

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21446

研究課題名(和文)足圧中心-体性感覚バイオフィードバックの臨床応用とそのメカニズムの解明

研究課題名(英文)Clinical application and elucidating a mechanism of the haptic-based biofeedback system for balance rehabilitation in stroke patients

研究代表者

安田 和弘 (YASUDA, KAZUHIRO)

早稲田大学・理工学術院総合研究所(理工学研究所)・次席研究員(研究院講師)

研究者番号：50633640

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、脳卒中バランスリハビリテーションに用いる体性感覚型バイオフィードバック(BF)システムを開発し、姿勢安定性および荷重移動課題への適応可能性を検証した。安定性課題では、足圧中心偏移方向を振動でBFする装置を開発し、脳卒中患者を対象にBF群・コントロール群において比較した。結果として95%信頼楕円面積、左右移動距離においてBF群は有意に減少した。荷重移動では、健常者で荷重移動を感知できないウェーバー比を算出し、4名の患者に適用した。その結果、患者は荷重量の増加を認識することなく、中等度麻痺者の2名においては、介入後に歩行時着床時間の対称性が改善した。

研究成果の概要(英文)：The aim of the present study was to development and test whether a haptic biofeedback system for balance rehabilitation contributes to an improved postural stability and ability of the weight-shifting in patients with stroke. As for the postural stability, our study showed that balance task with a haptic based biofeedback system that provided supplementary sensory cues associated with center of foot pressure displacement has effects on the improvement of the postural stability in stroke patients. Further, in terms of the weight shift task, we conducted an experiment to produce a Weber's fraction capable of calculating a just-noticeable difference during a weight-shifting task. We then applied this Weber's fraction to a weight-shifting task in patients with stroke. Using the implicit guidance method, the patients did not perceive an increase in weight bearing while weight shifting. Furthermore, the implicit guidance method appeared to improve symmetry during walking.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：脳卒中 知覚-運動制御 感覚統合 バイオフィードバック 立位姿勢制御 バランスリハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

脳血管障害の後遺症のなかでも立位バランス障害は生活自立を制限する要因であり、片麻痺者では、安定性低下や荷重移動能力制限が問題となる (de Haart, et al. 2004)。

脳卒中患者は感覚麻痺により体性感覚入力が減弱する。そのため、患者は視覚依存傾向を強め、過度な視覚依存が体性感覚利用率を減少させること、高次の前庭や視覚との感覚統合過程で感覚依存度を切り替えることが困難になる (Bonan, et al.2004)。前庭障害者に対して舌に身体偏移方向を電気刺激呈示することで感覚情報を補完しバランス能力を改善させた例が存在するが、脳卒中片麻痺に対する体性感覚型の感覚情報補完技術は現状存在しない。

脳卒中片麻痺者は荷重移動課題において動作に努力を要することで、連合反応や痙性を誘発することがある (Bhakta, et al. 2001)。さらに、立位状態での荷重移動課題は、不安情動を喚起する。情動変化と姿勢制御の関係を示した研究では、高所での立位保持は下腿周囲の筋群を過剰に緊張させる“stiffness behavior”を誘発することが報告されており (Young, et al.2014)、異常筋緊張を助長する可能性が高い。これまで明示的に荷重量を増加させる取り組みは報告されているが、患者の異常筋緊張や不安情動を助長しない非明示的システムに関する報告は見当たらない。

2. 研究の目的

本研究では、脳卒中片麻痺者の立位バランスにおける足圧中心の時間的、空間的变化を体性感覚 BF する装置を開発する。本装置を用いて具体的には、1)麻痺による感覚入力を人工的に補完することで、姿勢安定性の向上を図るもの、2)振動誘導により非明示的に荷重量の増加を図るもの、2つのシステムの効果検証を実施する。

3. 研究の方法

(1)姿勢安定性システム

足圧取得用 Wii ボード、振動ベルト、PC (ソフトウェア・通信) から構成されている。本装置では、センサで取得した足圧位置を体幹に配置した振動子に伝達し、身体の偏りを感知させる。

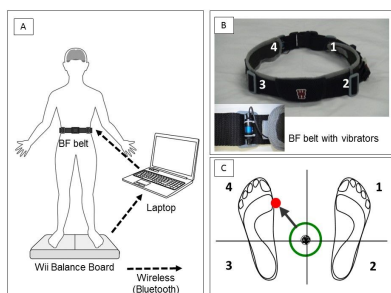


図1 支援装置の構成図 (Yasuda, 2017) より引用

足圧偏移方向に応じて対応する象限に配置された振動子が振動する。設定された閾値内で振動は停止する。

脳卒中片麻痺者における立位バランスへの影響を検証するために、介入群 (9名)・コントロール群 (8名) に割り付けをおこない、介入前後の立位姿勢制御能力を測定し、群間比較を行った。患者の選定基準は、a) 下肢ブルンストロームステージ ~ , b) 高次脳機能障害がないもの、c) 試験を行う上で一定の理解力を有していること (認知症がないもの)、d) バランス能力に対して影響を及ぼす重大な疾患が脳卒中以外にないことであった。

(2)荷重誘導システム

次に努力的荷重移動動作を低減するために、非明示的に荷重移動課題を遂行する機構を案出した。ここでは、ウェーバー比を用いることで非明示的荷重の実現を図った。ウェーバー比とは、感覚の強さの差を感じる最小の値 (丁度可知差異: R) は、刺激強度 (R) が増せばそれに比例して増すという関係であり、その比 C (ウェーバー比) は一定であるとするもの ($R/R=C$) である。

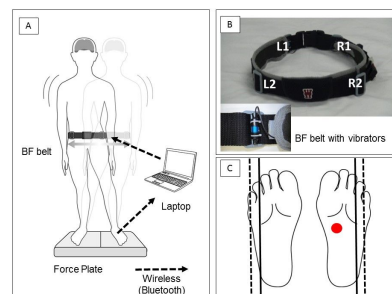


図2 荷重誘導システム

左右の振動子の合図に応じて目標荷重量まで重心移動を反復する。目標荷重は非明示的に増加する。

健常者を対象として、以下の手順にてウェーバー比を導出した。基本課題は立位での左右への繰り返し荷重移動課題であった。実験参加者は足幅 30cm で立位姿勢となり、左腰の振動付与側 (L1/2 の振動子) に体重移動を開始し、約 10 秒でターゲット位置である 60% 荷重位まで荷重移動した (図 2)。振動停止後は右側に振動が付与され、左側同様に、ターゲット位置まで荷重移動を行った。左右の足に 1 回ずつ荷重移動後、設定したウェーバー比 (初期値 0.05) をもとに荷重移動量を実験参加者に明示せず増加させた。以上の手順を 90 秒間繰り返し、実験後に荷重移動量が増加したと感じたかを二件法により回答させた (回答の選択肢は「増加した」、「変わらない」)。初期値のウェーバー比での荷重移動課題を行った後、実験参加者の回答に応じてウェーバー比を漸増・漸減した (荷重移動量の増加を感じた場合は漸減、変わらない場合は漸増)。

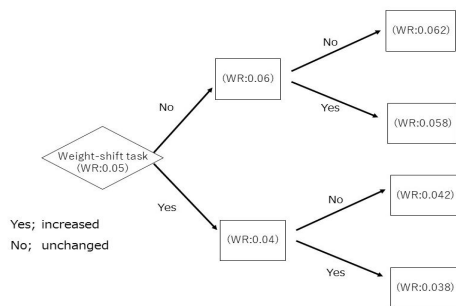


図3 荷重移動課題におけるウェーバー比算出手順

ウェーバー比の0.01の変化により回答に変化が生じる箇所を導出した後は、認知できた値から0.002ずつ漸減させていき、荷重移動量の増加を認知できないウェーバー比を被験者毎に導出した。

荷重誘導システムにより非明示的誘導が可能かを検証するために、患者4名に反復荷重移動課題による適応を実施した。また、荷重能力と歩行改善効果を検証するために、中程度麻痺(2名)・軽度麻痺(2名)に分類をおこない、介入前後の変化を各群ごとと比較した。中程度麻痺者はプルンストロームステージ ~ , 軽度麻痺者は ~ であった。

4. 研究成果

(1) 姿勢安定性システム

95%信頼楕円面積をプレポスト間で比較した結果、BF群はコントロール群に比較して有意に動揺面積が減少した($p < 0.01$)。また、前後移動量にはプレポスト間で差を認めなかったが、左右移動量では有意に動揺が減少した($p < 0.01$)。本結果から、脳卒中片麻痺患者において、適切に感覚情報を補完することでバランスにおける知覚-運動ループを再建できることを示した。

(2) 荷重誘導システム

ウェーバー比の平均値は0.045, SD:0.0078, 最大値:0.054, 最小値:0.024であり, 95%信頼区間は0.040-0.050であった。70秒間×4セットの荷重移動課題中に患者は荷重量の増加を認知しなかった。

中等度麻痺患者の荷重量と着床時間の対称性をプレポスト間で比較した結果、荷重量には差を認めなかったが、着床時間の対称性は有意に改善した($p < 0.01$)。しかしながら、軽度麻痺患者の荷重量と着床時間の対称性では、ともに有意差を認めなかった。本結果から、振動による合図を用いて非明示的に荷重誘導が可能であることを示し、中等度麻痺患者の非対称性歩行の改善効果を示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計8件)

1. Yasuda K, Muroi D, Ohira M, Iwata H,

Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: a pilot study. topics in stroke rehabilitation (accepted). (査読有)

2. Yasuda K, Kaibuki N, Harashima H, Iwata H, The effect of a haptic biofeedback system on postural control in patients with stroke: an experimental pilot study.2017. somatosensory and motor research. Apr3:1-7pages.doi: 10.1080/08990220.2017.1292236 (査読有)

3. 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平「転倒予防のための障害物回避行動に関する基礎研究: 障害物の跨ぎ越えにみられる適応性」, 経済貿易研究, 43号, 97-107頁, 2017. (査読無)

4. 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平, 青山慶, 樋口貴広「知覚と行為の乖離の実験的構成: 下肢加重による跨ぎ越え課題での検討」, 認知科学, 24巻2号, 169-184頁, 2017. (査読有)

5. Saichi K, Yasuda K, Kitaji Y, Kaibuki N and Iwata H, Development and pilot clinical evaluation of a haptic-based perception-empathy biofeedback device for gait rehabilitation, Proceeding of the 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2016, pp. 6158-6161.doi: 10.1109/EMBC.2016.7592134 (査読有)

6. 安田和弘, 堀川峻太郎, 室井大佑, 岩田浩康「両側下腿切断者の立位姿勢に対する体性感覚バイオフィードバックによる感覚代行効果」バイオメカニズム学会誌, 40巻3号, 213-219頁, 2016 (査読有)

7. 竹内貴哉, 安田和弘, 姫野好美, 黒木洋美, 岩田浩康, 「注意の解放と移動を促すUSN治療支援システムの開発 - 注意誘導スリットによる即時的効果の検証 - 」ライフサポート学会誌, 28巻4号, 133-138頁, 2016(査読有)

8. 保科智啓, 安田和弘, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康「人工筋肉駆動型背屈支援RTの開発および臨床試験における背屈支援の評価」ライフサポート学会誌, 28巻3号, 90-96頁, 2016 (査読有)

〔学会発表〕(計16件)

1. 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平「身体でスケール化された高さの障害物の跨ぎ越え: 行為安定性の変化に関する予備的検討」, 日本認知科学会第34回大会, 2017年9月13~15日金沢大学 角間キャンパス(石川県金沢市)

2. Kodama K, Yasuda K, Sonoda K, How does

stepping-over behavior change depending on the obstacle height?, 23th International conference. International Society for Posture & Gait Research, 25-29 June, Fort Lauderdale, Florida, USA

3. 安田和弘, 室井大佑, 大平雅弘, 岩田浩康「3次元仮想空間内における右方空間のブラックアウトによる半側空間無視に対する注意誘導効果 身体近傍・身体外空間および課題特異的效果に基づいたシステムデザイン」, 第52回日本理学療法学会, 2017年5月12~14日, 幕張メッセ国際会議場(千葉, 千葉市)

4. 堀川峻太郎, 安田和弘, 岩田浩康「片麻痺荷重訓練における不安低減及び運動学習のための非明示的加重誘導手法 ~前後加重を非明示的に実現するウェーバー比の導出実験~」, 第17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(SI2016), 2016年12月15日~17日, 札幌コンベンションセンター(北海道, 札幌市)

5. 鈴木慈, 福嶋勇太, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康「高背屈支援 RT のための荷重応答期における背屈モーメント決定因子の分析と検討」第17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(SI2016), 2016年12月15日~17日, 札幌コンベンションセンター(北海道, 札幌市)

6. 保科智啓, 福嶋勇太, 森崎寿文, 安田和弘, 大橋洋輝, 岩田浩康「パーキンソン病の歩行異常に対する牽引力錯覚を用いた矛盾性運動誘発デバイスの開発」第37回バイオメカニズム学術講演会, 2016年11月12日~13日, 富山県立大学(富山, 射水市)

7. 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平「生態学的/力学系アプローチによる身体-環境システムの障害物回避行動モデル」LIFE2016, 2016年9月4~6日, 東北大学(宮城, 仙台市)

8. 田中元基, 福嶋勇太, 安田和弘, 保科智啓, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康「背屈・外反動作を独立に支援可能な内反尖足患者のための下腿フィッティング型足関節支援 RT の開発」LIFE2016, 2016年9月4~6日, 東北大学(宮城, 仙台市)

9. 齋地健太, 安田和弘, 北地雄, 貝吹奈緒美, 原島宏明, 岩田浩康「触覚バイオフィードバックに基づく歩行リハビリ支援システム-第12報: 足接地パターンの背部への振動付与に対する歩行適応過程の検証-」, LIFE2016, 2016年9月4~6日, 東北大学(宮城, 仙台市)

10. 安田和弘, 室井大佑, 大平雅弘, 岩田浩康

「半側空間無視の近位・遠位空間無視を統合的に治療可能な没入型 VR 治療システムの開発」LIFE2016, 2016年9月4~6日, 東北大学(宮城, 仙台市)

11. Saichi K, Yasuda K, Kitaji Y, Kaibuki N, Iwata H, Development and pilot clinical evaluation of a haptic-based perception-empathy biofeedback device for gait rehabilitation. 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Aug 16-20, Disney's Contemporary Resort, Florida, USA.

12. 安田和弘, 堀川峻太郎, 岩田浩康「非明示的加重誘導手法の案出および荷重移動課題への適用 -荷重移動課題におけるウェーバー比の導出および検証実験-」第2回支援工学療法学会, 2015年12月12日, 首都大学東京荒川キャンパス(東京, 荒川区)

13. 安田和弘, 岩田浩康「没入型HMDによる視覚誘導性自己運動知覚の生起と姿勢応答解析 -高臨場感・ポータビリティに優れた知覚体験システムの構築-」第2回理学療法基礎学会, 2015年11月15日, 神奈川県立保健福祉大学(神奈川, 横須賀市)

14. 児玉謙太郎, 安田和弘, 園田耕平, 青山慶・樋口貴広「加重による負荷が跨ぎ越え動作の知覚と行為の乖離に及ぼす影響」日本認知科学会第32回大会, 2015年9月18~20日, 千葉大学(千葉, 千葉市)

15. 貝吹奈緒美, 安田和弘, 原島宏明, 宮野佐年, 岩田浩康「慢性期脳卒中患者のバランス障害に対する体性感覚型バイオフィードバック装置の中期的介入による効果検討」第34回東京都理学療法学会, 2015年6月14日, 東京医科歯科大学湯島キャンパス(東京, 文京区).

16. Yasuda K, Kaibuki N, Watanabe S, Harashima H, Iwata H, A vibro-tactile biofeedback system supplying online center of foot pressure displacement for balance training in stroke patients. The World Confederation for Physical Therapy Congress 2015. 1-4 May 2015. Suntec Singapore Convention and Exhibition Centre, Singapore

〔図書〕(計1件)
樋口貴広, 和泉謙二, 真下英明, 種村留美, 知覚に根差したリハビリテーション, 株式会社シービーアール, 第9章「多感覚相互作用と立位姿勢制御」, 144-162頁(全264頁)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

<https://kazuhiroyasuda.wordpress.com/>

6．研究組織

(1)研究代表者

安田 和弘 (KAZUHIRO YASUDA)

早稲田大学理工学術院総合研究所 講師

研究者番号：50633640

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし