

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700848

研究課題名(和文)体性感覚情報に着目した高齢者の転倒予防方法の解明

研究課題名(英文)Effect of additional somatosensory feedback on postural control during walking

研究代表者

木村 哲也(Kimura, Tetsuya)

立命館大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：60533528

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、体性感覚の感度を高めるという点に着目したバランス補助器具の検討を目的とした。若年者における基礎検討では、被験者は手すりに手指先で微小な力(2N以下)で触れながら(ライトタッチ)16mの直線歩行を実施した。その結果、ライトタッチにより左右への身体動揺が減少すること、身体動揺情報が指先体性感覚に先行して入力され、フィードバックされることが示された。高齢者においても同様の効果が認められた。そこで、ノイズ刺激により体性感覚機能を向上させるバランス補助器具の検討を行い、手指先に人工的ノイズ刺激が入力される杖を試作した。今後、刺激の周波数・強度・種類を変数とした体系的な検討を行う必要がある。

研究成果の概要(英文)：Fingertip light touch (LT) to a fixed surface, in quiet standing, substantially reduces postural sway, due to an enhanced somatosensory feedback. To further shed light on this additional feedback, we assessed the LT effect in normal walking. We found that, in young subjects, medio-lateral body fluctuation was attenuated by the LT. Touch force and fingertip position preceded the body sway in the EC condition, indicating the contribution of fingertip proprioceptive feedback. The effect of LT in normal walking was also confirmed for elderly subjects. In the next, based on these results, we developed a new cane, injecting noise-like stimulation to the skin surface.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・応用健康科学

キーワード：加齢 転倒予防 体性感覚 歩行バランス 身体システム

### 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ることから、高齢化を迎えた我が国の社会的問題である。転倒を惹起する大きな生理学的要因は、立位バランス制御機能の低下である。立位バランス制御機能の改善には、筋量・筋力の向上という力学的アプローチのみではなく、立位平衡の神経制御則を考慮した神経生理学的な処方・補助器具開発が重要であると推測される。

これに対し、国内外の先行研究において、静止立位時に手指先で1N以下の微細な力で固定点に触れることによって(ライトタッチ)身体動揺に関する情報が手指先体性感覚から入力され、立位バランスが向上することが指摘されている(Kouzaki & Masani, 2008)。しかしながら、実際に転倒が発生するフィールドでの通常歩行において、体性感覚情報がバランス維持に貢献するかは不明である。一方、研究代表者らのトレッドミル歩行を用いた予備的実験で、手指先からの触覚情報(ライトタッチ)によって歩行バランスの向上が認められた。トレッドミル上での結果を直接通常歩行に当てはめることはできないが、この結果は歩行という動的運動においても体性感覚情報が貢献することを示唆するものである。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、実践的応用をより見据え、通常歩行における体性感覚情報の歩行バランスに対する効果、及びそのフィードバック制御則を明らかにすることを目的とした。さらに、その原理を踏まえた高齢者転倒予防方法を検証した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 若年者における基礎的検討

身体動揺情報を体性感覚から得た場合の歩行バランスの変調とその神経生理学的メカニズムを明らかにする基礎的研究を行った。実験は、健常若年者12名(20-26歳)を対象とし、歩行通路に長さ16mの手すりを被験者の腰の高さに設置した(図1)。被験者は、上肢の示指腹側で手すりに軽く触れながら(ライトタッチ)16mの直線歩行を行った。指先腹側に薄い圧センサ(LMA-A-20N, Kyowa, Japan)を貼付し、ライトタッチが力学的な姿勢支持とならないよう、タッチ力の鉛直成分の上限を2Nと設定した。この実験条件で、身体動揺情報を手指先体性感覚から得た際の歩行動作の変調を計測した。具体的に、腰部(L3)に固定した3軸加速度センサ(CXL02LF3, Crossbow, CA: Range  $\pm 2G$ , DC-50Hz)による腰部動揺、3Dモーションキャプチャシステム(Raptor-E digital, Motion Analysis Corporation, CA)による頭頂部・示指指先(第2末節骨)・腰部(L3)の運動(中間4m区間)、フットスイッチ(Biometrics, UK)による左右の着足リズムを

記録した。一方で、指先腹側の圧センサから指先の得る圧力変動の鉛直成分を記録した。測定は16mの直線歩行について、ライトタッチ(開眼)、ライトタッチなし(開眼)、ライトタッチ(閉眼)、ライトタッチなし(閉眼)の4条件を設定し、各条件3試行ずつ、計12試行をランダム順序で行った。

さらに触覚情報に焦点を絞り追加実験を行った。実験条件は上述の実験系において、手すりの代わりに長さ16mの水路を被験者の腰の高さに設置した(図2)。被験者は開眼条件で、上肢の示指指先を水中に入れながら16mの直線歩行を行った。この条件では、被験者は指先に圧センサを貼付せずに水にライトタッチを行うため、示指触覚から身体動揺に関するフィードバック情報を得ることができるかと仮定し、触覚情報の歩行バランスに対する効果について追加検討した。

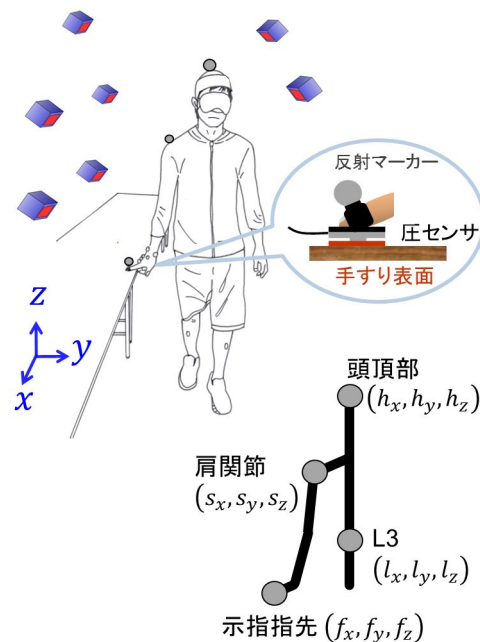


図1. 実験設定と反射マーカ位置

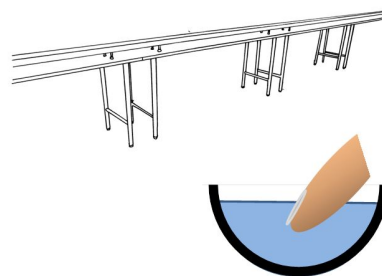


図2. 指先触覚に関する測定の実験設定

#### (2) 高齢者での基礎的検討

研究(1)を踏まえ、若年者と高齢者の一致点及び相違点を明らかにすることを目的とし、高齢者19名(62-83歳)に対して、研究(1)と同様の測定を開眼条件のみにて行った。

#### (3) ノイズ刺激の効果検証

研究(1)及び(2)の基礎的検討を踏まえ、体

性感覚にノイズ刺激を印加し、確率共振の効果から体性感覚を向上させ、歩行バランスを高めることを目的とした補助器具の検討を行った。実験は、若年者 10 名 (22-33 歳) を対象とした。各被験者は、トレッドミル上で右手を用いて杖をつきながら、各被験者が予め自由に決定した速度で歩行を行った。その際、杖で人工的に発生させた振動ノイズ刺激を右手に入力する条件、人工的電気ノイズ刺激を右手に入力する条件、ノイズ刺激なし条件、及び杖を持たずに歩行を行う条件の計 4 条件を設定し、60 秒間の試行を各条件 3 試行ずつ、計 12 試行をランダム順序で実施した。条件 ~ で使用する杖は同一であった。条件間の歩行速度は一定とした。尚、杖とトレッドミル床面との間の接触力は 5N 以下に制限し、検者によりモニタリングされた。測定変数は、実験(1)(2)と同様であった。

#### 4. 研究成果

##### (1) 若年者における基礎的検討

ライトタッチ条件では、指先の平均タッチ力は約 1N であり、開眼・閉眼条件間で有意差は認められなかった ( $P>0.05$ )。また、16m 間の着足数に関して、開眼・閉眼両条件において、ライトタッチの有無で差は認められなかった ( $P>0.05$ )。歩行時の腰部加速度について分析を行ったところ、左右方向の加速度の振幅 (標準偏差) は、開眼・閉眼両条件において、ライトタッチなし条件に比較してライトタッチ条件で有意に減少した ( $P<0.05$ ) (図 3)。モーションキャプチャシステムの測定波形を分析したところ、歩行時の頭頂部の左右方向の動揺 (標準偏差) は開眼・閉眼両条件において、ライトタッチ条件で有意に減少した ( $P<0.05$ ) (図 4)。図 4 に見られるように、ライトタッチ効果は閉眼条件で顕著であった。腰部(L3)においても同様の結果が得られた。以上より、歩行通路における歩行においても、ライトタッチ効果が認められた。

各ライトタッチ試行時における、示指指先のタッチ力の鉛直成分 ( $F_v$ ) と頭頂部及び腰部 (L3) の左右方向の位置 ( $h_y$  及び  $l_y$ ) について、両変動の類似性と時間ずれを相互相関関数により定量化した (図 5)。示指指先の左右方向の位置 ( $f_y$ ) と  $h_y$  及び  $l_y$  の相互相関関数についても検討を行った。その結果、閉眼条件において各変数の間に有意な正の相互相関係数と正の時間ずれ (約 300ms) が認められた (表 1)。この結果は、閉眼時において、 $F_v$  と  $f_y$  それぞれの変動が  $h_y$  及び  $l_y$  の変動と類似し、かつ約 300ms 先行することを示している。このことから、身体動揺が、ライトタッチを行っている示指体性感覚から、より早くフィードバックされ、バランスの安定に貢献している可能性が示唆された。以上の結果は、体性感覚情報に着目した、新たな歩行バランス補助器具の開発を期待させるものである。

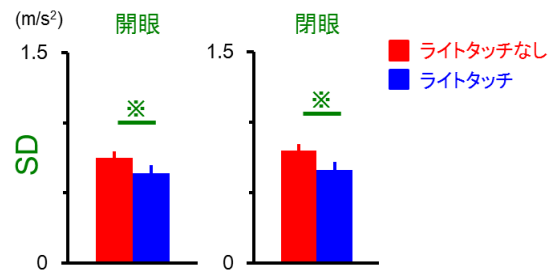


図 3. 開眼・閉眼両条件における左右方向腰部加速度の振幅 (標準偏差) (平均値及び標準誤差、 $P<0.05$ )

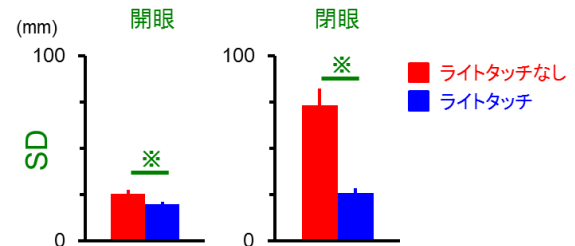


図 4. 開眼・閉眼条件における頭頂部の左右方向動揺 (標準偏差) (平均値及び標準誤差、 $P<0.05$ )

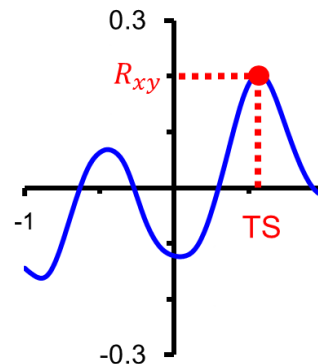


図 5.  $F_v$  と  $l_y$  の相互相関関数の例。  $R_{xy}$  は両変数の相互相関係数、TS は両変数の時間ずれ (秒) を示す。  $|R_{xy}|>0.195$  の時、有意な相互相関係数が認められる ( $P<0.05$ )。この例のように、 $R_{xy}>0$  かつ  $TS>0$  の場合、 $F_v$  は  $l_y$  に TS (秒) 先行して変動することを示す。

相互相関	$R_{xy}$	TS (s)
$F_v$ & $h_y$	0.23 (0.03)	0.34 (0.21)
$F_v$ & $l_y$	0.22 (0.03)	0.34 (0.20)
$f_y$ & $h_y$	0.47 (0.05)	0.26 (0.18)
$f_y$ & $l_y$	0.46 (0.05)	0.34 (0.19)

表 1. 閉眼条件における、相互相関解析の結果 (平均値及び標準誤差)

一方、水へのライトタッチを行った試行では、歩行時の腰部加速度の左右方向の変動 (標準偏差) は、ライトタッチなし条件に比較してライトタッチ条件で有意に減少した ( $P<0.05$ )。この結果は、指先触覚の貢献を

支持するものである。しかしながら、ライトタッチ条件にて 16m 区間の着足数が有意に増加した ( $P < 0.05$ ) ことから、さらなる検討が必要である。

### (2) 高齢者での基礎的検討

高齢者においても歩行時の頭頂部の左右方向の動揺 (標準偏差) がライトタッチ条件で有意に減少した ( $P < 0.05$ )。一方、ライトタッチ条件にて 16m 区間の着足数が有意に増加した ( $P < 0.05$ )。このように、高齢者においても歩行通路での歩行時にもライトタッチ効果が期待されるが、ライトタッチ時の着足数の増加の影響をさらに検討する必要がある。

### (3) ノイズ刺激の効果検証

トレッドミル歩行時の平均歩幅について、4 条件間で有意な差は認められなかった ( $P > 0.05$ )。一方、腰部の左右方向加速度について分析を行ったところ、杖歩行において人工的電気ノイズ刺激を右手に入力した場合 (条件 ) のみ、杖を持たずに通常歩行を行った場合 (条件 ) と比較して加速度の振幅が減少する傾向が見られた (平均振幅:  $P < 0.05$ 、標準偏差:  $P = 0.076$ )。一方、他の杖歩行条件 (条件 及び条件 ) に関しては、条件 と差は認められなかった ( $P > 0.05$ )。今後の課題として、ノイズ刺激の周波数帯域、強度、種類を変数とした体系的な検討の必要性が挙げられる。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

### [雑誌論文] (計 5 件)

著書名: T.Kimura、論文標題: Somatosensory contribution to postural equilibrium in human bipedal stance、雑誌名: *Advances in Exercise & Sports Physiology*、査読: 無、巻: 19、発行年: 2013、ページ: 55 - 59  
著書名: 木村哲也、論文標題: 体性感覚を生かしたバランス調整能、雑誌名: *体育の科学*、査読: 無、巻: 63、発行年: 2013、ページ: 466 - 471  
著書名: T.Kimura、M.Kouzaki、論文標題: Electrical noise to a knee joint stabilizes quiet bipedal stance、雑誌名: *Gait & Posture*、査読: 有、巻: 37、発行年: 2013、ページ: 634 - 636、DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.09.013  
著書名: M.Kouzaki、T.Kimura、Y.Yoshitake、T.Hayashi、T.Moritani、論文標題: Subthreshold electrical stimulation reduces motor unit discharge variability and decreases the force fluctuations of plantar flexion、雑誌名: *Neuroscience Letters*、査読: 有、巻: 513、発行年: 2012、ペー

ジ: 146 - 150、DOI:

10.1016/j.neulet.2012.02.020

著書名: T.Kimura、M.Kouzaki、K.Masani、T.Moritani、論文標題: Unperceivable noise to active light touch effects on fast postural sway、雑誌名: *Neuroscience Letters*、査読: 有、巻: 506、発行年: 2012、ページ: 100 - 103、DOI: 10.1016/j.neulet.2011.10.058

### [学会発表] (計 7 件)

発表者名: 木村哲也、発表標題: 上肢体性感覚の歩行バランスへの効果、学会名等: 京都滋賀体育学会第 143 回大会 シンポジウム「これからのスポーツを科学する ~ 京滋の若手研究者の挑戦 ~」、発表年月日: 2014 年 3 月 8 日、発表場所: 京都大学 (京都府)

発表者名: T.Kimura、C.Taki、N.Shiozawa、M.Kouzaki、発表標題: Effects of Electrical Noise to a Knee Joint on Quiet Bipedal Stance and Treadmill Walking、学会名等: 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Invited Session "Stochastic Resonance in Nervous Systems"、発表年月日: 2013 年 7 月 5 日、発表場所: Osaka International Convention Center

発表者名: T.Kimura、M.Otsuka、C.Taki、K.Konishi、K.Sanada、M.Kouzaki、N.Shiozawa、発表標題: Effects of fingertip light touch on human walking on the ground、学会名等: 18th Annual Congress of the European College of Sport Science、発表年月日: 2013 年 6 月 28 日、発表場所: Barcelona (Spain)

発表者名: 木村哲也、発表標題: 静止立位・歩行運動調節への体性感覚の貢献とバランス安定化への応用、学会名等: 日本体育学会第 63 回大会 シンポジウム「身体運動の冗長性を運動生理学的観点から捉える」、発表年月日: 2012 年 8 月 22 日、発表場所: 東海大学 (神奈川県)

発表者名: T.Kimura、M.Kouzaki、発表標題: Association of motor unit discharge behavior in gastrocnemius muscle with postural and joint angle sways during quiet bipedal stance、学会名等: 19th Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology、発表年月日: 2012 年 7 月 20 日、発表場所: Brisbane (Australia)

発表者名: 木村哲也、塩澤成弘、神崎素樹、発表標題: Effect of fingertip somatosensory information on human gait、学会名等: 第 26 回生体・生理工学シンポジウム、発表年月日: 2011 年 9 月 22 日、発表場所: 立命館大学 (滋賀県)  
発表者名: 木村哲也、塩澤成弘、神崎素

樹、発表標題：歩行中の膝関節への微細  
ノイズ刺激が腰部加速度に及ぼす効果、  
学会名等：第 66 回日本体力医学会大会、  
発表年月日：2011 年 9 月 17 日、発表場所：  
海峡メッセ下関（山口県）

## 6 . 研究組織

### (1)研究代表者

木村 哲也（KIMURA TETSUYA）  
立命館大学・スポーツ健康科学部・助教  
研究者番号：60533528