

令和 2 年 5 月 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01504

研究課題名(和文) 指先の感覚情報を利用した立位姿勢安定化のメカニズム解明と高齢者の転倒予防への応用

研究課題名(英文) Elucidation of the mechanism of standing stability using fingertip sensory information and its application to the prevention of falls in the elderly

研究代表者

高橋 真 (Takahashi, Makoto)

広島大学・医系科学研究科(保)・教授

研究者番号：50435690

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：立位保持中の姿勢動揺を減少させ、安定化させる方法として、固定点へ指先で軽く触れること(LT)がよく知られている。本研究によりLT中に経頭蓋磁気刺激によって得られる前脛骨筋(TA)の皮質脊髄路の興奮生は高まっていた。さらに、後方外乱時のTAの筋活動は高まり、結果的に足圧中心をより大きく後方に動かし、身体重心と足圧中心の差である安定性領域を拡大していることが示された。また、静止立位保持中の床面の水平周期振動外乱に対する適応課程において、LTを付加することで、より安全に早く適応し、LTのない状況下にも転移できていることが明らかとなり、バランス練習の際の有効な介入方法であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の転倒は骨折や寝たきりに繋がり、転倒予防は超高齢社会を迎えた我が国の喫緊の課題である。高齢者の転倒の主要な要因は立位バランス機能の低下である。その改善には、単なる筋量・筋力の向上だけでは不十分であり、感覚系からのフィードバック情報に基づく適切な運動指令による各筋の制御という一連の神経機構の機能向上が不可欠である。本研究では立位保持中の姿勢動揺を減少させ、安定化させる方法として、固定点へ指先で軽く触れるLight touch (LT)の作用機序の一端を明らかにし、バランス練習の際の有効な介入方法であることを示した。本研究の一連の研究成果はより有効な転倒予防策の提案に繋がることを期待できる。

研究成果の概要(英文)：Light touch (LT) with a fingertip to a stable object reduces postural sway during quiet standing. In this study, corticospinal excitability in tibialis anterior (TA) muscle induced by transcranial magnetic stimulation is facilitated in LT condition. Furthermore, TA muscle increasingly activates following backward perturbations in LT condition, which in turn, contributes to a large backward shift of center of pressure (COP). Thus, LT induces larger safety margin between the peak center of mass (CoM) and peak CoP during perturbation. On the other hand, LT reduces postural sway in the adaptation process of balancing behavior during continuous perturbations. More importantly, this adaptation under LT condition is observed after LT withdrawal, indicating the benefit of LT for adaptation during balance training.

研究分野：リハビリテーション科学，神経生理学，バイオメカニクス

キーワード：Light touch 立位 足圧中心 外乱 経頭蓋磁気刺激

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者の転倒は骨折や寝たきりにつながり、転倒予防は超高齢社会を迎えた我が国の喫緊の課題である。転倒の主な生理学的要因は、立位バランス機能の低下である。その改善には、筋量・筋力の向上だけでは不十分であり、感覚系からのフィードバック情報に基づく適切な運動指令による各筋の制御という一連の神経機構の機能向上が不可欠である。

立位保持中の姿勢動揺を減少させ、安定化させる方法として、固定点へ指先で軽く触れること (Light touch: LT) がよく知られている。この姿勢動揺の減少は指先接触による力学的支持ではなく、求心性の体性感覚情報に基づく神経制御に起因するとされている。最近、脳波を用いた研究で、感覚運動皮質領域と感覚情報の統合が行われる後部頭頂皮質の活動が高まることが報告されている (Ishigaki et al. 2016)。しかしながら、脳波は空間分解能に限界があり、どの筋の制御が反映されているか分別することはできない。姿勢制御で重要な足関節戦略において、底屈筋・背屈筋で異なる役割を担っていることを考慮すると、未だ十分にその神経制御メカニズムは解明されていないのが現状である。

また、LT を用いた介入による静的バランス機能の改善に関する知見は集積しつつあるが、動的バランスに関しては、若年者のファンクショナルリーチの成績が向上したという報告 (Oshita & Yano. 2015) のみであり、未だ十分な結論が得られていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

(1) 本研究では経頭蓋磁気刺激 (Transcranial magnetic stimulation: TMS) による運動誘発電位 (Motor evoked potential: MEP) を指標に、静止立位保持中の LT の効果について、前脛骨筋 (Tibialis anterior: TA) とヒラメ筋 (Soleus: SOL) の皮質脊髄路の興奮性変化を明らかにすることを第1の目的とした (研究1)。

(2) さらに、これらの皮質脊髄路の興奮性変化が実際のバランス機能へどのような影響を及ぼすのかについて、上肢を前方に挙上し、手で把持した重錘を自由落下させる課題によって生じる身体の後方外乱に対する姿勢応答中の足圧中心 (Center of pressure: COP) と表面筋電図データから明らかにすることを第2の目的とした (研究2)。

(3) 最後に、静止立位保持中の床面の水平周期振動外乱に対する適応課程に、LT が及ぼす効果を COP の挙動を指標に明らかにすることを第3の目的とした (研究3)。

### 3. 研究の方法

(1) 研究1では健常若年者10人を対象とした。課題は1) 固定点への右示指の接触なし (No touch: NT)、2) 固定点への右示指のLT (接触圧1N未満)、3) 固定点の把持 (Hand grasping: HG) の3条件における開眼両脚立位保持とした。被験筋は右側のTAおよびSOLとし、TMSには磁気刺激装置とダブルコイルを使用した。刺激強度はNT条件でTAとSOLのいずれからでもMEPが視覚的に確認できるTMSの最弱強度の120%とし、MEP振幅値を測定した。さらに、刺激前100msの背景筋活動量を算出した。また、床反力計 (テック技販社製、サンプリング周波数100 [Hz]) を用いて、COP座標から刺激前10秒間の前後方向及び左右方向の2乗平均平方根 (root mean square: RMS) を算出した。

(2) 研究2では健常若年者8人を対象とした。閉眼両脚立位において左手で把持した2[kg]の重錘を自由落下させる課題を行った。被験者には重錘落下により生じる後方外乱を受けても立位を保持するように指示した。条件は固定点への右示指のLTなし (NT条件) とLTありの2条件とした。被験筋は右側のTAおよび内側腓腹筋 (MG) とし、表面筋電図を計測し、重錘落下の50[ms]後から350 [ms]後の積分値を算出した。運動学データは、身体の合計43箇所の標点に貼付した赤外線反射マーカの空間座標を、赤外線カメラ6台からなる3次元動作解析システムVicon MX (Vicon社製、サンプリングフレーム数100[frame/s]) を用いて同定した。得られた標点マーカ座標を基に身体重心を算出した。また、運動力学データは床反力計 (テック技販社製、サンプリング周波数100 [Hz]) 2基を用いて取得し、重錘落下開始から1秒後までのCOMおよびCOPの最大後方変位量を算出した。さらに、COMとCOPの最大変位量の差を算出した。

(3) 研究3では健常若年者20人を10人ずつの2群に無作為に、固定点へ両示指を接触する (接触圧1N未満) 条件 (LT条件) と接触しない条件 (NT条件) の2条件に分けた。課題動作は、平衡機能計BASYS (テック技販社、サンプリング周波数1000 [Hz]) を用いた前後方向への水平周期性振動 (周波数1 [Hz]、振幅60 [mm]) を与えたときの30秒間の両脚立位保持を採用した。十分な休息を挟み、11試行繰り返した。1試行目と11試行目はどちらの条件もNT条件で行い、2試行目から10試行目までをどちらかの条件で行った。COP座標の前後方向総軌跡長を算出し、経時的な変化を検討した。

### 4. 研究成果

(1) TAのMEP振幅値はLTではNTと比較して有意に高値を示し、HGとNTで有意な差は認められなかった (図1)。一方、SOLではLTとNTで有意な差は認められなかったが、HGではNTと

比較して有意に低値を示した (図 1)。背景筋活動量は、TA では 3 条件のいずれでも筋活動は認められず、SOL では 3 条件間で有意な差はなかった。COP の RMS は前後方向、左右方向ともに NT と比較して、LT、HG で有意に低値を示した (図 2)。

姿勢動揺の減少する LT で、TA の MEP 振幅値は増大した。指先からの求心性情報は感度の高い身体動揺のフィードバック情報であり、そのフィードバックへの応答性を高め、予期せぬ外乱に対し、立位姿勢の安定化を図るため、TA の皮質脊髓路の興奮性が増大した結果であると考えられた。一方、HG では外乱に対して上肢の力学的支持が利用できるため、TA の皮質脊髓路の興奮性を増大させる必要はなかったと考えられた。SOL は静止立位中に持続的に筋活動が生じ、この活動は脊髄レベルで制御され、LT による求心性情報は皮質を介するため、LT で皮質脊髓路の興奮性は増大せず、さらに、HG では力学的支持によって神経制御への要求が低下したため、皮質脊髓路の興奮性が低下したと考えられる。

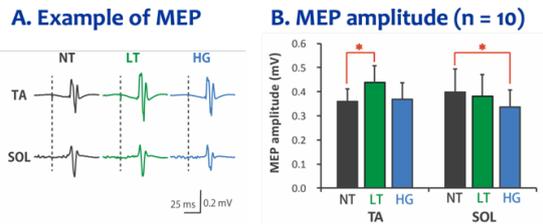


図1. 運動誘発電位 (皮質脊髓路興奮性) の変化

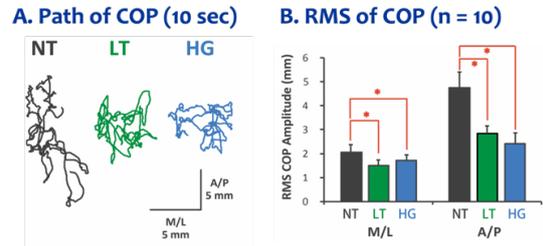


図2. 足圧中心軌跡の変化

(2) COP 最大後方変位量は LT 条件で有意に大きく、COM 最大後方変位量は 2 条件で有意さなく、結果として、COP と COY 最大後方変位量の差は LT 条件で有意に増大した (図 3)。TA 積分値では LT 条件が NT 条件と比較して、有意に増大しており、MG 積分値は有意差は認められなかった (図 4)。

COP 最大変位座標と COM 最大変位座標間の距離は safety margin (安定性領域) と定義づけられ、この安定性領域が狭いほど柔軟な姿勢応答を行えず転倒が増大するとされている。LT 条件で認められた COP の有意な後方変位は、外乱という外的刺激に対して安定性領域を広げて柔軟な姿勢応答を行っていると考えられる。研究 1 より LT によって TA の皮質脊髓路の興奮性は高まり、急な外乱に備えて立位姿勢の安定化を図っていることが示された。したがって、後方外乱時に LT によって皮質脊髓路の興奮性が高まり、TA の筋活動が高まり、COP をより後方に変位させ、姿勢の安定化を図ったと考えられた。一方、MG は後方外乱時に足関節底屈筋の関与は小さいため、LT による差が認められなかったと考えられる。

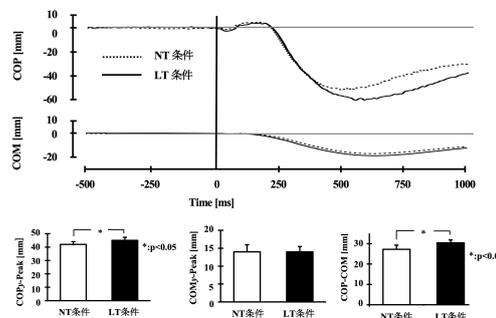


図3. COPとCOMの変位

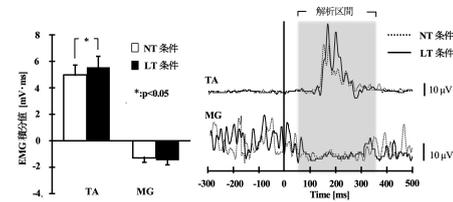


図4. TAとSOLの筋活動

(3) NT 群と LT 群の 1 試行目 (どちらも NT 条件) の COP 総軌跡長に有意な差はなかった。NT 群では 3 試行目以降、LT 群では 2 試行目以降にそれぞれ 1 試行目と比較して、有意に低値を示した。また、全ての試行において、LT 群の COP 総軌跡長は NT 群と比較して、有意に低値を示した。LT による適応過程の後、LT なしの条件での外乱に対する姿勢応答は NT 群の適応後と同程度であった (図 5)。

水平周期振動外乱に対する適応課程において、LT は身体動揺をより減少させ、さらに LT のない状況下でも転移できていることを示唆し、バランス練習の際に有効な介入方法であると考えられる。

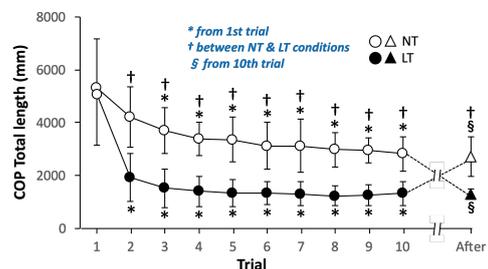


図5. COP軌跡長の経時的変化

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sawada Tomonori, Tanimoto Kenji, Tokuda Kazuki, Iwamoto Yoshitaka, Ogata Yuta, Anan Masaya, Takahashi Makoto, Kito Nobuhiro, Shinkoda Koichi	4. 巻 57
2. 論文標題 Rear foot kinematics when wearing lateral wedge insoles and foot alignment influence the effect of knee adduction moment for medial knee osteoarthritis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 177 ~ 181
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gaitpost.2017.06.009	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 -
1. 著者名 Tanimoto Kenji, Takahashi Makoto, Tokuda Kazuki, Sawada Tomonori, Anan Masaya, Shinkoda Koichi	4. 巻 57
2. 論文標題 Lower limb kinematics during the swing phase in patients with knee osteoarthritis measured using an inertial sensor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 236 ~ 240
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gaitpost.2017.06.017	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 -
1. 著者名 Iwamoto Yoshitaka, Takahashi Makoto, Shinkoda Koichi	4. 巻 36
2. 論文標題 Differences of muscle co-contraction of the ankle joint between young and elderly adults during dynamic postural control at different speeds	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40101-017-0149-3	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 Ishii Kei, Matsukawa Kanji, Asahara Ryota, Liang Nan, Endo Kana, Idesako Mitsuhiro, Michioka Kensuke, Sasaki Yu, Hamada Hironobu, Yamashita Kaori, Watanabe Tae, Kataoka Tsuyoshi, Takahashi Makoto	4. 巻 5
2. 論文標題 Central command increases muscular oxygenation of the non-exercising arm at the early period of voluntary one-armed cranking	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14814/phy2.13237	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 Iwamoto Yoshitaka, Takahashi Makoto, Shinkoda Koichi	4. 巻 36
2. 論文標題 Muscle co-contraction in elderly people change due to postural stability during single-leg standing	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Physiological Anthropology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40101-017-0159-1	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 Tokuda Kazuki, Anan Masaya, Takahashi Makoto, Sawada Tomonori, Tanimoto Kenji, Kito Nobuhiro, Shinkoda Koichi	4. 巻 66
2. 論文標題 Biomechanical mechanism of lateral trunk lean gait for knee osteoarthritis patients	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 10 ~ 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jbiomech.2017.10.016	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 -

1. 著者名 Ogata Yuta, Anan Masaya, Takahashi Makoto, Takeda Takuya, Tanimoto Kenji, Sawada Tomonori, Shinkoda Koichi	4. 巻 41
2. 論文標題 Relationships Between Trunk Movement Patterns During Lifting Tasks Compared With Unloaded Extension From a Flexed Posture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics	6. 最初と最後の頁 189 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jmpt.2017.09.007	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 -

1. 著者名 Ishii K, Liang N, Asahara R, Takahashi M, Matsukawa K	4. 巻 596
2. 論文標題 Feedforward- and motor effort-dependent increase in prefrontal oxygenation during voluntary one-armed cranking	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Physiol	6. 最初と最後の頁 5099-5118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1113/JP276956	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 -

1. 著者名 Kawakami K, Takahashi M, Iwamoto Y, Shinkoda K	4. 巻 35
2. 論文標題 Coordination among shank, rearfoot, midfoot and forefoot kinematic movement during gait in individuals with hallux valgus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Appl Biomech	6. 最初と最後の頁 44-51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 0.1123/jab.2017-0319	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 -

[学会発表] 計7件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Takahashi M, Iwamasa R, Miwa M, Shimizu A, Anan M, Shinkoda K
2. 発表標題 Influence of light touch on corticospinal excitability of ankle flexor and extensor muscles during quiet standing
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (ISPGR) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Iwamoto Y, Takahashi M, Sawada T, Shinkoda K
2. 発表標題 Effects of visual input and support-base width on muscle coactivation during standing in the elderly
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (ISPGR) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kawakami W, Shinkoda K, Sawada T, Takahashi M
2. 発表標題 Foot postures have different influences on hallucal loading, with the arch height in individuals with hallux valgus being a determining factor
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (ISPGR) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hayashi H, Shinkoda K, Fukui M, Kawakami W, Takahashi M
2. 発表標題 Biomechanics of the trailing limb during stair descent with the body facing diagonally forward
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (ISPGR) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sanada M, Shinkoda K, Tanimoto K, Fukui M, Takahashi M
2. 発表標題 Biomechanical influences of gait termination with holding of baggage in one hand
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (ISPGR) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi M, Azuma Y, Hayashi H, Sanada M, Shinkoda K
2. 発表標題 Effect and After-Effect of Light Finger Touch on Postural Sway during Continuous Perturbation
3. 学会等名 13th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (ISPRM) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinkoda K, Takahashi M, Sanada M, Hayashi H
2. 発表標題 Effects of Minimal Exercise after Morning Wake-up on Sleep, Attention, Physical Functions, and Quality of Life of Older People Dwelling in the Community
3. 学会等名 13th International Society of Physical and Rehabilitation Medicine (ISPRM) World Congress (国際学会)
4. 発表年 2019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
--	---------------------------	-----------------------	----