

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25870242

研究課題名(和文) 仮想壁で姿勢を安定化：仮想インピーダンスと振動刺激による歩行時立位姿勢の保持支援

研究課題名(英文) Virtual Light Touch Contact: a novel method for mitigation of body sway based on virtual impedance partition

研究代表者

島 圭介 (Shima, Keisuke)

横浜国立大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50649754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、あらゆる空間でLight touch contact (LTC)の効果を被験者に与える方法論としてVLTC法を考案した。LTCはわずかな力(1N以下)でカーテンなどに触れることで立位・歩行時の重心動揺が低下する現象である。提案法は、人間の周りに仮想的な慣性、粘性、剛性を有する仮想壁を作ること、被験者が仮想壁に接触した際の反力推定を可能とし、推定反力を振動として被験者にフィードバックしてLTCの効果を被験者に与える。提案法を用いて被験者の立位や歩行状態を評価した結果、通常の上立位や歩行状態に比べてLTC、仮想LTC状態が被験者の重心動揺を有意に低下させることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study proposes a novel concept called virtual light touch contact (VLTC), which helps to reduce human postural sway in standing and walking states. The contact cues provided via the fingertips provide information that helps to reduce postural sway in subjects even when the tiny forces applied are physically insufficient to stabilize body movement. These forces are referred to as light touch contact (LTC). The VLTC method essentially creates a virtual partition around the user and enables estimation of the virtual force caused when the partition is touched. The estimated force are fed back to the user's fingertips in the form of vibrotactile stimulation, allowing sensation of the virtual partition in any location. Prototype systems were developed and experiments involving healthy subjects were conducted. The results indicated that the system is capable of helping to reduce the postural sway of the user during standing and walking.

研究分野：生体医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：立位姿勢保持支援 ライトタッチコンタクト 振動刺激 非接触インピーダンス 転倒予防

1. 研究開始当初の背景

超高齢化が進む日本においては近年、加齢による運動器の障害のため、基本的な歩行などの移動能力が低下してしまうロコモティブシンドローム(Locomotive syndrome)を有する患者が多く存在する[中村ら, 2008]。このような患者は単純な歩行時においても健康者に比べて姿勢動揺が増加してしまうなど、高い転倒リスクを有する。そのため、歩行などにおける人間の姿勢制御機能を補助できる方法が求められる。

一般に姿勢制御補助には杖などの歩行補助用具が用いられるが、特定の環境下においては転倒リスクが増加するといった見解もある。一方、Jekaらによって固定点へ指先で軽く触れることが直立姿勢時の動揺を顕著に減少させることが示されている[J.J. Jeka, 1997]。この現象は Light touch contact (LTC) と呼ばれ、カーテンに対する LTC の姿勢動揺の減少効果や、LTC における指先接触点の高さや部屋の照度変化の影響調査など、さまざまな研究がなされてきた[K. Shimatani *et al.*, 2011]。ただし、LTC は指先の固定点への接触が必要不可欠であるため、機械的支持がない場所ではその効果を得ることができない。あらゆる空間で LTC のような姿勢保持効果を与えることが可能となれば、超高齢化社会に対する転倒事故防止への貢献が期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、機械支持がない空中で仮想的に LTC の効果を与える新しい方法論として Virtual light touch contact (VLTC)法を確立し、ヒトの立位や歩行状態をウェアラブルな装置を用いて安定化させる環境の構築を行うことである。そのため、モーションセンサを利用して被験者の身体周りに仮想インピーダンス壁を設置し、壁への指先の接触反力の推定する方法論を考案するとともに、小型振動子を用いて反力をフィードバックする方法を提案し、インピーダンスパラメータがヒトの立位状態に与える影響を評価した。また、仮想壁を用いた転倒予防の実現のため、計測した被験者の運動の特徴量を高精度に判別する方法論の構築や、機能評価のためのインデックス開発を目指した。

3. 研究の方法

提案する VLTC 法の構成を Fig. 1 に示す。提案システムではモーションセンサを用いて体幹と指先の位置を計測し、指先が仮想壁に接触した際の反力を推定する。そして、推定反力に応じた振動刺激を被験者にフィードバックする。

2.1 信号計測・処理

信号計測・処理部では被験者の全身の身体部位 N 点を用いて計測し、体幹位置、および体幹の中心を原点とする指先の 3 次元位置ベクトル $X(t) \in \mathbb{R}^3$ を算出する。次に、手先位置

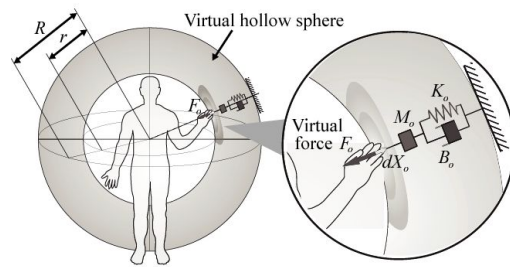


図1 仮想壁による VLTC 法

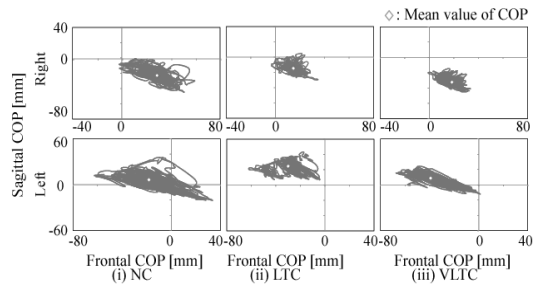


図2 各条件下における足圧中心(COP)

$X(t)$ のユークリッドノルム $|X(t)|$ 、および微分フィルタを用いて速度情報 $\dot{X}(t)$ 、加速度情報 $\ddot{X}(t)$ を算出して被験者の運動情報を得る。

2.2 仮想反力推定

計測した体幹および指先の位置、指先速度、加速度から非接触インピーダンスに基づいて仮想壁の設置と仮想壁への接触に伴う反力推定を行う。提案法では、図1に示すように体幹位置を中心として仮想慣性 M_o 、仮想粘性 B_o 、仮想剛性 K_o を有する内径 r 、外径 R の仮想的な中空球の壁を配置する。手先が仮想インピーダンス壁に侵入したとき、仮想インピーダンス壁から手先に加わる仮想反力 $F_o(t)$ は仮想インピーダンスとベクトル $dX_o(t)$ を用いて次式により算出する。

$$F_o(t) = -(M_o d\ddot{X}_o(t) + B_o d\dot{X}_o(t) + K_o dX_o(t)) \quad (1)$$

なお、手先が仮想インピーダンス壁の外部に位置する場合は $F_o(t) = 0$ とする。

2.3 仮想反力提示

被験者の指先に取り付けた小型の振動刺激装置(振動子)を用いて、仮想壁に接触した際の反力を近似的に提示する。ここでは f_i を一定とし、振動の振幅 $A_m(t)$ を仮想反力ベクトル $F_o(t)$ の大きさと比例させて制御した。これにより、仮想壁に触れた際の反力を空中で簡易的に提示する。

4. 研究成果

VLTC 法の検証

健康な男子大学生 6 名に対して提案法による姿勢保持効果の検証を行った。体幹および指先位置は Kinect (Microsoft 社)、姿勢動揺はフォースプレート (TF-3040, テック技販社、サンプリング周波数: f_p [Hz]) 2 台を用いて計測した。振動刺激には小型の振動子を利用した。被験者には右手の第 2 指と第 3 指の指腹付近に振動子を取り付け、隙間なく並べた 2 台のフォースプレート上に目を閉じた

状態でタンDEM（右足のかかとに左足の第1指をつけた立位）姿勢をとらせた。タスクはそれぞれ (i) 両手が身体に触れない状態で自然にタンDEM姿勢をとる (NC), (ii) 紙に対する LTC (ハンガーラックにテープで取り付けた紙を軽く触り続ける), (iii) 提案法を可能な限り維持するものとした。姿勢の安定性の評価には、足圧中心 (COP) 座標から4つの評価指標 (総軌跡長、動揺幅の標準偏差、矩形面積) を算出した。図3はタスクごとに得られた60 [s]間の COP 軌跡の一例であり、横軸が前顔面座標、縦軸が矢状面座標である。図4は算出した評価指標値であり、それぞれ (i) NC の平均値で正規化した値を示している。COP 軌跡の結果では、動揺の標準偏差に差は見られないものの、VLTC の軌跡がなす面積が NC に比べて小さくなっている。また VLTC を行うことで NC よりも総軌跡長がおおよそ減少しており、LTC と同様の傾向を示している。この現象は単調な振動刺激を指先に与え続けるのみでは現れないことが示されたこと [Shima *et al.*, 2013] から、VLTC を行うことで LTC のように姿勢動揺を低下できる可能性が示唆された。

インピーダンスパラメータの影響評価

VLTC 法における仮想インピーダンスパラメータを変更し、立位状態と仮想反力の関係性を調査した。その結果、(1)式における仮想反力推定については、必ずしも仮想慣性、剛性、粘性すべてのパラメータを用いる必要はなく、仮想慣性のみを用いた簡易的な運動方程式で反力推定と提示を行っても同様の効果を与えられることを確認した。これにより、小型加速度センサを用いたウェアラブル型 VLTC を実現した。

特徴量判別のためのニューラルネットの考案

VLTC 法を用いて立位状態や歩行状態を的確に支援するためには、被験者の運動状態を計測し、内在する機能を適切に評価できる必要がある。本研究では、2つの従属な入力ベクトルから同時事後確率を推定可能なニューラルネットや、学習時に定義していないクラスを特徴量から自動的に判別する方法論を確立し、義手の制御やヒューマンインタフェースの制御に適用して有効性を示した。

機能評価インデックスの提案

VLTC 法に基づく転倒予防の実現のため、被験者の運動機能と立位機能を評価する方法論の開発を試みた。まず、歩行などのリズム運動を再現する神経モデルを構築し、パーキンソン病の評価へ応用するとともに、立位状態を VLTC 法を用いて計測・評価する新しい方法論を考案し、健康者の機能評価によって有効性を示した。

一連の研究成果は、VLTC 法という新しい概

念に基づき、被験者の立位や歩行運動における能力向上と機能評価を実現できる可能性を十分に秘めている。立位機能評価と転倒予防についてはさらなる研究が必要であるが、新しい方法論の考案としての当初の目的は十分に達成された。

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)

- i. Electromyographic Prosthetic Hand Using Grasping-Force-Magnification Mechanism With Five Independently Driven Fingers, Takeshi Takaki, Keisuke Shima, Naohisa Mukaidani, Toshio Tsuji, Akira Otsuka and Takaaki Chin, *Advanced Robotics*, Vol. 29, No. 24, pp. 1586-1598, 08 Oct 2015. 査読有
- ii. A Recurrent Probabilistic Neural Network with Dimensionality Reduction Based on Time-series Discriminant Component Analysis, Hideaki Hayashi, Taro Shibanoki, Keisuke Shima, Yuichi Kurita, and Toshio Tsuji *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, Vol. 26, No. 12, pp. 3021-3033, 2015. 査読有
- iii. 未学習クラス推定ニューラルネットの提案と筋電義手制御への応用, 島 圭介, 今儀潤一, 早志 英朗, 芝軒 太郎, 栗田 雄一, 辻 敏夫, *日本ロボット学会誌*, Vol. 33, No. 4, pp. 275-284, 2015. 査読有
- iv. CPG シナジー仮説: 非定常リズム信号を生成可能な CPG シナジーモデルの提案と指タップ運動の表現, 島 圭介, 丸元 崇弘, 芝軒 太郎, 栗田 雄一, 辻 敏夫, 神鳥 明彦, 佐野 佑子, 吉栖 正生, 佐古田 三郎, *計測自動制御学会論文集*, Vol. 49, No. 7, pp. 688-695, 2013. 査読有
- v. 同時事後確率推定ニューラルネットを用いた双腕動作識別法, 島 圭介, 平松 侑樹, 芝軒 太郎, 辻 敏夫, *計測自動制御学会論文集*, Vol. 49, No. 5, pp. 568-575, 2013. 査読有

[学会発表](計 12 件)

- i. Investigation of Relationships between Body Sway and Fingertip Vibrotactile Stimulation Based on Virtual Light Touch Contact, Mami Sakata, Keisuke Shima and Koji Shimatani, *Proceedings of the Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016)*, pp. 280-283, B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 20-22, 2016
- ii. 仮想ライトタッチコンタクトによる歩行支援システム -ウェアラブルデバイスの開

- 発-, 山下 正次, 坂田 茉実, 関島 律, 島圭介, 島谷 康司, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2015), pp. 2653-2654, 名古屋国際会議場, 2015 年 12 月 14-16 日
- iii. A Standing-function Evaluation Method Based on Virtual Light Touch Contact, Mami Sakata, Keisuke Shima, and Koji Shimatani, Proceedings of the IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS), pp. 153--156, Atlanta, Georgia, USA, October 22-24, 2015.
- iv. 仮想壁を利用した立位機能評価法 -高齢者に対する有効性の検討-, 坂田 茉実, 島圭介, 島谷 康司, 第 33 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, RSJ2015AC2L2-02, 東京電機大学, 2015 年 9 月 4 日
- v. Novel Concept for Evaluation of Standing Function Based on Virtual Light Touch Contact, Mami Sakata, Keisuke Shima, and Koji Shimatani, Proceedings of 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2015), 12.LB1, MiCo, Milan, Italy, August 25-29, 2015
- vi. 未学習クラス推定ニューラルネットを用いた筋電パターン識別システム, 青木 貴裕, 島圭介, 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2014), pp. 1923-1928, 2014 年 12 月 17 日
- vii. 仮想ライトタッチコンタクトを利用した立位機能評価システム
坂田 茉実, 白樫 公介, 島圭介, 島谷 康司, 第 15 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2014), pp. 2700-2703, 2014 年 12 月 17 日
- viii. A Novel Classification Method with Unlearned-class Detection Based on a Gaussian Mixture Model, Keisuke Shima and Takahiro Aoki, Proceedings of 2014 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 3747-3752, October 8, 2014, San Diego, CA, USA
- ix. 振動刺激を利用した仮想ライトタッチコンタクトによる歩行支援法, 島圭介, 白樫 公介, 島谷 康司, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集 ,1P2- E04, 富山市総合体育館, 2014 年 5 月 26 日
- x. 余事象分布を導入した混合正規分布に基づく未学習クラス推定ニューラルネット, 青木 貴裕, 島圭介, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集 ,1P2-E02, 富山市総合体育館, 2014 年 5 月 26 日
- xi. 仮想インピーダンスを利用した立位姿勢保持支援システム, 白樫 公介, 島谷 康司, 辻 敏夫, 島圭介, 第 26 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 1A23, pp.

- 23-24, 2014 年 1 月 11 日
- xii. Novel Method for Mitigation of Body Sway and Preliminary Results for Tandem Standing, Keisuke Shima, Koji Shimatani, Yuichi Kurita, and Toshio Tsuji, 2013 International Symposium on Micro-Nano Mechatronics and Human Science (MHS), pp. 71-73, November, 2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 1 件)

名称: 指標値算出装置、指標値算出システム、指標値算出方法およびプログラム
発明者: 島圭介, 島谷康司, 坂田茉実
権利者: 同上
種類: 特許
番号: 2015-104744
出願年月日: 平成 27 年 5 月 22 日
国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕
ホームページ
<http://www.bmer.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
島圭介 (SHIMA, Keisuke)
横浜国立大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 50649754
- (2) 研究分担者
なし
- (3) 連携研究者
島谷 康司 (SHIMATANI, Koji)
県立広島大学・保健福祉学部・准教授
研究者番号: 00433384