

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01875

研究課題名(和文) 脳卒中に対する足圧-体性感覚バイオフィードバックによる歩行トレーニング法の開発

研究課題名(英文) Development of a Gait Training Method for Stroke Patients Using Foot Pressure Biofeedback System

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) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ヒトの立位および歩行時における足圧遷移の時間的、空間的变化を有効に体性感覚フィードバックする装置の効果を明らかにすることが目的であった。バランス・歩行BFシステムを開発し、脳卒中事例を対象として介入を実施した。身体動揺面積で有意傾向、臨床的バランス評価で有意にバランス能力が改善した。しかしながら、複合的バランス検査であるBBSは臨床的に意義のある変化までは至らなかった。歩行では踵接地時の背屈角度に変化を認めなかったが、蹴り出し時の底屈が増加し、健足重複歩距離が上昇した。この結果から、開発したシステムの実行可能性を一部示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ヒトの立位および歩行時における足圧遷移の時間的、空間的变化を有効に体性感覚フィードバックする装置の効果を一部明らかにした。これまで、脳卒中患者における感覚補完システムの適応および実証を行った事例は本邦では無く、神経障害由来の知覚-運動循環の不全に対して実行可能性を示した意義は高い。また、BF単独ではなくセラピストとの共感を行うことで学習効果を飛躍的に高めようとする装置を実装した。システムは小型で汎用性が高いために、様々な環境場面で活用できることが期待される。

研究成果の概要(英文)：The present study aims to examine the temporal and spatial changes in foot pressure transition in standing and walking by using newly developed biofeedback(BF) system. We developed a balance and gait BF system and implemented an intervention for stroke patients. There was a significant change in the sway area and a significant improvement in balance ability on clinical balance assessment. However, BBS, a complex balance evaluation, did not lead to clinically meaningful changes. In terms of gait training with BF system, dorsiflexion angle at heel-contact was unchanged, but plantar flexion at put off increased, and the stride length at intact leg was increased. The results partly show the feasibility of the developed BF system.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：脳卒中 感覚麻痺 歩行障害 バイオフィードバック 感覚補完・代行 リハビリテーション

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

バランス・歩行リハビリに対するバイオフィードバック(BF)療法では、視覚刺激を用いたもの(足圧分布表示, 等)が大半であるが、時空間的認知を容易にする有利性に反して、学習性に乏しいことが分かっている (Van Peppen et al. 2006)。この理由として、元々、脳卒中患者は視覚に強く依存しており、視覚 BF への過度な依存(感覚入力の問題)および視覚の優先が体性感覚利用率を減少(感覚選択の問題)させる等が指摘されている (Bonan et al. 2004)。仮に、歩行調整に必要な足圧情報を体性感覚的に補完できれば、視覚依存を避け、環境条件に縛られない BF 療法を展開できることが期待される。

### 2. 研究の目的

BF 療法は、生体反応を光や音などの捉えやすい情報へ変換し、それらの情報を患者が認知することで、目的とする生体反応や運動制御を引き出す治療法である。本研究では、ヒトの立位および歩行時における足圧遷移の時間的、空間的变化を有効に体性感覚フィードバックする装置の脳卒中リハビリテーションにおける運動学習への応用および介入効果を明らかにすることを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 バランス BF システムの開発

本研究で取り組むバランス BF システムの構成図をエラー! 参照元が見つかりません。に示した。バランス BF システムは大きく足圧取得用 Wii ボードと骨盤ベルト、タブレット PC (ソフトウェア・通信)の3つ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情報を体幹に配置した振動子に伝達することで、異常な身体の偏りを感じさせる。さらに本システムでは、体幹へ BF を療法士へも伝達することで教示や褒め等のフィードバックを効率化することができる(図エラー! 参照元が見つかりません。-B)。

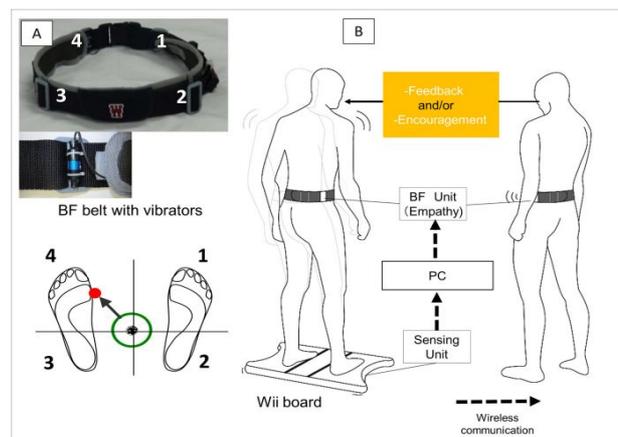


図1 バランス BF システムの構成図 (Yasuda,2018 より引用)

#### 3.1.1 対象

発症より6か月以上経過した脳卒中片麻痺者9名。患者の選定基準は、a) 下肢ブルンストロームステージ ~ , b) 高次脳機能障害なし, 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), 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。

### 3.1.2 方法

バランス支援 RT による立位バランス改善効果を検証するために、介入群（9 名）において介入前後の立位姿勢制御能力を測定し、前後比較を行った。また介入に関しては 15 分間のトレーニングを週 2 回 1 か月間実施した。プレ・ポストテストでは床反力計で立位姿勢動揺測定を 6 回行う。介入群では片麻痺者がバランス支援 RT を装着して療法士からのフィードバックを受けながらトレーニングを実施する。バランス支援 RT を用いたトレーニングについてはトレーニングプロトコル（30 秒間×10 セッション）を 15 分間行う。BF 情報の利用の仕方については担当療法士からベルトの振動子と身体動揺の関係を教示し、それに基づいて患者はトレーニングにフィードバックを利用する。

片麻痺者のバランスにおけるパフォーマンスの評価として足圧中心における 95% 信頼楕円面積（身体動揺面積）、前後左右の動揺評価として前後左右平均移動量、前後左右距離標準偏差を測定する。さらに臨床的バランス評価項目として、Berg Balance Scale (BBS)、Functional Reach Test (FRT)、Timed Get up and Go Test (TUG) を測定する。前後比較のために平均値を算出し、ウィルコクソン符号順位検定にて比較検証した。

### 3.2 歩行 BF システム開発

これまで説明してきたバランス BF システムでは、姿勢安定性向上を目的としてきたが、脳卒中患者では歩行能力を向上させる必要性が高い。臨床では歩行トレーニングが頻繁に実施されているが、脳卒中患者は動作に努力を要する課題では、過剰な筋緊張からつま先接地を誘発することがある。しかしながら、麻痺患者は感覚麻痺を有することが多く、自己修正ができないケースが大半である。このような異常な筋緊張や感覚麻痺による修正不全を避けるために、本研究では、新たに開発した歩行 BF システム開発を用いて足底接地感覚を代行する機構を案出した（図 2）。本装置では足底に圧力センサを挿入し、接地部位を背部に振動フィードバックする。さらに、療法士にも振動フィードバックする共感型システムを付与することで、適切な教示や褒めを患者に提示できる。

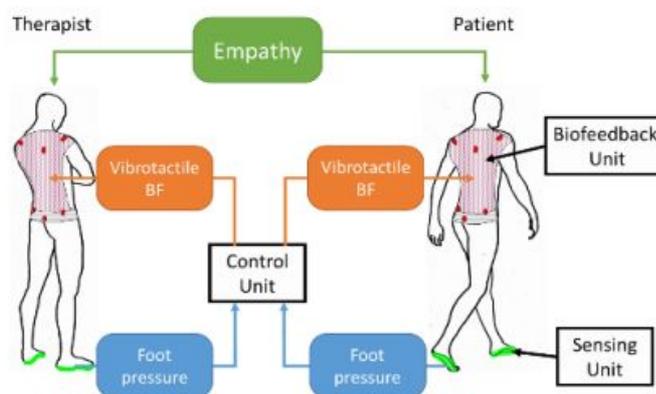


図 2 歩行 BF システムの構成図

#### 3.2.1 対象

実験参加者は、本研究の趣旨を理解し、紙面上で同意の得られた回復期の脳卒中片麻痺患者 6 名であった。患者の選定基準は、a) 下肢ブルンストロームステージ 以上、b) 高次脳機能障害なし、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）、d) 歩行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。

#### 3.2.2 方法

回復期の片麻痺者 6 名を対象に、3 週間の介入を行った。介入は歩行 BF システムを用いた 20 分間の歩行訓練を各週 3 回ずつ、合計 9 回実施した。歩行訓練では、患者及び療法士が知覚共感ウェアを着用し、歩行中の患者の麻痺側足底圧を背部へ振動バイオフィードバックした。これにより、患者は接地状態を知覚しながら歩行し、それに対して療法士はバイオフィードバックに基づいて動作指導を行った。測定は介入開始前、介入開始 3 週間後の計 2 回行った。各測定日で歩行パフォーマンスの評価指標として 10m 歩行速度、関節角度指標として麻痺側離地時および初期接地時の足関節角度、麻痺側の蹴り出しの評価指標として床反力計 P-walk (BTS 社) を用いて健足重複歩距離を測定した。各々の指標に関して Pre-Test (week0) と Post-Test (week3) を Wilcoxon の符号順位和検定を用いて比較した。

#### 4. 研究成果

姿勢動揺量・臨床的バランス評価項目の前後比較結果を以下に示す。

##### (1) 姿勢動揺量の評価

95% 信頼楕円面積で前後間に有意傾向があり、事後測定にて動揺量が減少した ( $p < 0.1$ )。その他の変数では前後間に有意差は認めなかった。

##### (2) 臨床的バランス評価

BBS, FRT, TUG にて前後間で有意差を認めた ( $p < 0.01$ )。一方で BBS のみ臨床的に意義のある差 (Minimal Detectable Change ; MDC) には至らなかった。

歩行評価項目の前後比較結果を以下に示す。

(1) 麻痺側離地時の足関節角度では前後間に有意傾向を認め、介入後に上昇した ( $p = 0.0747$ )。

(2) 麻痺側接地時の足関節角度は介入前後にて有意差を認めなかった ( $p = 0.6002$ )。

(3) 健側重複歩距離は、介入後に有意に上昇した ( $p = 0.0277$ )。

(4) ケイデンスは前後間に有意差を認めなかった ( $p = 0.1159$ )。

(5) 10m 歩行速度は前後間に有意差を認めなかった ( $p = 0.1730$ )。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kazuhiro Yasuda, Yuki Hayashi, Anna Tawara, Hiroyasu Iwata	4. 巻 10:1008
2. 論文標題 Using a Vibrotactile Biofeedback Device to Augment Foot Pressure During Walking in Healthy Older Adults: A Brief Report	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Psychology, section Perception Science	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2019.01008	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 Kentaro Kodama, Kazuhiro Yasuda, Nikita Kuznetsov, Yuki Hayashi, Hiroyasu Iwata	4. 巻 13:84
2. 論文標題 Balance Training with a Vibrotactile Biofeedback System Affects the Dynamical Structure of the Center of Pressure Trajectories in Chronic Stroke Patients	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2019.00084	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 Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Naomi Kaibuki, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata	4. 巻 62
2. 論文標題 Haptic-based perception-empathy biofeedback system for balance rehabilitation in chronic stroke patients: Concepts and initial feasibility study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Gait and Posture	6. 最初と最後の頁 484-489
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gaitpost.2018.04.013	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 Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Hiroyasu Iwata	4. 巻 5:149
2. 論文標題 Haptic-based perception-empathy biofeedback enhances postural motor learning during high-cognitive load task in healthy older adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Medicine	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fmed.2018.00149	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 Yasuda K, Muroi D, Ohira M, Iwata H	4. 巻 24(7)
2. 論文標題 Validation of an immersive virtual reality system for training near and far space neglect in individuals with stroke: a pilot study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Topics in stroke rehabilitation	6. 最初と最後の頁 65-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/10749357.2017.1351069	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 河田 俊, 安田 和弘, 岩田 浩康	4. 巻 83(851)
2. 論文標題 フリースロー初心者のためのBF型セット・フォーム習得支援RTの開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	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) 10.1299/transjsme.16-00515	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 Yasuda K, Saichi K, Kitaji Y, Harashima H, Iwata H	4. 巻 4(29)
2. 論文標題 Development of an Implicit Method for Directing Weight Shifting to the Affected Side in Patients with Stroke: A Proof of Concept Study	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	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/s40648-017-0094-2	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 Yasuda K, Muroi D, Hirano M, Saichi K, Iwata H	4. 巻 Mar 9
2. 論文標題 Differing effects of an immersive virtual reality program on unilateral spatial neglect on activities of daily living	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BMJ Case Report	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) 10.1136/bcr-2017-222860	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 Yasuda K, Saichi K, Kaibuki N, Harashima H, Iwata H	4. 巻 in press
2. 論文標題 Haptic-based perception-empathy biofeedback system for balance rehabilitation in chronic stroke patients: Concepts and initial feasibility study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Gait and Posture	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) 10.1016/j.gaitpost.2018.04.013	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 Yasuda K, Saichi K, Iwata H	4. 巻 in press
2. 論文標題 Haptic-based perception-empathy biofeedback enhances postural motor learning during high-cognitive load task in healthy older adults	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Medicine	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) 10.3389/fmed.2018.00149	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 福嶋勇太, 安田和弘, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 脳卒中片麻痺歩行に対するばねと人工筋肉を用いた背屈支援装置の開発 - 踵接地時の膝折れ挙動に対する影響の検証 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ライフサポート学会誌	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) なし	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 5件)

1. 発表者名 Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Hiroyasu Iwata
2. 発表標題 Design and initial validity study of perception-empathy biofeedback system for gait training in older adults
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akinori Hagiwara, Yasuda Kazuhiro, Kenta Saichi, Daisuke Muroi, Shuntarou Kawaguchi, Masahiro Ohira, Tadimitsu Matsuda, Hiroyasu Iwata
2. 発表標題 Development of a visual cueing system using immersive virtual reality for object-centered neglect in stroke patients
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2018) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Hayashi, Kazuhiro Yasuda, Yu Kitaji, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata
2. 発表標題 A haptic-based perception-empathy biofeedback device that supplements foot pressure pattern during gait in stroke patients
3. 学会等名 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jing-Chen Hong, Yuta Fukushima, Shigeru Suzuki, Kazuhiro Yasuda, Hiroki Ohashi, Hiroyasu Iwata
2. 発表標題 Estimation of Ankle Dorsiflexion Ankle during Loading Response Phase for Spring Coefficient Identification
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuhiro Yasuda, Kenta Saichi, Naomi Kaibuki, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata
2. 発表標題 Clinical Effectiveness of a haptic-based perception-empathy biofeedback system for balance rehabilitation in patients with chronic stroke
3. 学会等名 10th World Congress for NeuroRehabilitation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 安田 和弘, 室井 大佑, 大平 雅弘, 岩田 浩康
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第52回日本理学療法学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 安田 和弘 (指定討論者)
2. 発表標題 感覚代行 / 補完技術を応用した工学的支援技術 - バランス・歩行リハビリテーションへの応用 -
3. 学会等名 日本神経理学療法学会 参加型フォーラム2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 安田和弘	4. 発行年 2018年
2. 出版社 開発機関の承認を得て公開	5. 総ページ数 34頁
3. 書名 Kinovea : Motion Capture Software (日本語版マニュアル)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>共感型デバイスにより運動学習を効果的に行う方法を報告  <a href="https://www.waseda.jp/fsci/wise/news/2018/06/26/2169/Perception-Empathy%20Biofeedback%20System">https://www.waseda.jp/fsci/wise/news/2018/06/26/2169/Perception-Empathy Biofeedback System</a>  <a href="https://ispgr.org/how-to-encourage-others-refining-interpersonal-feedback-using-a-perception-empathy-biofeedback-system/">https://ispgr.org/how-to-encourage-others-refining-interpersonal-feedback-using-a-perception-empathy-biofeedback-system/</a></p>
---

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
--	---------------------------	-----------------------	----