

耳介への刺激が身体動揺に与える影響

Effects of stimulation around the pinna on stability of the body sway

○ 渡邊聖和（茨城大） 芝軒太郎（茨城大） 島谷康司（広島大）

Satowa WATANABE, Ibaraki University  
Taro SHIBANOKI, Ibaraki University  
Koji SHIMATANI, Prefectural University of Hiroshima

**Abstract:** This paper outlines a body sway mitigation based on tactile stimulation around the pinna part of the ear. With the proposed technique, the application of various vibratory stimuli around the pinna part of the ear can be reduced body sway, balance of the subjects was measured and evaluated. In this way, the safe and simple body sway mitigation was realized. In experiments, postural sway during application of a steady-state vibrotactile stimulation was compared with the one during application of acoustic stimulus that has a regular frequency to validate the method's efficacy.

**Key Words:** balance, tactile stimulation, auditory stimulation, body sway

1. はじめに

東京消防庁の調査では、不慮の事故による死者のうち「転倒・転落」を死因とするものは約 13% であり、中でも、高齢者の転倒リスクは高くなっている。高齢者は加齢によって知覚機能、バランス機能、筋力、歩行機能など身体の様々な機能が低下する。特にバランス機能と歩行機能の低下が転倒のリスクを約 2~5 倍高くするとされており、バランス機能・歩行機能の改善が転倒予防において重要である<sup>(1)</sup>。また、バランス機能に重要な情報として視覚・聴覚情報が挙げられるが、これら視覚・聴覚障害の要因の約 5% が加齢によるものとされており<sup>(2)</sup>、高齢化社会を迎えている日本では、早急な対策が必要である。

従来、ライトタッチコンタクト (Light Touch Contact: LTC) など、補助具を使わずにバランス機能の改善を図った研究<sup>(3)</sup>や、指先に振動刺激を与えて仮想的な壁を構築することで、物体を必要としない仮想 LTC による立位姿勢保持支援法が近年提案されている<sup>(4)</sup>。しかしながら LTC では固定点もしくは仮想壁に利用者が触れる必要がある。一方、耳介に微弱な電気刺激を与えることで前庭機能を向上させ、バランス機能を改善した報告や<sup>(5)</sup>、聴覚刺激によって身体動揺の誘導を行った研究もなされているものの、これらを日常で使用することは困難であると考えられる。

本稿では、触覚刺激に基づく立位姿勢制御支援法を提案する。提案法では、小型の触覚刺激装置を用いて耳介付近にさまざまな振動刺激を与えることで身体動揺を低減できる可能性がある。これにより、日常生活で使用可能な簡易身体バランス機能向上デバイスの実現を目指す。

2. 方法

Fig.1 に提案法の概要を示す。提案法では、さまざまなパターンの振動刺激を耳介付近に付与することで身体バランス機能の向上を図る。

まず、被験者にはタンデム肢位、閉眼状態で  $T$  [s] 間、できる限り姿勢を保持するよう指示する。そして、耳介付近にモーター振動子を貼付し、電圧を印加することで被験者に振動刺激を付与する。このとき、Fig.1 に示すように、パルス幅変調を用いることで振動周期や振動の振幅をさまざまに変化させることができる。

そして、振動刺激を与えている間の身体バランス機能を計測・評価する。ここでは、重心動揺計を用いて、Center of Pressure (COP) の 2 次元座標を取得するとともに、被験者の上体の動作量を測るために、加速度センサを被験者の後頭部に装着し、加速度信号を計測する (サンプリング周波数:  $f_s$  [Hz]) 。

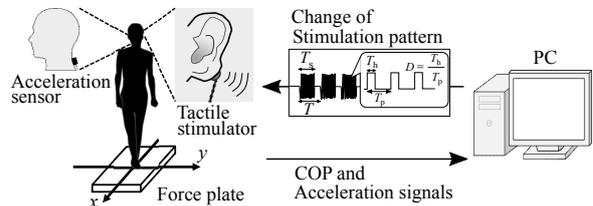


Fig.1 Overview of the proposed method

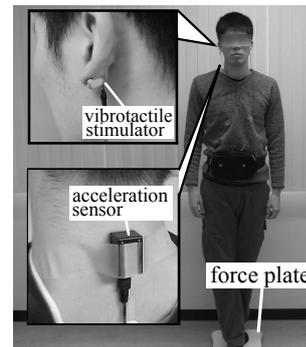


Fig.2 Scenes of measurement

計測した COP 信号は 2 次のデジタルバターワースローパスフィルタ (カットオフ周波数:  $f_c^L$  [Hz]) により平滑化を行う。また、加速度信号はハイパスフィルタ (カットオフ周波数:  $f_c^H$  [Hz]) を用いて直流成分を除去する。そして、COP 信号からは矢状面動揺幅、前額面動揺幅、二乗平均平方根偏差面積、総軌跡長、加速度信号からは 3 軸合成加速度の総和を算出し、姿勢保持時間と合わせて計 6 個の評価指標を定義し、身体バランス機能を評価する。なお、矢状面動揺幅は矢状面における COP 座標の最大値と最小値の差、二乗平均平方根偏差面積は COP の軌跡の標準偏差を半径とみなした円の面積、総軌跡長は COP 座標の移動距離、3 軸合成加速度の総和は各軸の加速度信号を二乗平均平方根した値である。

3. 実験

3.1 実験条件

健常大学生 4 名 (被験者 A-D: 男性 3 名, 女性 1 名, 平均年齢  $21.0 \pm 0.8$  歳) を対象に振動刺激を与えた際の身体動揺計測を行った。振動子には円盤型振動モータ (FM34F, T.P.C 社) を用い、一定の電圧 (1.5 [V]) を印可した。被験者の後頭部に加

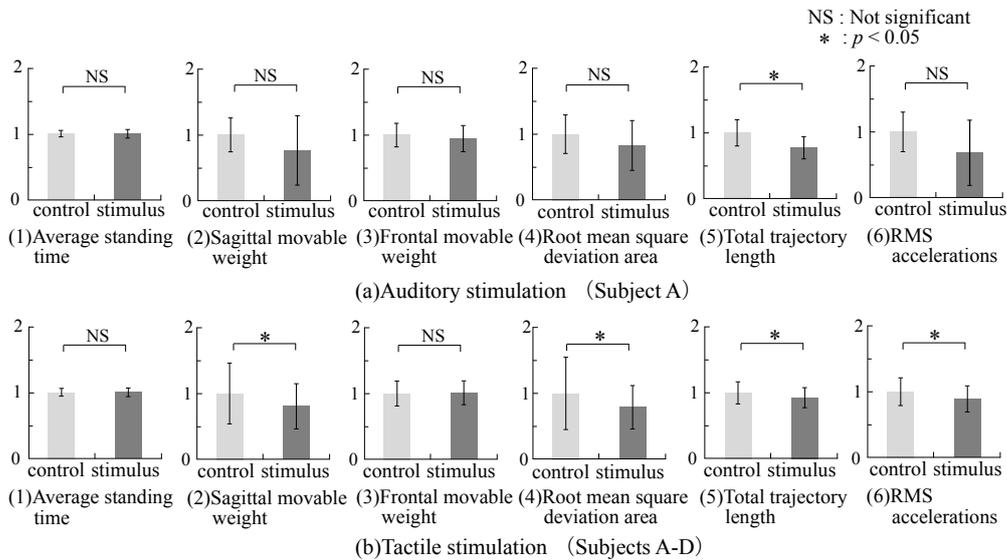


Fig.3 Experimental results

速度センサ (IMU-Z Lite, 株式会社ゼットエムピー) を装着し、被験者には重心動揺計 (バランス Wii ボード, Nintendo) に乗り、目を閉じた状態で  $T = 60$  [s] の間タンデム肢位を保つよう指示した (Fig.2)。また、提案法の有効性を検証するために被験者 A を対象に、4000 [Hz] の聴覚刺激を与えて同様の計測を行った。実験では、刺激による身体動揺への影響を評価するために、刺激を付与しない場合との比較を行った。計測は各 10 試行とした。なお、本実験はヘルシンキ宣言に則り、被験者の同意を得て実施した。

### 3.2 結果と考察

Fig.3 に (a) 聴覚刺激、(b) 振動刺激を与えた際の各評価指標値を示す。図は (1) 姿勢保持時間、(2) 矢状面動揺幅、(3) 前額面動揺幅、(4) 二乗平均平方根偏差面積、(5) 総軌跡長、(6) 3 軸合成加速度の総和を示している。なお、結果は無刺激時の各評価指標の平均値が 1 となるように正規化しており、(a) は試行のばらつき、(b) は被験者間のばらつきを示していることに注意されたい。図より、刺激の種類や有無によらず姿勢保持時間にはほとんど差がみられないものの、(a) 聴覚刺激では総軌跡長、(b) 提案法では矢状面動揺幅、二乗平均平方根偏差面積、総軌跡長、3 軸合成加速度の総和において有意水準 5% で有意差が認められた。ここで聴覚刺激においては、先行研究より刺激側に身体動揺が起ることが報告されている<sup>(6)</sup>。本実験では聴覚刺激を左右同時に付与しているため、身体動揺が左右それぞれに誘発された結果、総軌跡長が有意に減少した可能性がある。

一方 (b) 振動刺激の結果では、COP の移動距離、ばらつき、上体の動作量の全てが有意に減少しており、提案法によって身体バランス機能が向上した可能性がある。ただし、矢状面動揺幅では有意な減少が確認できたが、前額面では確認できなかった。これは、前額面の COP は左右下肢の荷重比に依存するとされており<sup>(7)</sup>、タンデム肢位においては下肢は前後に並ぶため、通常の立位姿勢よりも前額面方向への影響が少なくなるためだと考えられる。

以上の結果より、耳介付近に振動刺激を付与することで身体動揺を軽減できる可能性を示した。今後は振動パターンを変更してさらなる調査を行うとともに、左右に与える振動パターンを変化させ、身体動揺の誘発が可能なかを検討する。

### 4. まとめ

本稿では、振動刺激を耳介付近に与えた際のバランス機能への影響を調査した。実験では、閉眼状態でタンデム肢位を保持する

よう指示し、刺激の有無による身体バランス機能の変化を比較した。結果より、矢状面動揺幅、二乗平均平方根偏差面積、総軌跡長、3 軸合成加速度の総和で身体動揺に有意な減少が見られたことから、提案法を用いて身体バランス機能を向上できる可能性を示した。

今後は被験者を増加し、振動刺激のパターンをさまざまに変化させることで振動刺激と身体バランス機能との対応関係を明らかにしていく。また、日常的に使用可能な補聴器型身体バランス機能向上デバイスの開発を検討していく予定である。

### 参考文献

- (1) Masdeu J.C., Sudarsky L., Wolfson L., "Gait Disorders of Aging: Falls and Therapeutic Strategies", Philadelphia, Lippincott -Raven, pp. 309-326, 1997.
- (2) 厚生労働省：平成 18 年身体障害児・者実態調査結果，"http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/index.html"，2016.7.1
- (3) Kouzaki M., Masani K., "Influence of Afferent Information Originated from Finger Tactile Sensation on improved Equilibrium in the Elderly Adults", *Research-Aid Report*, vol.25, pp. 52-62, 2010.
- (4) Shima, K., Shimatani, K., Sugie, A., Kurita, Y., Kohno R, Tsuji, T., *Virtual Light Touch Contact: a Novel Concept for Mitigation of Body Sway*, International Symposium on Medical Information and Communication Technology, Tokyo, 2013.
- (5) Iwasaki, S., Yamamoto, Y., Togo, F., Kinoshita, M., Yoshifuji, Y., Fujimoto, C., Yamasoba, T., "Noisy vestibular stimulation improves body balance in bilateral vestibulopathy", *Neurology*, vol.82, no.11, pp. 969-75, 2014.
- (6) 柴田 大, 西池 季隆, 宇野 雅子, 堀井 新, 北原 紘, 原田 保, "強大な音刺激が重心動揺におよぼす影響", *Equilibrium Res*, vol.68, no.1, pp. 21-27, 2009.
- (7) Winter, D.A., Patla, A.E., Ishac, M., Gage, W.H., "Motor mechanisms of balance during quiet standing", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol.13, no.1, pp. 49-56, 2003.