

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：32647

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K10703

研究課題名（和文）加齢による姿勢戦略の変容を改善させる効果的な姿勢学習トレーニングの開発

研究課題名（英文）Development of effective posture learning training to improve the transformation of posture strategy due to aging

研究代表者

齊藤 展士（Saito, Hiroshi）

東京家政大学・健康科学部・教授

研究者番号：60301917

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）：我々は、高齢者におけるバランス能力改善を効率的に達成するためのトレーニング方法の開発を目指し、健常若年者と健常高齢者を対象として立位における急速運動停止課題、足関節底背屈調節課題、足趾課題を行い、バランス能力への加齢の影響と加齢に関連するバランス要素を調べた。研究の結果、バランス能力改善に欠かせない要素として前脛骨筋と下腿三頭筋の筋出力調整能力、同時収縮と相反性収縮の切り替え能力、足趾やそれに関わる筋の動きがあり、それらは加齢の影響を受けやすいことを明らかにした。それらの能力を改善するためのトレーニングに体性感覚系入力が必要だと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の総人口に占める高齢者の割合は約30%と過去最高を記録し、急速に高齢化が進んでいる。加齢は身体機能や認知機能の低下を引き起こし、転倒・骨折・寝たきりを助長する。本研究によりこれまで知られていなかった高齢者の転倒を効果的に予防するためのトレーニング方法の考案に寄与する知見を得た。加齢により低下した下腿の筋の動きを時間空間的要素において改善することで高齢者のバランス能力を向上できることが示唆され、転倒や寝たきりを予防できる。これは、医療費等の社会保障への貢献にもつながる。

研究成果の概要（英文）：To develop training methods to efficiently achieve improvement in balance ability in the elderly, we investigated balance ability on a rapid motor control task, an adjusting ankle movement task, and a toe task during standing. As a result, we found that the indispensable factors for improvement in balance ability are the ability to adjust muscle activities of tibialis anterior and gastrocnemius, the ability to switch between co-contraction and reciprocal contraction, and the functions of the toes to maintain a standing posture. Furthermore, we revealed these abilities are susceptible to aging.

研究分野：リハビリテーション分野

キーワード：姿勢学習 筋活動 高齢者

1. 研究開始当初の背景

我が国の総人口に占める高齢者の割合は 27.3%と過去最高を記録し、急速に高齢化が進んでいる(総務省統計局)。加齢は身体機能や認知機能の低下を引き起こし、転倒・骨折・寝たきりを助長する(Murphy et al., 1982)。そのため、高齢者の転倒を効果的に予防することは極めて重要な課題である。

我々は上肢運動と姿勢学習が日常生活の向上や転倒予防に寄与すると考えていたが、そのメカニズムは不明なまま残されていた。我々は上肢運動に影響を及ぼす姿勢学習メカニズムを調べ、上肢運動の向上に關与する姿勢学習の因子として、足関節背屈運動とそれに関わる前脛骨筋の筋活動(活動持続時間と活動量)が特に重要であることを発見した(Saito et al., 2011, 2014)。しかしながら、これらの発見は若年者における結果であり、高齢者は明らかに異なる姿勢学習メカニズムを持つことをその後の研究により発見した。つまり、高齢者における足関節背屈運動の改善は小さく、股関節屈曲運動が顕著に改善する。更に興味深かったのは、高齢者が数日、上肢運動課題を繰り返すと足関節背屈運動にも改善傾向が認められ、若年者によく似た姿勢学習が起こったことである。

一般的に加齢により足関節戦略が減弱し股関節戦略へシフトする。これとは逆に、我々が得た知見は、たとえ高齢であっても適切な姿勢学習の機会を得れば、足関節戦略による姿勢調節を再獲得できるのではないか、という期待を含む疑問を投げかけた。その疑問を解決することで、我が国の重要な課題の一つである高齢者の転倒予防に寄与できると信じ、本研究課題を始めた。

2. 研究の目的

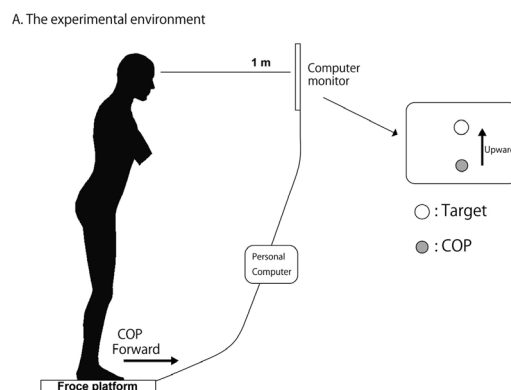
足関節戦略は姿勢の微細な調節を、股関節戦略は粗大な調節を担っており、若年者は主に足関節戦略を用いるが、高齢者は股関節戦略を用いることが多いとされている。本研究課題の目的は、加齢により減弱した足関節戦略を若年者のレベルにまで改善できる効率的な姿勢学習トレーニングの方法を開発することである。これにより、高齢者の姿勢学習メカニズムの理解も期待できる。バランス能力の向上のために身体機能の改善を図る研究は数多く存在するが、本研究課題のように姿勢学習トレーニングにより姿勢戦略の改善を目指した研究はなく、新たな観点を取り入れたアンチエイジング的な要素を含む研究である。そのため、効率的なトレーニング方法が確立できれば、高齢者の転倒予防に期待が持てる。また、姿勢学習には小脳や運動野が大きな役割を果たすと考えられるので中枢神経疾患患者への臨床応用も芽生える可能性がある。若年者と高齢者を対象に外乱を用いて姿勢学習トレーニングを繰り返し行わせ、高齢者において姿勢学習が効率的に起こる刺激方法を確立することを目指す。また、若年者とは異なる高齢者の姿勢学習メカニズムの詳細な特徴を明らかにし、臨床応用へ結びつけることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 急速運動停止課題

高齢者の場合、ステップの開始や停止に必要な運動制御は非常に複雑であり、転倒は、運動中に急に運動を完全に停止するとき頻繁に発生する。この課題における目的は、姿勢制御における開始と停止のための運動戦略に加齢が影響しているかどうかを調べることにある。

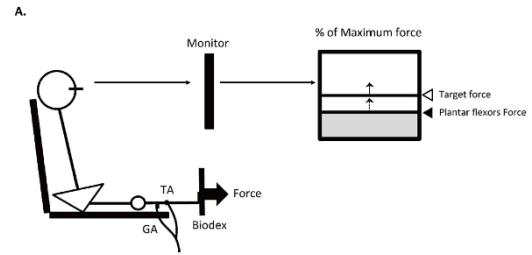
25名の健常高齢者(65歳以上)と25名の健常若年者(20-23歳)を対象とした。床反力計の上で自然立位を保ち、眼前に設置されたモニターに映し出された動く視標にできるだけ素早く足圧中心



(COP) を一致させる課題を行わせた。運動開始と停止の能力を評価するために COP の速度波形、応答時間、推進力、停止力、および総運動時間を測定した。

(2) 足関節底背屈課題

高齢者の転倒は、通常、つまずきや滑りのような予測できない状況で発生する。転倒により大きな傷害を負わないために、転倒前後の筋力を微調整して姿勢を制御する必要がある。しかしながら、予測できない状況における高齢者の力制御に関する詳細は不明である。特に、バランスに寄与する前脛骨筋と下腿三頭筋における加齢の影響は調べられていない。



健康高齢者のバランス能力の改善を目的に前方のモニターに表示された動く視標に足圧中心 (COP) を一致させる実験を行った。姿勢制御における開始と停止のための戦略に加齢が影響しているかどうかを姿勢筋として知られる前脛骨筋と下腿三頭筋の応答により調べた。

10名の健康高齢者(67~76歳)と8名の健康若年者(20~23歳)が、足関節底背屈を伴う3つの視標追跡課題を行った。低振幅課題(LR)、高振幅課題(HR)、およびランダム強制課題(PR)の3つとした。力制御能力を足関節底屈力と視標との二乗平均平方根誤差(力視標乖離指数 RMSE)を使用して評価した。腓腹筋外側頭と前脛骨筋からの筋活動を表面筋電図を使用して測定し、同時収縮指数(CCI)も計算した。

(3) 足趾課題

転倒の原因として立位バランス、筋力、感覚機能、認知機能の低下が挙げられる。転倒を防ぐため、本研究ではバランスに着目し、足趾が予測的姿勢制御に関与する可能性について調べた。

13名(21~22歳)の健康若年者は床反力計の上に立ち、両肩関節90°位から錘を落とす課題を行った。3次元動作解析装置Viconを用いて関節角度と身体動揺を測定した。予測的な足圧中心の移動を計測するためにForceplateを用いた。また、予測的な筋活動を計測するためにワイヤレス筋電計を用いた。足趾課題は足趾を床につかせるか、浮かせるかの4条件で行った。



4. 研究成果

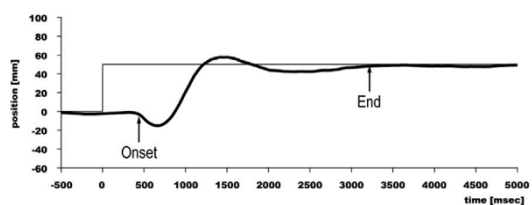
(1) 急速運動停止課題

若年者と比べ高齢者の応答時間と移動時間の両方が有意に長く ($p < 0.05$)、運動開始および停止の両方の制御に時間を要する。初期の後方推進時間に関してグループ間に有意差はなかった。後方ブレーキと前方推進時間、後方ブレーキに関するすべての時間は、若年者よりも高齢者が延長した ($p < 0.05$)。

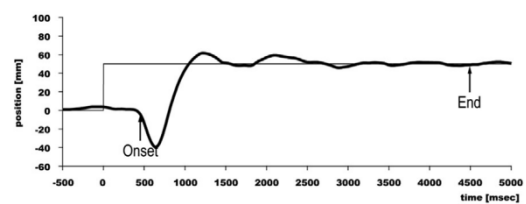
高齢者の運動で起こる一連の時間制御の低下は、運動開始の遅延だけにとどまらず、停止の遅延によるものも示された。さらに、この課題における結果は、若年者に比べて高齢者の運動推進力は低下し、加えてブレーキ力も低下することを示唆している。

このように、高齢者の運動開始や停止の時間的要素や力の低下がバランスに影響を与えるこ

A. Younger



B. Older



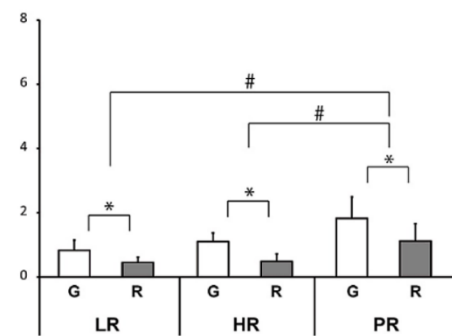
とが示唆された。高齢者の能力の把握やその示唆から考えられる能力低下予防のために、今後、立位姿勢の動揺に関与する筋の機能を向上させる方法を検討すべきである。

(2) 足関節底背屈課題

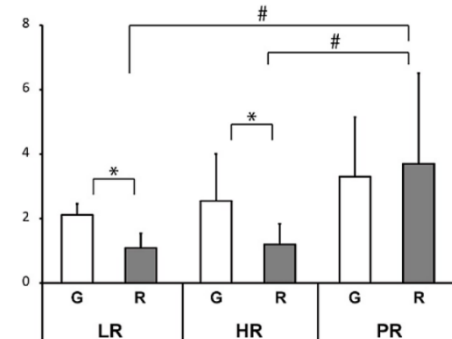
すべての課題において、高齢者の力視標乖離指数 RMSE と同時収縮指数 CCI は、若年者よりも有意に大きい値を示した ($p < 0.05$)。ランダム強制課題を除き、力を抜いて視標に一致させる課題における RMSE は高齢者が若年者よりも大幅に大きかった ($p < 0.05$)。また、そのときの CCI の値は、力を入れて視標に一致させる課題における値よりもすべての課題で一貫して大きかった ($p < 0.05$)。また、これらの値はバランス評価でよく知られた機能的到達テストの値と有意な負の相関を持った ($p < 0.05$)。

これらのことは、高齢者は若年者に比べ有意にバランスに関わる筋の働きが変化していることを示している。主動作筋と拮抗筋の活動比で観察した同時収縮指数は高齢者で有意に大きく、相反的な筋収縮パターンの検出が不明確であることを示唆している。これらの応答は、高齢者が運動停止の前に拮抗筋が活動することでバランスを保持する戦略をとること、予測できない状況で特に顕著であることを示唆している。また、高齢者の姿勢戦略の変化は姿勢筋の活性化だけでなく抑制にも関連しているかもしれない。

A. RMSE in Young group



B. RMSE in Older group

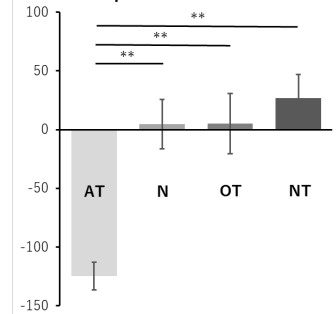


(3) 足趾課題

足趾の条件により、腓腹筋と大腿二頭筋の筋活動抑制の減少が認められた ($p < 0.05$)。また、足趾が1本でも浮いていると足圧中心後方移動開始時間は延長した ($p < 0.05$)。

これらの結果は、足趾は予測的姿勢制御に関与する可能性があることを示唆している。また、足趾トレーニングをすれば予測的な姿勢の制御が改善し、バランス機能向上を見込め、転倒予防に繋がるかもしれない。

A. COP displacement



(4) 成果のまとめ

このように、バランスに関する3つの研究課題を通し、高齢者の姿勢制御能力の現状を把握した。バランス能力の向上を目的としたトレーニングに欠かせないものは、加齢により変化した前脛骨筋や下腿三頭筋の筋出力制御である。加えて、足趾やそれに関わる筋の影響も考えられるため、より効率的なバランストレーニングを模索する場合、筋の活動と抑制のタイミング的(時間的)要素を取り入れるべきである。

立位バランスを保持するには、筋緊張の微小な変化を生むことが重要とも報告されていることから、今後、筋への振動刺激により筋緊張を変化させ、バランスへの体性感覚の関与を調べる必要もある。特に高齢者や中枢神経疾患患者では体性感覚が低下することからバランス能力改善の新たな方法に繋がる可能性に期待する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Shunsuke Ebisu, Satoshi Kasahara, Hiroshi Saito, Tomoya Ishida	4. 巻 158
2. 論文標題 Decrease in force control among older adults under unpredictable conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Experimental Gerontology	6. 最初と最後の頁 111649
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.exger.2021.111649	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 猪股美沙紀, 桑原亜海, 石崎裕佳, 齊藤展士, 平田恵介	4. 巻 29
2. 論文標題 片脚着地動作における着地環境の違いが膝関節と体幹運動に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 理学療法 - 臨床・研究・教育	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11350/ptcse.29.21	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Satoshi Kasahara, Hiroshi Saito	4. 巻 78
2. 論文標題 Mechanisms of postural control in older adults based on surface electromyography data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 102803
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.humov.2021.102803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kasahara Satoshi, Saito Hiroshi	4. 巻 64
2. 論文標題 The effect of aging on termination of voluntary movement while standing: A study on community-dwelling older adults	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 347 ~ 354
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.humov.2019.03.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Okunuki Takumi, Koshino Yuta, Yamanaka Masanori, Tsutsumi Kaori, Igarashi Masato, Samukawa Mina, Saitoh Hiroshi, Tohyama Harukazu	4. 巻 37
2. 論文標題 Forefoot and hindfoot kinematics in subjects with medial tibial stress syndrome during walking and running	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Research	6. 最初と最後の頁 927-932
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jor.24223	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 笠原 敏史, 小松 夏来, 齊藤 展士, 遠藤 沙紀	4. 巻 33
2. 論文標題 高齢者の立位での運動停止の特徴	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 523-527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1589/rika.33.523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoya Ishida, Yuta Koshino, Masanori Yamanaka, Ryo Ueno, Shohei Taniguchi, Mina Samukawa, Hiroshi Saito, Hisashi Matsumoto, Yoshimitsu Aoki, Harukazu Tohyama	4. 巻 19
2. 論文標題 The effects of a subsequent jump on the knee abduction angle during the early landing phase	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BMC Musculoskeletal Disorders	6. 最初と最後の頁 379
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12891-018-2291-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Hiroshi Saito, Satoshi Kasahara, Hiroshi Goto
2. 発表標題 Changes in postural components during whole-body reaching training
3. 学会等名 14th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hiroshi Saito, Satoshi Kasahara, Hiroshi Goto
2 . 発表標題 Changes in functional stretch reflex and postural sway to a repetitive ankle dorsiflexion while standing
3 . 学会等名 13th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine World Congress (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Satoshi Osuka, Yamanaka M, Miura T, Saito Y, Ueno R, Samukawa M, Saito H, Toyama H
2 . 発表標題 Changes in Feedforward Activation of the Deep Abdominal Muscles Associated with Trunk Rotationla Torque in Subjects with Non-specific Chronic Low Back Pain
3 . 学会等名 64th Orthopaedic Research Society Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Ryo Ueno, Tomoya Ishida, Masanori Yamanaka, Shohei Taniguchi, Mina Samukawa,Hiroshi Saito, Harukazu Tohyama
2 . 発表標題 Correlative Relationship Between Gluteus Medius Force and KneeValgus Moment During Drop Vertical Jump Task in Female Subjects
3 . 学会等名 64th Orthopaedic Research Society Annual Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 SAITO HIROSHI, KASAHARA SATOSHI, SUZUMORI YUKI, YAMANAKA MASANORI
2 . 発表標題 Improvements in motor performance and changes in postural control during a repetitive reaching task in elderly people
3 . 学会等名 41st annual meeting of the Japan neuroscience society
4 . 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京家政大学 研究者情報データベース
<https://tk-kenkyugyoseki.tokyo-kasei.ac.jp/tkuhp/KgApp?kyoinId=yndogmsgggy>

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
研究 分 担 者	笠原 敏史 (Kasahara Satoshi) (10312422)	北海道大学・保健科学研究院・助教 (10101)	
研究 分 担 者	前島 洋 (Maejima Hiroshi) (60314746)	北海道大学・保健科学研究院・教授 (10101)	

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
---------	---------