

環境-身体の相互作用を再構築するヒューマンマシンインターフェースの開発

研究代表者 安田 和弘
(理工学研究所 理工研が募集する次席研究員)

1. 研究課題

本邦において脳血管障害の罹患者は約 130 万人と多く、後遺症である片麻痺は日常生活への復帰を著しく阻害する。また後遺症のなかでも、歩行障害は生活自立を制限する主たる要因のため、リハビリテーションを効率良く進めることが求められる。本研究では、脳卒中患者の歩行における足圧中心の時間的、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開発、リハビリテーションにおける効果検証を目的とする。バイオフィードバック (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。ここでは、障害により感覚入力 of 減弱した状態に対して、足圧中心 (CoP) の変化を体性感覚を介して患者に伝達するシステムの開発に取り組み、その有効性を明らかにしたい。

2. 主な研究成果

2.1 システムの開発

本研究で取り組む知覚支援 RT の構成図をエラー! 参照元が見つかりません。に示した。知覚支援 RT は大きく足圧取得インソールと知覚共感ウェア、タブレット (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、足圧センサで取得した位置情報を体幹に配置した振動子に伝達することで、異常な接地状態を感知させる。また、同時に療法士が振動を感知することで客観的なフィードバック情報に基づいた適切な指導を可能とする (以下、これを“知覚共感”と呼ぶ)。

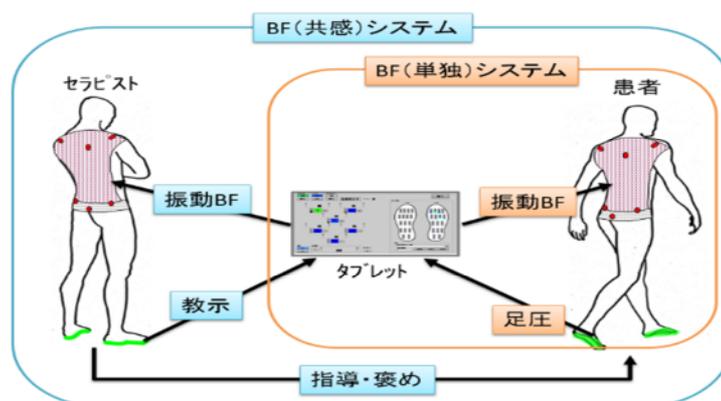


図1 知覚支援 RT の構成図

知覚共感ウェアの外観を図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。に示す。この知覚共感ウェアの特徴として、400[g]と軽量でありライフベスト型を採用しているため、患者にとって装

着容易性が非常に高い仕様となっている。



図 エラー! 指定したスタイルは使われていません。 知覚共感ウェア

足圧取得用インソールを図 3 に示す。この足圧取得インソールの特徴として 70[g]と軽量かつ利用者に不快感を与えない質感になっており、無線通信できることから使用する環境を選ばない。専用の靴を使用せず、患者が利用している靴にインソールとして挿入することで利用できる。



図 3 足圧取得インソール

知覚支援 RT をコントロールするソフトウェアを図 4 に示し、スイッチ機能を表 1 に示した。

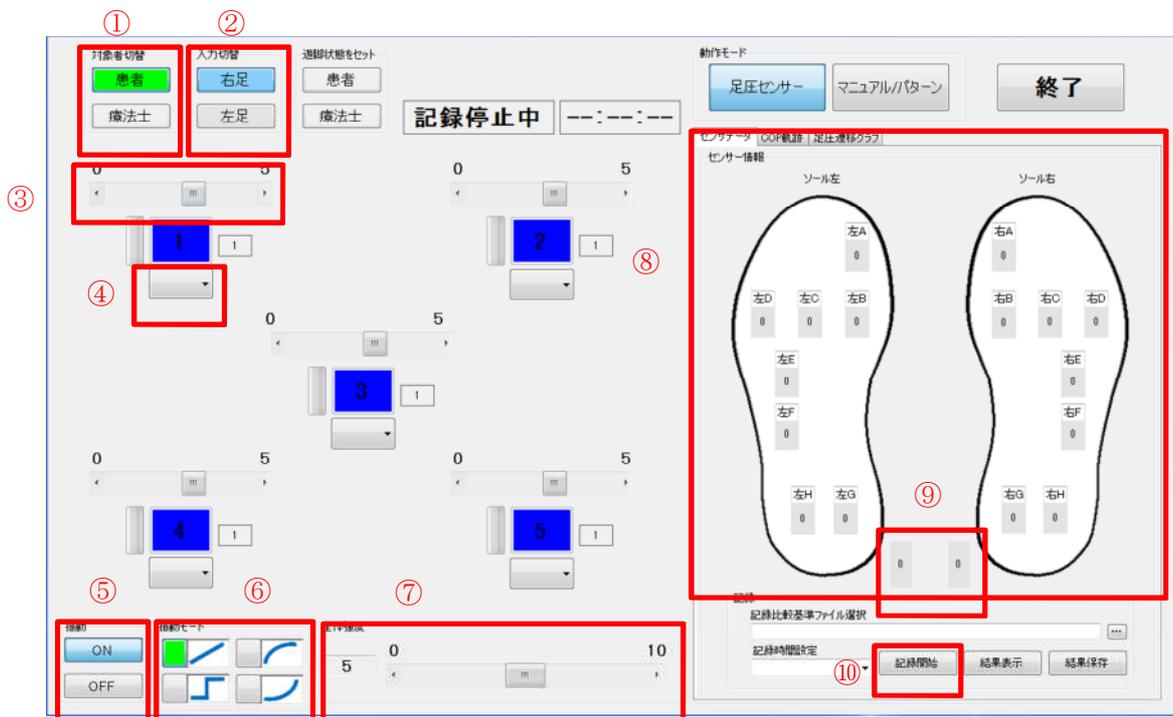


図 4 知覚共感ウェアソフトウェア

表 1 知覚共感ウェアソフトウェアにおけるスイッチの役割

①	振動 BF する対象者を「患者/療法士」で選択する
②	振動 BF する足を「右足/左足」で選択する
③	各振動子の振動強度を変更する
④	各振動子別の「ON/OFF」を選択する
⑤	全体の振動を「ON/OFF」で選択する
⑥	足圧に対する振動強度を「比例/ステップ/漸近的/指數的」から選択する
⑦	全体の振動強度を変更する
⑧	センサから得られた足圧データを表示する
⑨	インソールのバッテリー残量を表示する
⑩	センサで得られたデータを記録する

2.2 臨床試験

本研究への参加については事前に倫理審査書類に同意を得た（早稲田大学倫理審査番号：2015-087）。

2.2.1 目的

本知覚支援 RT を用いたトレーニングプロトコルによる歩行改善効果を検証する。特に踵接地（ヒールロッカー）と蹴り出しを評価するために、それぞれ最大ヒールトランジットと健側重複歩距離をプレテストとポストテストで比較して歩行改善効果を示す。また本知覚支援 RT の特徴である共

感性を評価するために BF 単独群と BF 共感群とに分類し、患者の主観評価を比較する。

2.2.2 対象

脳卒中片麻痺者 6 名。患者の選定基準は、a) 下肢ブルンストロームステージⅢ～Ⅴ, b) 高次脳機能障害なし, c) 試験を行う上で一定の認知ができる水準に達していること(認知症などがない), d) 歩行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。

2.2.3 方法

知覚支援 RT による歩行改善効果を検証するために介入前後の歩行能力を測定するとともに、共感性による効果を検証するために、介入をさらに BF 単独群と BF 共感群とに分類して群間比較を行った。試験デザイン全体に関しては図 5 試験デザインに示す。また介入に関しては 15 分間のトレーニングを 1 日実施する。

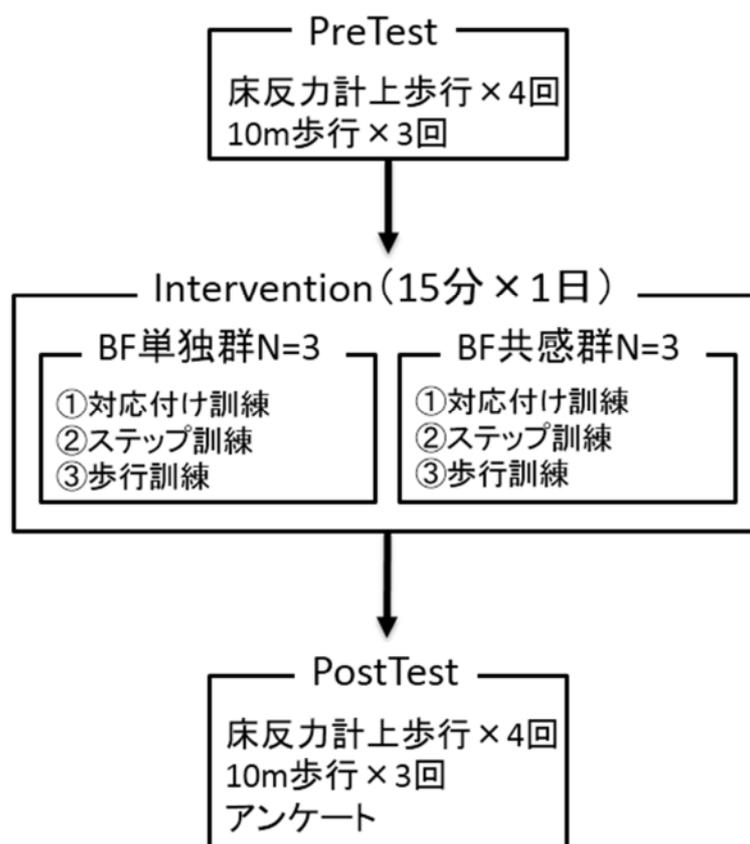


図 5 試験デザイン

プレテスト・ポストテストでは床反力計上歩行を 4 回行い、さらに加速度センサを着用して 10m 歩行を 3 回行う。またポストテストでは患者の主観評価を行うためにアンケートを実施する。以下に各測定方法について詳細に示す。

BF 単独群では片麻痺者のみが知覚支援 RT を装着してトレーニングを行う BF 単独システムを適用し、BF 共感群では片麻痺者に加え療法士も知覚支援 RT を装着してトレーニングを行う BF 共感

システムを適用する。知覚支援 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を 15 分間行う。トレーニングの負荷については担当療法士から耐久力を教えていただき、それに合わせて決定する。また療法士からの口頭指導や褒め等は特に制限はしない。

片麻痺者の歩行におけるヒールロッカーの評価としてヒールトランジット（踵接地の強さ）、蹴り出しの評価として健側重複歩距離、一般的な歩行パフォーマンスを示す値として 10m 歩行速度を評価した。

歩行トレーニングにおける片麻痺者の主観評価を行うために NRS 評価スケールを使ったアンケート（A4 サイズ 2 枚）を用いる。通常のリハビリを基準の 5 として 0～10 の 11 段階によって評価した。健常側の手で記述できる患者については質問紙の数値バーを選択してもらった。記述が出来ない患者については測定者が口頭で回答を聞き、代筆した。各評価項目の詳細については表のように設定した。実際の質問内容については、表 1 に示す。

表 2 患者の主観評価項目詳細

項目	内容
負担	トレーニングの難易度がどの程度なのかを評価。本知覚支援 RT を利用したトレーニングプロトコルが適切かどうかを評価。
意欲	トレーニングに対して意欲があったか(継続的なトレーニングができるか)を評価。日常生活における情動に関連する。
不安感	トレーニングに対する不安感を評価。意欲の有無にも関連する。
効果の実感	トレーニングによって自身が効果を実感しているかを評価。意欲の有無にも関連する。
対人関係	トレーニングによりセラピストとの会話が増えたかを評価。トレーニング中の情報交換量と関連する。日常生活における情動にも関連する。
病態に対する理解	通常のリハビリトレーニングでは得られなかった自身の歩容に対する認識が得られたか(知覚支援による効果)を評価。日常生活における情動にも関連する。

表 1 アンケート質問一覧

No	質問内容
質問 1	トレーニングは難しかったですか
質問 2	トレーニングは楽しかったですか
質問 3	トレーニング中に不安は感じましたか
質問 4	トレーニングを終えて、自分の歩行が良くなったと感じますか
質問 5	療法士の方とコミュニケーションは取れましたか
質問 6	トレーニング中、自分の歩行がどのようになっているか分かりましたか

2.2.4 結果

(1) ヒールロッカー機能の評価

プレポスト間で比較したグラフを図6に示す。最大ヒールトランジットの増加は有意傾向が見られた ($p < 0.1$)。

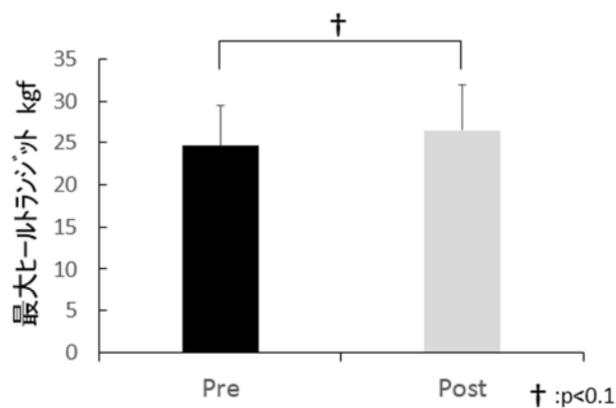


図6 最大ヒールトランジット Pre-Post 比較

(2) 蹴り出しの評価

健側重複歩距離を測定した結果を図7に示す。最大ヒールトランジットの増加は有意差が見られた ($p < 0.05$)。

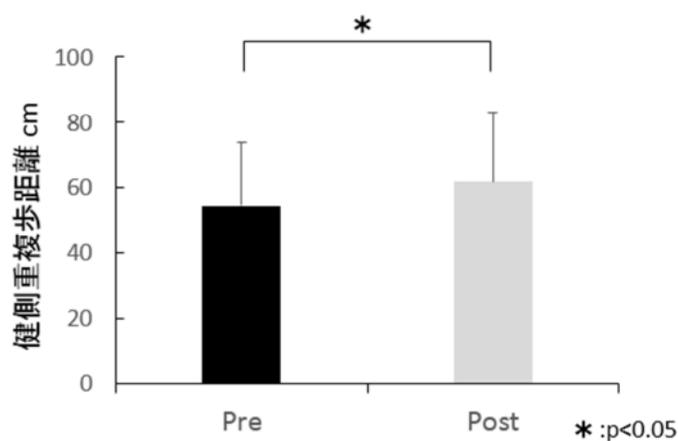


図7 健側重複歩距離 (Pre-Post 比較)

(3)10m 歩行速度

10m 歩行速度を測定した結果を図 8 に示す。10m 歩行速度は有意差が見られなかった。

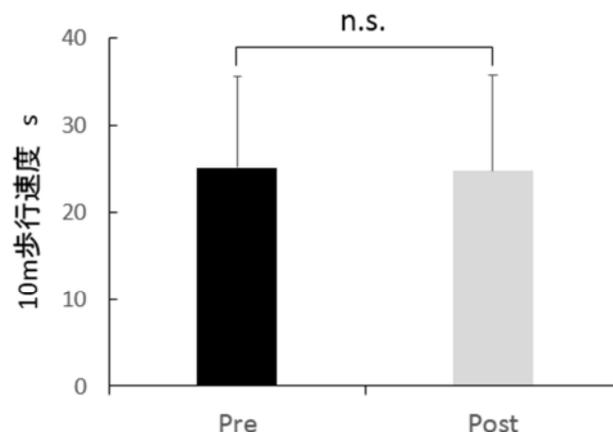


図 8 10m 歩行速度 (Pre-Post 比較)

2.2.5 結論

- ・ 知覚支援 RT を作成し、片麻痺者の歩行リハビリに適用するために、トレーニングプロトコルの案出及び介入試験を実施した。
- ・ 知覚支援 RT を用いたトレーニングによる歩行改善効果を明らかにするため、15 分×1 日の介入前後でプレポスト比較を行った結果、ヒールロッカー機能・蹴り出しが改善し、運動力学的変化が得られた。しかし、この変化は歩行速度の変化へは至らなかった。
- ・ 介入を BF 単独群 3 名と BF 共感群 3 名で群間比較を行った結果、共感によって患者のリハビリに対する意欲が有意に向上した。
- ・ 1 セッションの知覚支援 RT による介入は歩行効率性を高める運動力学的変化を導きだした。BF を患者と療法士が共感することで、リハビリに重要なモチベーションが向上したため、本装置は運動学習を促進することにおいて優位性が期待される。

3. 共同研究者

- 岩田 浩康 (創造理工学部・総合機械工学科・教授)
- 福嶋 勇太 (創造理工学部・総合機械工学科・助手)
- 原島 宏明 (総合東京病院・リハビリテーション科・課長)
- 貝吹 奈緒美 (総合東京病院・リハビリテーション科・理学療法士)
- 北地 雄 (総合東京病院・リハビリテーション科・理学療法士)

4. 研究業績

4.1 学術論文

- ・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, 2016 年 (掲載予定)
- ・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, 2016, Vol.28No.3 (掲載予定)
- ・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, 2016, Vol.28No.3 (掲載予定)

4.2 総説・著書

該当なし

4.3 招待講演

該当なし

4.4 受賞・表彰

生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会：バリアフリーシステム開発財団奨励賞 (2 件)

4.5 学会および社会的活動

- ・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 回支援工学理学療法学会, 2015 年 12 月 12 日, 首都大学東京荒川キャンパス (東京).
- ・Shigeru Suzuki, Kazuhiro Yasuda, Tomohiro Hoshina, Hiroki Ohashi, Hiroyasu Iwata, "Development of an artificial muscle-driven high-dorsiflexion support RT (second prototype) adaptable to cadence by a low stiffness spring", International Conference on Advanced mechatronics 2015, 5-8 December 2015. Waseda University(Japan)
- ・Shuntaro Horikawa, Kazuhiro Yasuda, Naomi Kaibuki, Yu Kitaji, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata. "Development of the Implicit Method that directs weight shifting to the affected side in stroke patients". International Conference on Advanced mechatronics 2015. 5-8 December 2015. Waseda University(Japan)
- ・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)
- ・河田俊, 安田和弘, 岩田浩康, ” セット・フォーム習得支援 RT がフリースロー軌道のばらつきに与える影響の検証” スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, , 2015 年 10 月 30 日—11 月 1 日, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (滋賀).
- ・鈴木慈, 福嶋勇太, 安田和弘, 保科智啓, 田中元基, 大橋洋輝, 岩田浩康, ” 低剛性ばねと人工

- 筋肉を併用した高背屈支援 RT における足関節挙動への影響の検証” スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, , 2015 年 10 月 30 日—11 月 1 日, 立命館大学 (滋賀)
- ・ 竹内貴哉, 安田和弘, 姫野好美, 中村幸浩, 黒木洋美, 岩田浩康, “半側空間無視治療のための注意の解放と移動を促す視覚誘導システムの開発と臨床評価”, LIFE2015, 2F1-03, 2015 年 9 月 8 日, 九州産業大学 (福岡).
 - ・ 保科智啓, 安田和弘, 鈴木慈, 大橋洋輝, 岩田浩康, “麻痺性尖足に対する背屈支援 RT の臨床評価”, LIFE2015, 1F1-06, 2015 年 9 月 7 日, 九州産業大学 (福岡).
 - ・ 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大会. 2015 年 6 月 14 日. 東京医科歯科大学湯島キャンパス (東京).
 - ・ 鈴木慈, 安田和弘, 保科智啓, 大橋洋輝, 岩田浩康, “低剛性ばねによりケイデンスに対応可能な人工筋肉駆動型高背屈支援 RT 二号機の開発”, 日本機械学会ロボット・メカトロニクス講演会 2015, 2015 年 5 月 17-19 日, みやこメッセ (京都)
 - ・ 河田俊, 安田和弘, 岩田浩康.” フリースロー技能向上のための BF 型セット・フォーム矯正デバイスの開発”, 日本機械学会ロボット・メカトロニクス講演会 2015, 2015 年 5 月 17-19 日, みやこメッセ (京都)
 - ・ 堀川峻太郎, 安田和弘, 貝吹奈緒美, 北地雄, 原島宏明, 岩田浩康, “足圧中心位置の振動 BF デバイスを用いた片麻痺歩行訓練に関する研究 —荷重感覚の丁度可知差異を利用した麻痺側への非明示的加重誘導手法-”, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 2015 年 5 月 17-19 日, みやこメッセ (京都)
 - ・ Kazuhiro Yasuda, Naomi Kaibuki, Shigeto Watanabe, Hiroaki Harashima, Hiroyasu Iwata. 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)
 - ・ イノベーションジャパン 2015. JST ショートプレゼンテーション. 高齢者のバランス・歩行機能向上のためのトレーニングシステム. 東京ビッグサイト (東京). 主催: 科学技術振興機構(JST), 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO), 2015 年 8 月 28 日

5. 研究活動の課題と展望

ヒールロッカーへの効果は、蹴り出しよりも低かったため、この点に関しての原因究明及び改良案を要する。研究の対象は脳卒中患者 6 名と少なかったため一般化するには十分ではない。そのため、今後は患者数を拡充しつつ、無作為化対照試験により実証する必要性が高い。本プロジェクトを通して、歩行動態を変化できる実証的根拠を示したので、高齢者のヘルスプロモーションへの活用などの可能性が拓けた。次年度以降は、システムの社会還元の可能性を更に展開したい。