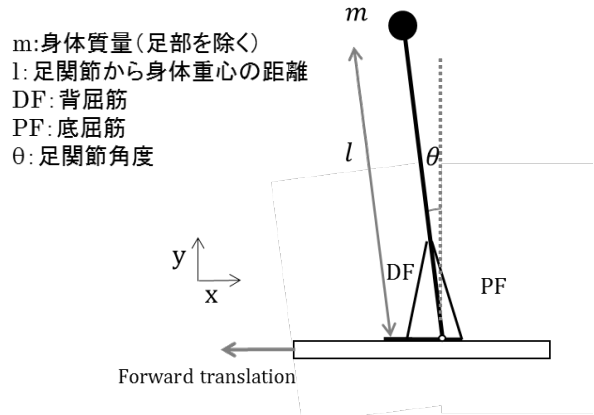


図 1 : シミュレーションモデルの概要図

次に、床面を動作測定時と同様の条件で前方へ動かして、体が後方へ倒れる状況をシミュレーションモデルにより解析した。外乱に対する筋活動反応時間 140msec までは安静立位と同様の筋活動量、140msec 以降は外乱に応じた筋活動が生じるとした。外乱に応じた筋活動は神経刺激 - 筋活動の遅延を考慮して角度、角速度、角加速度から一次微分方程式を用いて求めた。同時収縮の条件を変化させた際の動作変化および筋活動量変化をシミュレーションにて検討し、同時収縮が外乱刺激後の姿勢制御に与える影響を検討した。なお、安静立位の背屈角度と最大底屈角度の差を動揺角度とした。

### 4. 研究成果

本研究により得られた結果を図 2 ~ 図 5 に示す。外乱刺激前に背屈筋動量を増加させて同時収縮を高めると、小さくゆっくりとした動揺に変化した。動揺角度は 0% 条件で 1.79°、20% 条件で 1.73°、40% 条件で 1.62° で同時収縮を高めることで動揺は小さくなった。また、外乱刺激前の足関節角度まで戻る時間は 0% 条件で 0.67 秒、20% 条件で 0.70 秒、40% 条件で 0.74 秒と同時収縮が高まるにつれて時間が延長した。

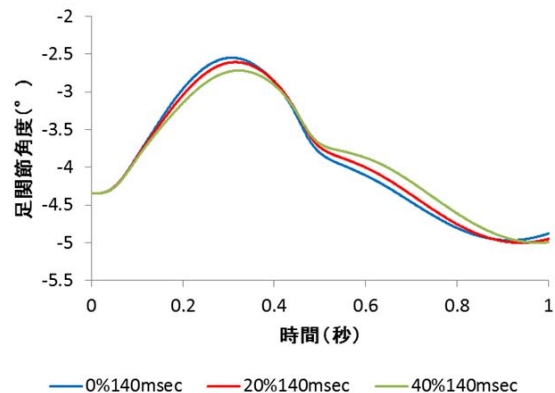


図 2 : 筋の反応時間 140ms 条件

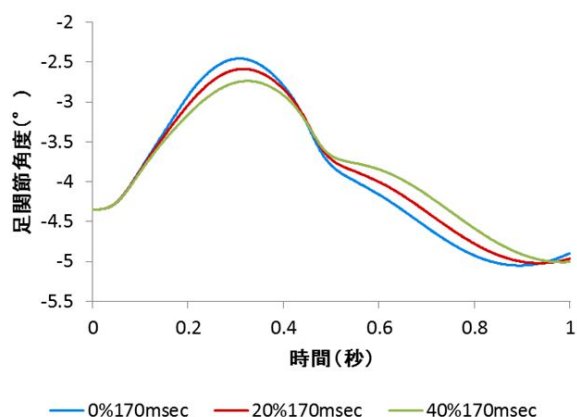


図3：筋の反応時間 170ms 条件

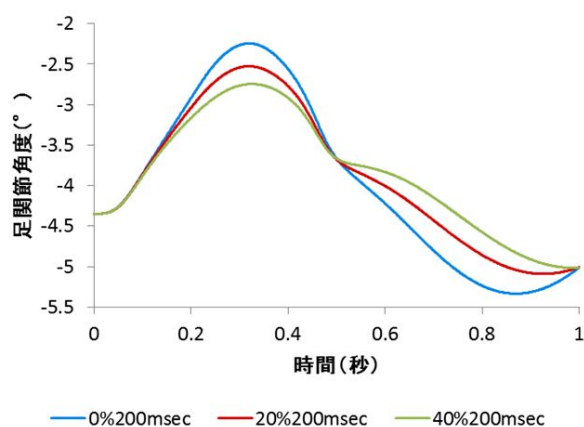


図4：筋の反応時間 200ms 条件

さらに、外乱刺激後 0.25 秒～0.4 秒までの最大背屈筋活動量は 0% 条件で 28.0%、20% 条件で 26.3%、40% 条件で 22.5% であり、外乱刺激前の同時収縮が強いほど、低い筋活動で外乱に対応できることがわかった(図5)。

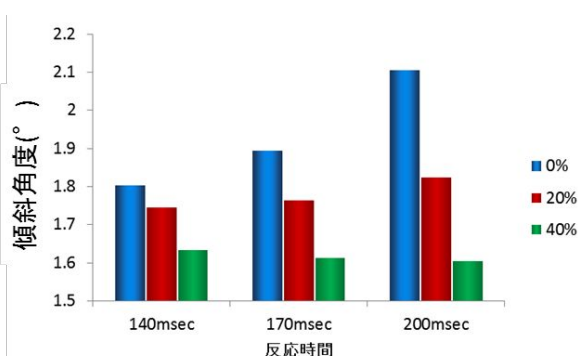


図5：同時収縮の違いによる下腿の傾斜角度の変化

本研究の結果より、同時収縮を高めると外乱刺激後の筋活動量が低くても、小さくかつゆっくりとした動揺になることが明らかとなった。このことより、同時収縮は外乱刺激後の動揺量を小さくする有効な戦略の一つであると思われる。

本研究は足関節のみを持つ 1 関節モデル

のため、ヒトの動作を反映できていない要素は多い。しかし同時収縮と姿勢制御の関係性を明確にした初めての研究であり、同時収縮の機能的役割を明らかにする結果である。今後、高齢者に対してバランス能力を向上させるためのトレーニングプログラムを開発するにあたり、重要な知見になる結果を得ることができたと考える。

#### <引用文献>

Nagai K, Yamada M, Uemura K, Yamada Y, Ichihashi N, Tsuboyama T, Differences in muscle coactivation during postural control between healthy older and young adults, Arch Gerontol Geriatr, 53 巻、2011、338-343  
 Nagai K, Yamada M, Tanaka B, Uemura K, Mori S, Aoyama T, Ichihashi N, Tsuboyama T, Effects of balance training on muscle coactivation during postural control in older adults: a randomized controlled trial, J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 67 巻、2012、882-889  
 Nagai K, Yamada M, Mori S, Tanaka B, Uemura K, Aoyama T, Ichihashi N, Tsuboyama T, Effect of the muscle coactivation during quiet standing on dynamic postural control in older adults, Arch Gerontol Geriatr, 2013、129-133

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)  
 Nagai K, Okita Y, Ogaya S, Tsuboyama T, Effect of higher muscle coactivation on standing postural response to perturbation in older adults, Aging Clin Exp Res, 査読有、Epub ahead of print, 2016、DOI: 10.1007/s40520-016-0554-1

#### 〔学会発表〕(計 3 件)

Nagai K, Okita Y, Ogaya S, Tsuboyama T, Effect of muscle atrophy on standing postural response to perturbation in older adults, The 2015 World Congress of the International Society for Posture and Gait Research, 2015 年 6 月 28 日～7 月 2 日、Seville, Spain  
 小栢進也、永井宏達、沖田佑介、岩田晃、樋口由美、淵岡聡、筋骨格シミュレーションによる姿勢制御の解析 前頸骨筋による股関節屈曲作用、第 50 回日本理学療法学会大会、2015 年 6 月 5 日～7 日、東京国際フォーラム(東京都千代田区)  
 Nagai K, Okita Y, Ogaya S, Tsuboyama T, Effect of higher muscle coactivation on standing postural response to perturbation in older adults, The 2014 World Congress of the International Society for Posture and Gait Research,

2014年7月2日、Vancouver、Canada

6. 研究組織

(1) 研究代表者

永井 宏達 (NAGAI、Koutatsu)  
兵庫医療大学・リハビリテーション学部・  
講師  
研究者番号：00633348

(2) 研究協力者

小栢 進也 (OGAYA、Shinya)  
大阪府立大学・大学院総合リハビリテーシ  
ョン学研究科・助教  
研究者番号：90611426

坪山 直生 (TSUBOYAMA、Tadao)  
京都大学・大学院医学研究科・教授  
研究者番号：90261221