

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289053

研究課題名(和文) バイオフィードバックによる歩行障害者のリハビリテーション効率の向上

研究課題名(英文) Improvement of Rehabilitation Efficiency of Walking Disabled People by Bio-feedback

研究代表者

辻内 伸好 (Tsujiuchi, Nobutaka)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：60257798

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,400,000円

研究成果の概要(和文)：歩行訓練に関してはトレッドミルが用いられるが、運動解析に基づく歩行評価指標の欠如から、運動学習効率を定量的に評価することができない。そこで、速度制御による負荷変化が可能な左右分離型トレッドミルを開発し、有効な歩行評価指標を用いて、指標と実際の歩行との相違点を視覚的に提示することによって、歩行障害者のバイオフィードバックを促進し、リハビリテーション効率を向上した。

研究成果の概要(英文)：Generally, a treadmill is used for walking rehabilitation. However, the degree of recovery of rehabilitation can not be evaluated quantitatively because of lack of indicators for evaluating walking based on motion analysis. Therefore, we develop a left-right separated treadmill that can change the load by speed control. By using indices that can evaluate effective walking forms, by visually presenting the difference between the indicator and actual walking, bio-feedback of walking disabled people was promoted and rehabilitation efficiency was improved.

研究分野：機械力学・制御工学

キーワード：運動制御 トレッドミル バイオフィードバック

### 1. 研究開始当初の背景

大腿義足装着者の歩行訓練に関しては、その特徴である左右非対称性を緩和し、患側に十分に荷重を負荷する訓練が行われている。左右非対称性を緩和するためのリハビリとして、左右分離型のトレッドミルの速度差を利用するものが有るが、トレッドミルを患者の歩容に合わせて効果的に制御する手法は確立されていない。そこで、ウェアラブルな歩行計測装置を使用することで、外部環境に制約を受けない自然な状態におけるヒトの運動解析に基づく歩行評価指標を獲得し、評価指標に基づき左右分離型トレッドミルの走行速度を効果的に制御することにより、リハビリ効率の飛躍的な向上が可能である。また、歩行指標と実際の歩行との相違点を患者に視覚的に提示することにより、患者のバイオフィードバックを促進し、運動学習効果を反映した歩行訓練手法が構築できると考えられる。

### 2. 研究の目的

歩行訓練に関してはトレッドミルが用いられるが、運動解析に基づく歩行評価指標の欠如から、運動学習効率を定量的に評価することができない。そこで、速度制御による負荷変化が可能な左右分離型トレッドミルを開発し、有効な歩行評価指標を用いて、指標と実際の歩行との相違点を視覚的に提示することによって、歩行障害者のバイオフィードバックを促進し、リハビリテーション効率を飛躍的に向上することを目的とする。

### 3. 研究の方法

義足を使用する大腿切断者を含めたヒトの歩行運動解析を、左右分離型トレッドミルを用いた様々な歩行負荷に対して実施し、生体医工学的・運動学的視点から (1) 定量的な歩行評価指標を確立する。床反力計を内蔵し、評価指標に基づき歩行面の走行速度を効果的に制御可能な、(2) 左右分離型トレッドミルを開発する。また、歩行指標と実際の歩行との相違点を患者に視覚的に提示することにより、(3) 患者のバイオフィードバックを促進し、運動学習効果を反映した歩行訓練手法を構築する。

### 4. 研究成果

#### (1) 定量的な歩行評価手法の確立

大腿義足装着者および健常者を被験者とする歩行計測実験を実施し、下肢の関節角度に関する特異値分解に基づく主要な運動を表す関節間協調パターンの評価手法を適用した上で、一歩行周期および各フェーズの運動モードにおける寄与率、空間基底や時間基底に加えて、一歩行周期における重心軌跡や各フェーズの時間比率、それらの相互の関係を表す相関係数を求めた。運動学的な観点から大腿義足装着者の支配的な歩行運動パターンにおける健常者との相違点について比較検証、考察した結果、以下に示す結論を得

た。

①歩行周期を各フェーズに分けた大腿義足装着者と健常者の歩行運動において、第1フェーズと第3フェーズにおける右脚の関節角度に相関がなく、支配的な運動パターンに相違点が見られた。これは、健常者の右脚膝関節は屈曲・伸展運動するのに対して、大腿義足装着者の右脚膝関節には全く屈曲が起こらないためである。

②大腿義足装着者の上下方向の重心軌跡の第2フェーズに健常者との相違点が見られた。これは、大腿義足装着者の支持脚における関節角度および遊脚側のスイング速度が健常者と異なることが原因である。

③大腿義足装着者の運動解析に関して、健常者と明確な相違点を表す関節間協調動作の中でも相関が高い動作パターンを抽出し、ヒトの歩行中における身体運動学的観点から考察し、それらの特徴を把握することにより、特異値分解を用いた大腿義足歩行に関する定量的評価手法の有効性が検証された。

#### (2) 左右分離型トレッドミルの開発

左右の走行路に2枚の6軸床反力計を内蔵し、障害者の歩容に適合した速度制御による負荷状態の変化が可能な左右分離型トレッドミルを開発した。障害者の歩容は障害者の種類によって通常歩行と著しく異なるため、歩行動作を全く阻害しない形で、停止状態から定常歩行までの任意の歩容に対して非侵襲による歩行路制御を実現する必要がある。そのため、左右2枚の床反力計の鉛直方向荷重から足底圧中心点の位置情報の推定手法を開発し、左右走行路の速度制御を実現した。さらに大型スクリーンとプロジェクターを設置してバーチャルリアリティを援用した、2枚の床反力計を内蔵したスプリット型トレッドミルに、ヘッドマウントディスプレイを追加し、同期した動画を表示可能なシステムを開発した。本システムを追加することによって、被験者の没入感は向上し、トレッドミルで計測した様々な情報をプロジェクターに投影することにより、被験者に与える情報とセラピストに提示する情報を分離することが可能となった。開発したシステムの写真を図1に示す。

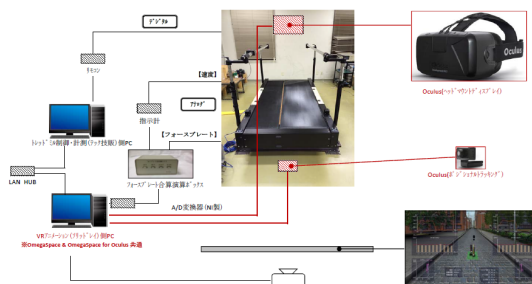


図1. 映像表示機能を持つトレッドミル

#### (3) 患者のバイオフィードバックの促進

ヒトの自己運動感覚は周囲の視覚情報は

じめ、外界から得られる様々な感覚情報に基づいて生成されているため、歩行に関する視覚情報がないトレッドミル上での歩行では自己の移動速度をうまく認識できないといった問題がある。そこで自己の移動が視覚的にフィードバック可能なように、周囲景色が変化する仮想空間 (Virtual Reality : VR) を、ヘッドマウントディスプレイ (以下HMD) を用いてトレッドミル上の歩行者に認識させるシステムを開発した。このシステムがトレッドミル歩行の歩容に与える影響について検証した結果を以下に示す。

①歩幅の変動係数から得られた至適速度に関して、VR空間を認識させたトレッドミル歩行は従来のトレッドミル歩行よりも平地歩行の至適速度に近い。

②HMDを装着したトレッドミル歩行では、歩行の安定性を確保するために、歩行速度が大きいき両足支持の割合が多くなる。

HMDに表示されるVR映像を図2に示す。



図2. HMDに表示されるVR映像

#### (4) 結言

以上のように、速度制御による負荷変化が可能で歩行情報が表示可能な左右分離型トレッドミルを開発し、有効な歩行評価指標を用いて、指標と実際の歩行との相違点を視覚的に提示することによって、歩行障害者のバイオフィードバックを促進し、リハビリテーション効率が向上することを明らかにした。

#### 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12件)

- ① 林祐一郎, 辻内伸好, 松田靖史, 土屋陽太郎, 計算モデル化および力・モーメントの主成分の分析に基づく大腿義足歩行解析, 日本機械学会論文集, 査読有り Vol. 81, No. 831 [DOI:10.1299/transjsme.15-00338], 2015, pp.1-12
- ② 林祐一郎, 辻内伸好, 宇野龍司, 牧野裕太, 土屋陽太郎, 階段・斜面を含むヒトの歩行に生じる関節角度・モーメントの主成分の解析, 日本機械学会論文集, 査読有り Vol. 81, No. 830 [DOI:10.1299/transjsme.15-00320], 2015, pp.1-12
- ③ 林祐一郎, 辻内伸好, 松田靖史, 関節間協調に基づく大腿義足着用者の主要な歩行運動パターンの定量的評価, 日本機械学会論文集, 査読有り, Vol. 81, No. 825

[DOI:10.1299/Transjsme.15-00020], 2015, pp.1-12

- ④ Y. Makino, N. Tsujiuchi, A. Ito, T. Koizumi, S. Nakamura, Y. Matsuda, Y. Tsuchiya, Y. Hayashi, Quantitative Evaluation of Unrestrained Human Gait on Change in Walking Velocity, 査読有り, Proceedings of the 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (07811445.pdf), 2014, pp. 2521-2524
- ⑤ 林祐一郎, 辻内伸好, 小泉孝之, 松田靖史, 土屋陽太郎, 井上喜雄, 移動式床反力計を用いた制約のない健常者および大腿切断者の歩行運動解析, 日本機械学会論文集 C編, 査読有り, 79巻 805号, 2013, pp. 3059-3074

##### [学会発表] (計23件)

- ① 橋口秋彦, 井上喜雄, 芝田京子, 園部元康, 単一の慣性センサを用いた歩行時の力学的エネルギーの推定, 日本機械学会中国四国支部第55期講演会, 2017年3月21日, 広島工業大学五日市キャンパス (広島県・広島市)
- ② 辻内伸好, 伊藤彰人, 白木雅, 表面電極の配置が筋電信号に及ぼす影響を考慮した筋電義手に用いる動作識別手法の提案, LIFE2016, 2016年9月4日, 東北大学青葉山キャンパス (宮城県・仙台市)
- ③ 成松賢司, 井上喜雄, 芝田京子, 園部元康, 橋口秋彦, 慣性センサを用いた歩行時足部の動作推定, LIFE2016, 2016年9月4日, 東北大学青葉山キャンパス (宮城県・仙台市)
- ④ 辻内伸好, 伊藤彰人, 中村匠汰, 足立渡, ウェアラブルな計測装置を用いた歩行解析および精度検証, MOVIC2015, 2015年6月24日, 栃木県総合文化センター (栃木県・宇都宮市)
- ⑤ 辻内伸好, 伊藤彰人, 浅野真由, 大木淳嗣, トレッドミルによる運動訓練システムを用いた歩行・走行時の動力学特性解析, 日本機械学会関西支部第90期定時総会講演会, 2015年3月16日, 京都大学桂キャンパス (京都府・京都市)
- ⑥ 林祐一郎, 辻内伸好, 小泉孝之, 牧野裕太, 中村匠汰, 松田靖史, 土屋陽太郎, 井上喜雄, 移動式床反力計と左右分離式トレッドミルによる大腿切断者を含むヒトの歩行運動解析, 第26回自律分散システムシンポジウム, 2014年1月23日, 東京大学本郷キャンパス山上会館 (東京都・文京区)

##### [図書] (計0件)

##### [産業財産権]

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 1 件）

名称：荷重検出システム  
発明者：辻内伸好， 瀬瀬和美， 瀬瀬俊昭， 足立渡  
権利者：同上  
種類：特許権  
番号：特許第 5805237 号  
取得年月日：2014 年 2 月 28 日  
国内外の別： 国内

〔その他〕

ホームページ等

[http://se.doshisha.ac.jp/doc/labo/kikai\\_rikigaku/kikairikigaku.html](http://se.doshisha.ac.jp/doc/labo/kikai_rikigaku/kikairikigaku.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻内 伸好 (TSUJIUCHI, Nobutaka)  
同志社大学・理工学部・教授  
研究者番号：6 0 2 5 7 7 9 8

(2) 研究分担者

伊藤 彰人 (ITO, Akihito)  
同志社大学・理工学部・准教授  
研究者番号：6 0 5 1 6 9 4 6

井上 喜雄 (INOUE, Yoshio)  
高知工科大学・総合研究所・教授  
研究者番号：5 0 2 9 9 3 6 9

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

( )