

コンシューマ・システム論文

バランス Wii ボードによる脳血管疾患患者向け 立ち上がりトレーニングツールの提案

村田 嘉利^{1,a)} 吉田 和広¹ 千田 航平²

受付日 2015年10月2日, 採録日 2016年2月23日

概要: 脳血管疾患におけるリハビリテーションを必要とする患者数は運動器系に続いて多く, 必要とするリハビリ期間が長い. 脳血管疾患患者に対するリハビリプログラムの中で特に重要視されているのが立ち上がり訓練である. ベッドから起き上がって行動できないと寝たきり状態になり, 褥瘡の問題等も出てくる. 現状では理学療法士が張り付いてリハビリ指導することから, 理学療法士への負荷が非常に大きい. 本研究では, 立ち上がり訓練として一般化されている身体の動かし方とその順序を身に付けるための反復トレーニングを介添いなく, 自分ひとりで安全かつスムーズに実施可能とするトレーニングツールを提案する. バランス Wii ボードを用いることで比較的安価に実現可能となっている. 片麻痺のある患者の方達に協力していただいて評価実験を行った. その結果, 1人で立ち上がりと座ることができる方達はスムーズにトレーニングできた. また, 理学療法士による立ち上がり訓練終了後も立ち上がり等に介添えが必要な方達についても立ち上がりまでは安全にトレーニングできることが確認できた.

キーワード: リハビリテーション, 立ち上がりトレーニング, 脳血管疾患, KINECT

Proposal of a Standing-up and Sitting-down Exercise Tool with The Balance Wii Board for Cerebrovascular Patients

YOSHITOSHI MURATA^{1,a)} KAZUHIRO YOSHIDA¹ KOUHEI CHIDA²

Received: October 2, 2015, Accepted: February 23, 2016

Abstract: The number of cerebrovascular patients is the second largest after locomotorium patients. These diseases also have the longest rehabilitation term. One of the most important types of training for cerebrovascular patients is standing up and sitting down. If patients cannot get up from a bed, they have to continue to lie there, and sometimes bedsores develop. Therefore, standing-up and sitting-down training is usually conducted first. Because a physiotherapist always has to coach a patient directly, the burden placed on the physiotherapist is quite large. We propose a therapy training tool for a patient to train safely and smoothly by him or herself except for the beginning and ending of the exercise. This tool utilizes the Nintendo Wii Balance BoardTM to enable low cost. An experiment we conducted with patients who have paralysis on one side of their bodies found that patients who can stand up and sit down by themselves could train safely and smoothly except for the beginning and ending of training. Patients who could not stand up and sit down without a helper could only stand safely by themselves.

Keywords: rehabilitation, standing-up and sitting-down exercise, cerebrovascular, KINECT

¹ 岩手県立大学ソフトウェア情報学部
Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University, Takizawa, Iwate 020-0693, Japan

² 東京エレクトロンデバイス株式会社
Tokyo Electron Device Limited, Shinjuku, Tokyo 163-1034, Japan

a) y-murata@iwate-pu.ac.jp

1. はじめに

人口分布の高齢化が進むに従い, リハビリテーションを必要とする人が増加する可能性が高い. 疾患別にリハビリテーションを受けた患者数の分布をみると, 運動器系が最も多く, 続いて脳血管疾患系となっている [1]. リハビリ

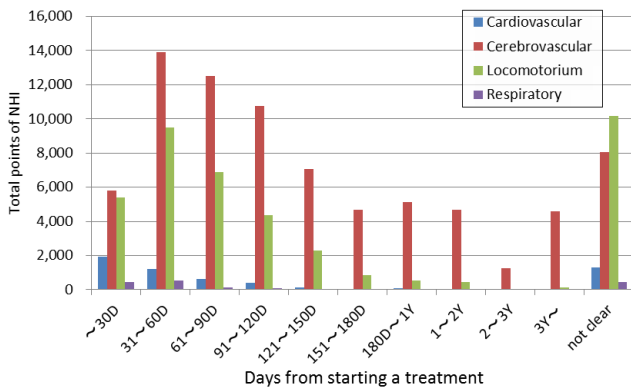


図 1 治療開始日からの経過日数に対する実施したりハビリテーションの総単位数

Fig. 1 Total points of the national healthcare insurance according to the duration of feeding period from treatment start.

テーションを必要とする期間をみると、図 1 から分かるように、脳血管疾患の患者は他の器官の疾患と比較して長期間の療養が必要となっている割合が高いことが分かる [1].

脳血管疾患における主な障害は片麻痺と高次脳機能障害に分かれる。片麻痺の場合、麻痺している側の筋肉が弱くなっていることから、そちら側に身体が傾いてしまう。また、筋緊張異常により、手や足が引きつってしまう症状だけでなく、時には上体の筋肉が痙縮してしまうこともある。これらのことから、ベッドからの立ち上がり動作は難しく、そのままにしておく寝たきりになってしまう。それゆえ、ベッドからの立ち上がり訓練はリハビリプログラムの中でも重要視されている。また、立ち上がりのリハビリを実施することで歩行能力も増大するといわれている [2].

現状では理学療法士が張り付いてリハビリ指導することから、理学療法士への負荷が非常に大きい。少子化にともない、理学療法士が不足した場合には、十分なリハビリができない事例が多くなると予想される。現段階でも十分なリハビリができず、自分でベッドから立ち上がれない状態で退院する人もいるといわれている。

本研究では、筋力の弱い人でも容易に立ち上がり再び着席できるよう、立ち上がり訓練として一般化されている身体の動かし方とその順序を身に付けるための反復トレーニングを介添えなく、自分ひとりで安全かつスムーズに実施可能とするトレーニングツールを提案する。ただし、トレーニングの最初と終りは理学療法士や家族が対応することを前提とする。低コストで実現できるよう、ニンテンドウ・バランス Wii ボードを用いる。

バランス Wii ボードを用いたりハビリの関連研究に、運動器機能のリハビリ支援を目的とした安価な身体動揺解析技術 [3] やテレビゲームをリハビリに適用する研究がある [4]。しかし、これらの研究では、立ち上がり動作の分析やトレーニングは考慮されていない。

本論文におけるトレーニングツールは、足下と臀部下に

それぞれ置いたバランス Wii ボード 2 台を用いる。各バランス Wii ボードにおける重心の移動と荷重変化を可視化し、着席状態から直立状態、そして再び着席状態に戻る一連の流れをトレーニング可能としている。

片麻痺のある患者の方達に協力していただいて評価実験を行った。その結果、1 人で立ち上がりと座ることができる方達はスムーズにトレーニングできた。また、理学療法士による立ち上がり訓練終了後も立ち上がり等に介添えが必要な方達についても立ち上がりまでは安全かつスムーズにトレーニングできることが確認できた。

2 章では、理学療法士による立ち上がりトレーニングについて紹介し、3 章では関連研究として、身体のバランス障がいや有する患者へのリハビリに関する研究について紹介する。4 章では提案ツールのシステム構成について説明し、5 章において健常者による動作確認実験について述べる。6 章では提案ツールを片麻痺患者や理学療法士の方達にデモンストレーション的に使用していただき、頂戴したコメントとそれへの対応について述べる。7 章で、6 章の内容を反映したトレーニングツールを片麻痺障がいのある方達に協力していただいて実施した評価実験とその結果について述べ、最後に 8 章でまとめる。

2. 理学療法士による立ち上がり指導

理学療法士へのヒアリングおよびインターネットで調べた結果 [5]、理学療法士による立ち上りから再び座るまでの動作指導は以下の 4 段階に分かれていることが分かった。

- ・ステップ 1: 上体を前に倒し、体重が爪先にかかるようにし、お尻を上げる。
- ・ステップ 2: 膝を伸ばすとともに上半身を起こす。
- ・ステップ 3: 直立した状態から上半身を倒し、爪先に体重がかかるようにする。
- ・ステップ 4: 膝を曲げ、腰かける。

指導動作は上半身の曲げ伸ばしと重心移動が中心である。しかし、脳血管疾患で片麻痺がある患者については身体の左右のバランスを取りにくいことから、上半身の動きによる体重移動だけでなく、左右のバランスを取る訓練も必要と考えられる。実際上記に基づいて立ち上がりから座るまでの一連の動作をすると、足首が膝より前に出ている状態では立ち上がることが非常に難しいことが分かる。また、立ち上がった状態で上半身だけを倒した場合、重心が爪先側に移動する人と踵側に移動する人がいることが分かる。これらの点を考慮して、立ち上がりトレーニングツールを開発する。

3. 関連研究

立ち上がり訓練に関する既存の研究は見当たらなかったことから、身体のバランス障がいや有する患者へのリハビリに関する研究について紹介する。

曾賀野らは、安価な床反力情報取得装置としてバランス Wii ボードを採用し、臨床現場の所見に基づいて計測対象とする姿勢と移動動作および体幹の安定性評価に関わる特徴量を検討したうえで、床反力情報の取得、特徴量の抽出、床反力情報解析結果の可視化・出力を行うための床反力情報取得・解析プログラムを開発している [3]。このプログラムを用いて健康者と股関節症患者の床反力情報取得実験を実施し、解析を試みた結果、臨床現場で観察される現象の影響と考えられる傾向が見られ、プログラムの有効性が示されている。この研究では、立ち上がり動作については検証していない。

Fraser Anderson らは、バランス Wii ボードを用いたテレビゲームとバーチャルリアリティを組み合わせ、リハビリに適用するシステムを制作している [4]。このシステムでは、ゲーム内パフォーマンスの測定および記録を行い、患者に対してリハビリにおける動機付けを提供している。実際にこのシステムを使用してリハビリを行っている様子を図 2 に示す。このシステムでは、立ち上がりトレーニングについて対応していない。

Juan Enrique Garrido らは、脳障がい等によるバランス



図 2 バランス Wii ボードを利用して身体のバランス感覚をトレーニングする様子

Fig. 2 Scenes of the body balance training with the balance Wii board.

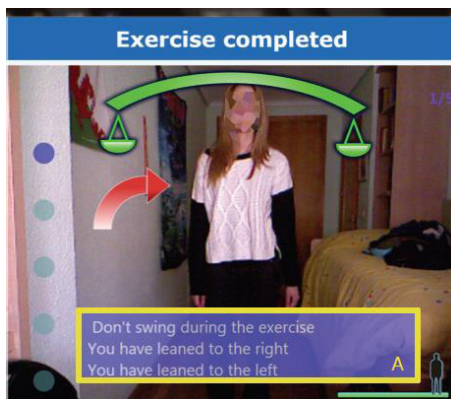


図 3 Juan Enrique らによって開発されてバランス障がい者向けリハビリテーションシステムの画面例

Fig. 3 Screenshot of the rehabilitation system for balance disorder patients developed by Juan Enrique Garrido, etc.

障がいが生じた患者が自宅でリハビリトレーニングできるツールを MS-KINECT を用いて開発している [6]。このシステムでは、真直ぐ歩行するトレーニングに主眼を置いており、図 3 に示すように、バランスが取れているか否か頭上に置いた天秤で示すとともにバランスを取るために矯正する方向を示している。また、詳細をダイアログボックスとして表示している。

4. システム概要

4.1 要求条件

本トレーニングツールを開発する過程で理学療法士や患者からいただいた意見をもとに、本トレーニングシステムへの要求条件を以下のように取りまとめた。

- ① 画面上および音声での指示により、所定の動作を所定の順序で反復実行できる。
 - ② その際、重心の移動を理解できる。
 - ③ また、転倒等の事故なく、スムーズに①および②を実施できる。
 - ④ トレーニングを続けるモチベーションを維持できる。
- 上記要件を提案ツールが満足しているかについては、①から③までについては、転倒等の事故なくスムーズに立ち上がり訓練を繰り返し行えるかにより評価できると考える。また、④についてはリハビリをしている方へのヒアリング結果で評価できると考える。

4.2 システム構成

本トレーニングツールは、図 4 に示すように PC と Bluetooth で接続され 2 台のバランス Wii ボードから構成される。各バランス Wii ボードは臀部下および足下に設置され、荷重と圧力分布を測定する。PC では、各バランス Wii ボードから送られてきた荷重と圧力分布データから荷重変化および重心の移動を求める。

それらを利用して、次節で示すトレーニング指導を行う。指導にあたっては、Juan Enrique Garrido らとは異なり、ディスプレイ上に姿勢を表す身体モデルを表示する。矯正

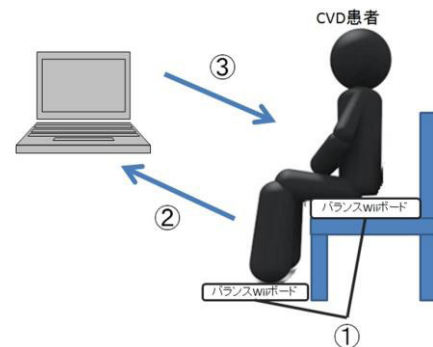


図 4 立ち上がりトレーニングツールのシステム構成

Fig. 4 System structure of the standing-up and sitting-down exercise tool.



図 5 バランス Wii ボードにおける重心のスケール
 Fig. 5 Scale of the balance in the balance Wii board.

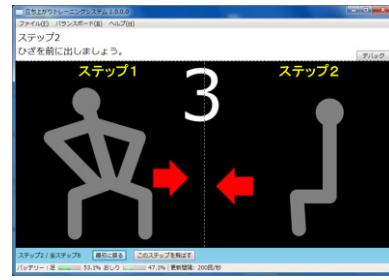
する方向については、Juan Enrique Garrido らと同じく「→」で示すこととする。トレーニング中にディスプレイを見続けることは困難と考え、音声でも身体を矯正する方向を伝えることとする。また、身体モデルを利用したユーザインタフェースとは別に、重心移動が分かりやすく、ゲーム感覚を持たせたユーザインタフェースも提供する。片麻痺患者の方達に両方を体験していただき、どちらがトレーニングに適しているかを明らかにする。

バランス Wii ボードにおける重心のスケールは、図 5 に示すように、X 軸方向に ± 20 、Y 軸方向に ± 12 となっている。電源スイッチ側が + となっている。これは、バランス Wii ボード上面のサイズとなっている。

4.3 トレーニング内容

理学療法士による立ち上がり指導においては、上半身の前傾あるいは戻しと重心移動に焦点が置かれている。しかし、片麻痺による左右のアンバランスの矯正も含めてトレーニングするよう、以下の 8 つのステップにトレーニングを分ける。各ステップにおける患者の誘導画面を図 6 (1) から (4) に示す。ここで、患者に指示する文言や姿勢を維持する時間（ここでは 3 秒）については、障がい者による評価実験を行うなかで適宜変更する。

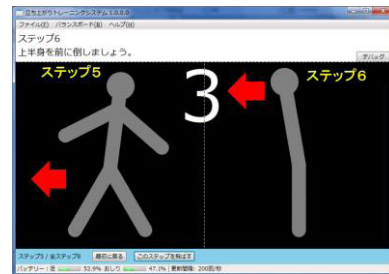
- ・ステップ 1：着席状態で上半身の左右バランスを整える。誘導画面は、臀部下の重心をもとに上半身の傾きを検出し、上半身が右に傾いている場合には、「左へ」と言い続けるとともに「←」を表示する。左に傾いている場合には、「右へ」と言い続けるとともに「→」を表示する。3 秒間バランスを維持できれば、次に進む。
- ・ステップ 2：座った状態のままで、膝を足首より前に出す。理学療法士の指導では、上半身を前傾させることにより、お尻を上げるように指導しているが、足首が膝より前に出ている状態で、お尻を上げることは困難と判断し、このステップを追加した。誘導画面は、次節で示す閾値（臀部下の重心移動）を満足するまで、「膝を前に出しましょう」と言い続ける。その状態を 3 秒間維持でき



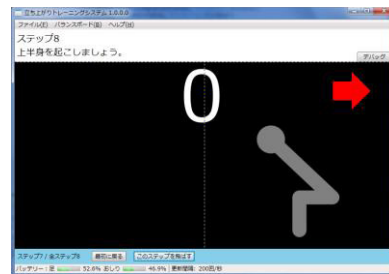
(1) ステップ 1 & 2



(2) ステップ 3 & 4



(3) ステップ 5 & 6



(4) ステップ 8

図 6 動作誘導画面

Fig. 6 Guidance illustrations.

れば、次に進む。

- ・ステップ 3：座った状態のまま、上半身を前傾させることで臀部を持ち上げる。誘導画面は、次節で示す閾値（臀部下の荷重）を満足するまで、「上半身を前に倒し、お尻を上げましょう」と言い続ける。その状態を 3 秒間維持できれば、次に進む。
- ・ステップ 4：臀部が持ち上がった状態で立ち上がる。「立ち上がりましょう」と誘導する。
- ・ステップ 5：直立し、左右のバランスを取る。誘導画面は、足下の重心をもとに身体の傾きを検出し、身体が右に傾いている場合には、「左へ」と言い続けるとともに「←」を表示する。左に傾いている場合には、「右へ」と



図 7 椅子へのバランス Wii ボードの配置位置

Fig. 7 Positions of the balance Wii boards for a chair.

言い続けるとともに「→」を表示する。3 秒間バランスを維持できれば、次に進む。

- ・ステップ 6: 上半身を少し前傾させ、重心を親指に少し移動させる。上半身が直立あるいは反った状態で座ると後ろに転倒することから、このステップを設ける。誘導画面は、「上半身を前に倒しましょう」に続いて、次節で示す閾値（足下の重心移動）を満足するまで、「前へ」と言い続ける。その状態を 3 秒間維持できれば、次に進む。
- ・ステップ 7: 着席する。「座りましょう」と誘導する。
- ・ステップ 8: 上体を起こす。上半身を前傾させたまま着席し続ける可能性もあることから、このステップを設ける。誘導画面は、次節で示す閾値（臀部下の重心移動）を満足するまで、「上半身を起こしましょう」と言い続ける。その状態を 3 秒間維持できれば、最初の段階に戻る。

4.4 判定条件

ステップ別に所要動作が実施できたと判定する条件について述べる。各判定条件は、5 人の被験者（健常である学生）に前出の 8 つのステップの動作をしてもらい、そのときの重心移動および荷重変化に対して、全被験者に共通している範囲を基準に少しゆとりを持たせた値とする。なお、本判定条件については、障がい者による評価実験を行うなかで適宜変更する。

2 台のバランス Wii ボードは、図 7 に示すように椅子の座面上と椅子の前に置く。膝を足首より前に出すにあたっては、お尻を前に移動させる方法と足首を後ろに移動させる方法の 2 つがある。後者の方法で立ち上がった場合には膝の後ろが椅子の座面に当たる、また、ベッドの場合には足首を後ろに持っていくことが困難であることから、足下のバランス Wii ボードは椅子の座面より前に配置する。

被験者は、図 8 の (1) から (7) に示す動作を行い、そのときの足下および臀部下の重心移動と荷重変化を測定する。ステップ 1 では、椅子に深く腰掛け上半身を真直ぐに保つ。続いて、ステップ 2 では、お尻を前に移動させ、膝を足首より前に出す。ステップ 3 では、上半身を前に倒し、お尻を浮かせる。ステップ 4 および 5 では、立ち上がった

後、直立する。ステップ 6 では、上半身を前傾させる。ステップ 7 では、上半身を前傾させながら着席する。上半身を起こし、ステップ 1 に戻る。

以下、各ステップの動作完了条件について述べる。

- (1) ステップ 1: 左右のバランス判定であることから、この判定条件は、実験データからではなく、とりあえず臀部下の重心が $X = \pm 3$ の範囲を 3 秒間維持された場合とする。
- (2) ステップ 2: 膝を前に出すことによって、図 9 の例に示すように足下、臀部下ともに重心が前方向 (Y 軸の - 方向) に移動するが、臀部下に比べて足下の重心移動量が少ないことから、臀部下の重心変化を利用する。全員が、膝を前に出すことで臀部下の重心が Y 軸方向に -4 以下 (前方向) に移動していることから、臀部下の Y 軸の重心が -3 以下変化し、3 秒間維持された場合を判定条件とする。
- (3) ステップ 3: お尻が浮き上がるまで上体を前傾するように指示したが、ほとんどの被験者が完全にお尻を浮かせられず、臀部下の過重が最大で 17 kg (図 10) となっていた。このことから、臀部下の荷重が 20 kg 以下を 3 秒間維持された場合を判定条件とする。
- (4) ステップ 4: 立ち上がるだけなので、状態判定は行わない。
- (5) ステップ 5: 本値も左右のバランス判定であることから、実験データからではなく、とりあえず、足下の重心が $X = \pm 3$ の範囲を 3 秒間維持された場合を判定条件とする。
- (6) ステップ 6: 図 11 の例のように、上体の前傾により全員の足下の重心が Y 軸方向に $+3$ 以上移動していることから、足下の重心が Y 軸方向に $+2$ 以上変化し、3 秒間維持された場合を判定条件とする。
- (7) ステップ 7: 座るだけなので、状態判定は行わない。
- (8) ステップ 8: 上体を起こした際、図 12 の例のように全被験者の臀部下の重心が Y 軸上をプラス方向 (後ろ方向) に移動している。最も少ない者が -3 であったことから、臀部下の Y 軸の重心が -2 以下変化し、3 秒間維持された場合を判定条件とする。

4.5 重心移動を利用したゲームインタフェース

理学療法士から

- ・立ち上がり訓練で最も難しいのが重心移動である。
 - ・楽しく継続できることが重要
- との意見をいただいたことから、重心移動を利用したゲーム的なユーザインタフェースを開発する。トレーニングは、4.3 節に示す 8 つのステップを順次進めていくが、その際の画面は身体モデルではなく、重心移動に連動して動くボール (赤: 枠外, 黄: 枠内) を所定の枠内 (白い四角) に入れる、というゲーム的なものにした。スムーズに各ス



(1) ステップ 1 (着席)



(5) ステップ 6 (上半身を前傾させる)



(2) ステップ 2 (膝を前へ)



(6) ステップ 7 (着席する)



(3) ステップ 3 (上半身を前傾させ、お尻をあげる)



(7) ステップ 8 (上半身を起こす)



(4) ステップ 4 & 5 (立ち上がり, 直立する)

図 8 立ち上がり訓練動作例

Fig. 8 Motion in standing-up and sitting-down exercise.

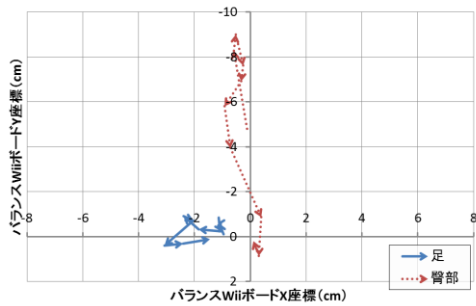


図 9 膝を出したときの重心移動例

Fig. 9 Change of the balance when putting the knee forward.

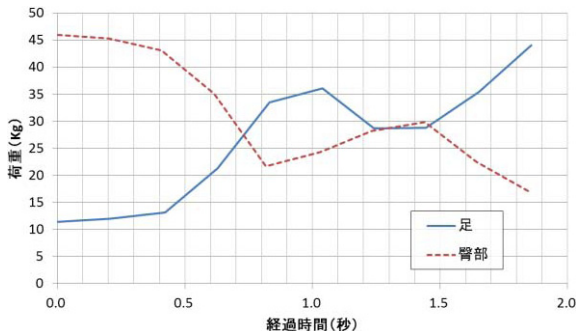


図 10 上半身を前傾させたときの荷重変化例

Fig. 10 Change of the weight when turning the upper body forward.

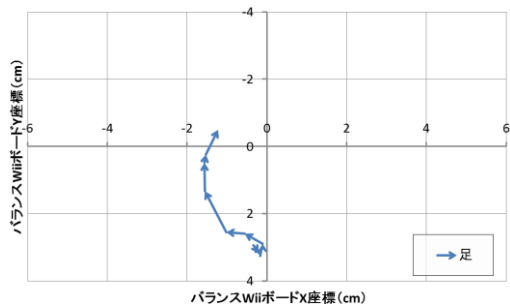


図 11 上半身を前傾させたときの足下の重心移動

Fig. 11 Changes of center of load under the feet when turning the upper body forward.

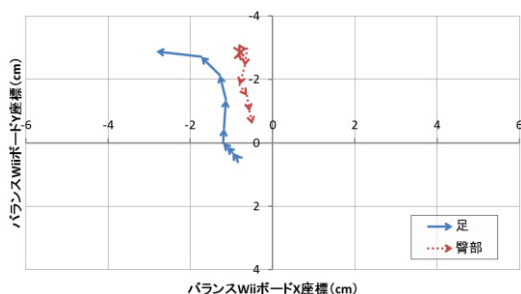


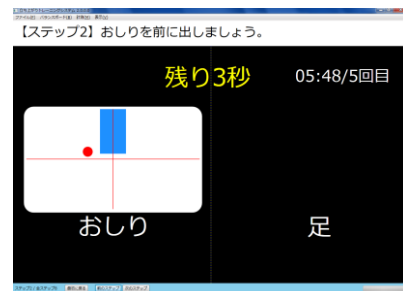
図 12 上半身を起こしたときの重心移動

Fig. 12 Change of the center of load when returning the upper body.

テップを実行しようという動機付けを目的として、ゲームを行ったことによる獲得ポイントを各ステップの条件を達成した時間の合計とした。また、トレーニング継続の動機



(1) ステップ 1 用のゲーム画面



(2) ステップ 2 用のゲーム画面



(3) ステップ 6 用のゲーム画面

図 13 ゲーム用のユーザインターフェース例

Fig. 13 User interface for game mode.

付けを目的として、何回目のトレーニングであるかを分かるようにするとともに、各トレーニング日ごとの獲得ポイントを折れ線グラフで表示可能とした。動作ステップ 1、動作ステップ 2、および動作ステップ 6 の画面を図 13 に示す。

5. 健常者による動作確認実験

5.1 実験方法

被験者は 6 名の学生 (健常者) で、各人は図 8 に示す (1) から (7) の動作を 5 回行い、各ステップにおいて重心移動および荷重変化を検知し、スムーズに次のステップに移行できるか否かを評価する。なお、被験者は前節の判定条件を決定するための実験に参加した者と異なる。

5.2 実験結果

各ステップがスムーズに認識されたか否かを○△×の 3 段階で判定した。それぞれの評価基準は以下のとおりである。

表 1 動作ステップ別認識状況

Table 1 Recognition rate for motion in each step.

	ステップ 1	ステップ 2	ステップ 3	ステップ 4	ステップ 5	ステップ 6	ステップ 7	ステップ 8
被験者 A	5	4	5	—	5	5	—	5
被験者 B	5	5	5	—	5	5	—	5
被験者 C	5	4	5	—	5	4	—	4.5
被験者 D	5	5	5	—	5	4.5	—	4.5
被験者 E	5	5	5	—	5	3.5	—	4
被験者 F	5	5	5	—	5	5	—	5
得点平均値	5.0	4.7	5.0	—	5.0	4.5	—	4.7
平均認識率	100%	93%	100%	—	100%	90%	—	93%

○：システムが被験者の姿勢を一度で認識した。

△：被験者が所定の姿勢をとるための動作を 2~3 回繰り返した後に、システムが姿勢を認識した。

×：システムが被験者の姿勢を認識できなかった。

○を 1 点, △を 0.5, ×を 0 点として集計した。各人は各ステップを 5 回実施することから、すべてスムーズに認識されれば 5 点となる。被験者 6 人の各ステップにおける認識結果を表 1 に示す。ここで、ステップ 4 は立ち上がり動作であり、動作認識していないことから、集計していない。ステップ 7 についても同様である。

ステップ 6 の立ち上がった状態で上半身を前傾させる動作の認識率が 90% と最も低く、続いてステップ 2 の膝を前に出す動作およびステップ 8 の上半身を前傾させて着席した状態から上半身を起こす動作の認識率が 93% であった。他の動作は 100% であり、おおむね高い認識率が得られた。

1 人の学生が一度だけステップ 8 の動作において着席する前に上半身を起こしていたことから、ステップ 8 の動作を認識できなかった。

5.3 考察

ステップ 6 の立ち上がった状態で上半身を前傾させる動作、ステップ 2 の膝を前に出す動作、およびステップ 8 の上半身を前傾させて着席した状態から上半身を起こす動作については、その判定の閾値あるいは誘導する言葉や動作について見直す必要があると考える。また、1 人の学生が一度だけだが、ステップ 8 の動作において着席する前に上半身を起こしていた。このことから、ステップ 8 の動作認識を行うか否か、再検討する必要があると考える。

6. 理学療法士等からいただいた意見と対応

6.1 理学療法士等からの意見

本研究は、岩手県盛岡市にあるベターライフ岩手の佐藤代表、神奈川県横浜市にある横浜中央病院の柴尾理学療法室長と同僚の理学療法士の方達の協力を得て進めている。

ベターライフ岩手では、佐藤代表のおかげで患者の方に

先に示したトレーニングツール利用していただき、患者の方および佐藤代表からご意見をいただいた。また、横浜中央病院では、柴尾室長他の理学療法士の方達にトレーニングツールを利用していただき、ご意見をいただいた。いただいたコメントを以下に示す。

- ①片麻痺で片手が不自由な患者の方が多いため、椅子には肘掛が必要
- ②「膝を前に出して」との表現は分かりにくい。「お尻を前に」のほうがよいのでは？
- ③同様に「上半身を前で倒し、お尻を上げましょう」における「上半身」という言葉は分かりにくい。「おじぎをして、お尻を上げましょう」のほうがよいのでは？
- ④患者の方にトレーニング内容を伝える言葉は、トレーニングの前に話すようにしたほうがよい。
- ⑤コンピュータが生成した言葉の話す速度が速すぎる。もっとゆっくりしゃべるようにしたほうがよい。
- ⑥立った状態から座る際、上半身を倒すことで体重を爪先にかけることも重要であるが、同時に膝を少し曲げる動作を付け加えた方がよい。
- ⑦理学療法士には重心の移動と荷重変化が分かるユーザインタフェースのほうがよいかもしれない。

6.2 コメントへの対応

上記のコメントへの対応について述べる。

6.2.1 肘掛

本トレーニングツールを利用する患者の症状や住環境はそれぞれ異なっていると考えられることから、我々は椅子やディスプレイ等まで含めて一式で提供するのではなく、本トレーニングツールに特化したタブレット端末とバランス Wii ボードを提供し、それ以外は患者に用意していただくのがよいと考えている。その一方、評価システムおよびデモンストレーションシステムではモデル構成として提示するべきと考えている。今回は、バランス Wii ボードが完全に乗る適当な椅子が見つからなかったことから、図 14 に示すように、椅子の上に板を置きその上にバランス Wii



図 14 デモンストレーションシステム
Fig. 14 Demonstration system.

表 2 動作を表現する言葉についてのヒアリング結果

Table 2 Questionnaires for words to explain training motions.

動作	言葉	人数
ステップ2：膝を足首より前に出す動作	おしりを前へ	8
	ひざを前へ	9
	決められない	2
ステップ3：座った状態で上半身を前に傾ける動作	おじぎをして下さい	5
	上半身を前に倒して下さい.	1
	前屈みして下さい.	13
ステップ6：立った状態で上半身を前に傾ける動作	おじぎをして下さい	8
	上半身を前に倒して下さい.	0
	前屈みして下さい.	11

ボードを置くようにした。また、肘掛として椅子を囲むように介護用の手すりを配置した。患者を誘導するディスプレイは32インチのものを用意した。PCはノートタイプを利用しているが、商用販売する際はタブレットにしたほうがよいと考えている。

6.2.2 誘導する言葉の見直し

コメント②は動作ステップ2に、コメント③は動作ステップ3と6に対応している。表1をみると、動作ステップ2および動作ステップ6の認識率は他の動作ステップより低く、誘導する言葉にも問題があると想定される。

先に示す評価実験に参加していない大学職員（健常者）19名に対してヒアリングを行った。これは、本ヒアリングは介護に対してある程度意識がある人が望ましいと考えたためである。ヒアリング結果を表2に示す。

ステップ2の膝を足首より前に出す動作については、「お尻を前へ」と「膝を前へ」がほぼ同数であり、どちらかに決められない者が2名いた。このことから、いずれに決定することなく、交互に言うこととする。具体的には、「お尻を前へ出しましょう。・・・膝を前へ出しましょう」を繰

り返す。

ステップ3における上半身を前に傾ける動作については、「前屈みして下さい」が最も多く、続いて「おじぎをして下さい」となった。しかし、大差ついたものではないので、両者を交互に言うこととする。具体的には、「前屈みして下さい。・・・おじぎをしてください」を繰り返す。

ステップ6についてはステップ3と同様、前屈みして下さい」が最も多く、続いて「おじぎをして下さい」となった。評価実験を繰り返す中で、上体を前傾させた場合、実現したい爪先荷重になる人と、まったく逆に踵荷重になる人がいることが明らかとなった。その対策として、膝を少し曲げながら上半身を前傾させるとよとの検討結果となった。以上のことから、「膝を少し曲げて、前屈みして下さい」と「膝を少し曲げて、おじぎして下さい」を繰り返すこととした。

6.2.3 それ以外への対応

コメント⑥については、前述したように、ステップ6の段階で膝を少し曲げていることから、新たに膝を曲げるステップは設けないこととする。

コメント⑦については、4.5節のゲームインタフェースを見てもらう前のコメントであり、この表示インタフェースで理学療法士の希望にそえると考えている。しかし、今後意見を聞いた上で対応する。

その他の、誘導する言葉の速さ、タイミングについては見直しを行った。

6.1節で紹介したコメント以外に評価実験を繰り返すなかで、ステップ3とステップ6の前傾動作を3秒間維持するのは障がい者にとって非常に大変であることが明らかとなった。そのため、500 msec.に変更し、所定の条件を満足したらすぐ次の動作に移行するようにした。

また、ステップ8はステップ1の状態に戻るための動作であったが、4.3節で述べた内容では椅子に浅くかけた状態のままであることから、「深くかけ直して下さい」との言葉に変更した。本動作により、4.4節に記したステップ8の条件を容易かつ確実に実行できることが分かったことから、判定条件は変更していない。

7. 片麻痺障がい者による評価実験

7.1 実験手順

6.2節で述べた対応を反映したトレーニングツールを用いて、片麻痺障がい者があって施設に通ってリハビリをしている方達に協力いただいて評価実験を行った。

使用したシステムは、ハードウェアとしては図14に示したデモンストレーションシステムである。ただし、判定条件や誘導する言葉等については、6.2節の内容を反映している。

被験者としては、立ち上がり訓練途中の方達はいなかったが、すでに立ち上がりはできるが片麻痺に対するトレー

表 3 片麻痺障がい者による評価結果

Table 3 Evaluation results for patients who have paralysis.

被験者	男女	支援 / 介護	動作ステップ								UI 選択	
			1	2	3	4	5	6	7	8		
A	男	支援 2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	重心移動
B	女	支援 2	○	○	○	○	○	△	○	○	○	重心移動
C	女	介護 1	○	○	○	○	○	×	○	△	△	NA
D	男	支援 2	△	△	○	○	○	△	○	△	△	重心移動
E	男	介護 1	○	○	○	△	○	×	×	×	×	NA
F	女	介護 2	○	△	○	△	○	×	×	×	×	NA

ニングをしている3名の方（障がいレベルが支援2）、および立ち上がりを含めて多くの動作で介添えを必要とする3名（障がいレベルが介護1および介護2）の、合計6名である。

事前にどのようなことを行うかを我々がデモンストレーションしながら説明したうえで、評価実験を行ってもらった。その際、コンピュータの指示に従って、動作するように伝えた。また、実験にあたって、ステップ2の膝を前に出す動作とステップ7の着席時には左右の手すりを利用してよいと伝えた。

身体モデルインタフェースで2サイクル、ゲームインタフェースで2サイクルのトレーニングを行っていただいた。また、身体モデルインタフェースとゲームインタフェースのどちらが練習しやすいかヒアリングした。

7.2 実験結果

評価結果を表3に示す。ここでは、各ステップをスムーズに実行できたときを「○」、手間取ったがなんとか実行できたときを「△」、実行できなかったときを「×」とした。4サイクル行ったが、結果に違いがなかったことから数値化はせず、○△×のまま記した。

支援レベル2の人の場合は、ほぼ問題なくトレーニングできることが分かった。Dの方は支援2であるが、股関節に難があるため、各ステップで指定の動作をするのに苦労していた。介護レベル1および2の方は、立ち上がりまではできるが、座る動作がほとんどできなかった。Cの方は、聴力障害がひどいために介護1となっていると考えられ、立った状態での上半身の前傾を除いて、問題なく各ステップの動作を実行できた。

身体モデルインタフェースと重心移動によるゲームインタフェースのどちらがトレーニングしやすいかという質問に対しては、3名の方が重心移動が分かりやすいゲームインタフェースと答えていた。他の3名の方からは明確な答えをいただけなかった。

7.3 考察

4.1節の要求条件への満足度について考察する。

被験者は多いとはいえないが、椅子の両脇に手すりを付けた結果、人が身体を支える等しなくても事故等につながる事態は発生しなかった。全員の方が立ち上がるまでの動作はできていた。座る動作については、障がいの度合の高い（介護1, 2）方にとっては難しい動作であることが分かった。以上のことから、障がいレベルが要支援レベルでリハビリをすれば、ベッドから立ち上がり歩けるようになる人は、介添えなく1人でコンピュータの指示に従ってトレーニングできると考えられる。よって、要求条件の①の所定の動作を反復することと③の安全面はクリアできていると考えている。

障がいレベルが高く、立ち上がり訓練終了後も立ち上がりや座る際に介添えが必要な人も立ち上がりはでき、ポールのような介助器具を設ければ座るトレーニングもできると想定された。ただし、それを用意するか否かについては、多くの理学療法士の声を聞いて判断したい。

要求条件②の重心移動については、回答いただけた3名全員が重心移動を重視したゲームインタフェースのほうがトレーニングしやすいと答えていたので、重心移動を意識していたと考えられる。

④のトレーニング継続のモチベーションについては、残念ながら、立ち上がり訓練中の障がい者による評価実験およびヒアリングはできていないので、評価できていない。

上記要求条件以外に各ステップの判定条件等に関する考察を以下に述べる。

6.2節で述べた言葉や動作、動作を維持する時間の変更を除き、各ステップにおける判定条件の荷重や重心移動については変更の必要がなかった。これは、重心移動が体重に関係しないことと、ステップ3の臀部下の判定荷重20Kgは体重差より上半身を前に倒す度合のバラツキに依存しているためと考えられる。なお、ステップ2と7以外は手すりを利用していなかったため、手すりを設けたことによる左右のバランス判定等への影響はなかったと考えている。また、ステップ2において膝を出す際も、手すりを使って身体を浮かせるようなことはなく、判定条件に影響を与えるようなことはなかった。

8. まとめ

本論文では、足下および臀部下に配置したバランスWiiボードから取得した荷重変化と重心移動をもとに、脳血管疾患患者を主な対象として、着席状態から直立状態、そして再び着席状態に戻るまでの一連の動作をトレーニングするツールについて提案した。理学療法士による指導がトレーニングを4つのステップに分けているのに対して、身体の左右バランスをとるステップ等を追加し、8つのステップに分けてトレーニングすることとした。

片麻痺の障がいのある方達や理学療法士の方達にプロトタイプシステムを試していただきながら、誘導の言葉、動

作, 条件判定のパラメータの変更を行い, 最終的に6名の片麻痺患者の方達に協力いただいて評価実験を行った. その結果, 1人で立ち上がりと座ることができる方達はスムーズにトレーニングできた. また, 理学療法士による立ち上がり訓練終了後も立ち上がり等に介添えが必要な方達についても立ち上がりまでは安全にスムーズにできることが確認できた.

謝辞 リハビリテーションを受けに来ているにもかかわらず, 快く評価実験に協力いただいた岩手県盛岡市にあるベターライフ岩手の利用者の皆様に心より感謝します. また, その機会を設けていただくとともに適切なコメントをいただいたベターライフ岩手の佐藤代表に感謝の意を表します. お昼休みを削って我々のトレーニングツールを使っただけ, 多くのコメントを頂戴した神奈川県横浜市にある横浜中央病院の柴尾理学療法室長と同僚の理学療法士の方達にも感謝の意を表します.

参考文献

- [1] 「平成19年度からのリハビリテーション料見直し後のリハビリテーション実施状況について」, 厚生労働省, 入手先 (<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/11/dl/s1128-14h.pdf>).
- [2] 西本勝夫, 中村昌司, 今井智弘, 田中繁宏: 椅子からの立ち上がり動作」を用いた訓練効果の検討, 理学療法科学, Vol.14, No.4, pp.181-187 (1999).
- [3] 曾賀野健一, 青木隆明, 可児純子, 渡辺博己, 棚橋英樹: 運動器機能のリハビリ支援を目的とした安価な身体動揺解析技術, 岐阜県情報技術研究所研究報告 (15), pp.9-14 (2013).
- [4] Anderson, F., Annett, M. and Bischof, W.F.: Lean on Wii: Physical Rehabilitation with Virtual Reality and Wii Peripherals, *Annual Review of Cyber Therapy and Telemedicine*, Vol.8, No.1, pp.181-184 (2010).
- [5] 「家族でできるリハビリ 立ち上がる」, 入手先 (https://www.youtube.com/watch?v=f2duk_9qLog).
- [6] Garrido, J.E., Marset, I., Penichet, V.M.R. and Lozano, M.D.: Balance Disorder Rehabilitation through Movement Interaction, *Proc. 7th International Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, ACM (2013).



吉田 和広

2014年慶應義塾大学法学部卒業, 岩手県立大学ソフトウェア情報学部, 株式会社 AVALON 勤務.



千田 航平

2015年3月岩手県立大学ソフトウェア情報学部卒業, 2015年4月より東京エレクトロンデバイス株式会社.



村田 嘉利 (正会員)

1979年3月名古屋大学大学院電気工学専攻修了, 同年4月NTT入社. 2006年7月岩手県立大学ソフトウェア情報学部教授博士(工学)(静岡大学). IEEE, 電子情報通信学会, ITヘルスケア学会会員. 自動車および交通システムの情報化, 医療・健康管理の情報化を中心に研究開発.