

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01437

研究課題名(和文) ロボットによる対麻痺者歩行再建のための練習支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of an exercise support system for reconstruction of paraplegic walking using a robot

研究代表者

田辺 茂雄 (Tanabe, Shigeo)

藤田保健衛生大学・保健学研究科・准教授

研究者番号：50398632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、ロボットによる対麻痺者歩行再建のための練習支援システムを開発することであった。本研究の成果として、トレッドミル上の一定位置でのロボット補助歩行を支援する自動ベルト速度制御手法を考案した。また、手摺と歩行器を使用した場合の、把持部にかかる力覚と体幹角度の違いから、練習支援システムに有用と考えられる視覚提示情報を明らかにした。視覚提示なし条件、体幹側屈提示条件、力覚提示条件で検討した結果、力覚の視覚提示が他の条件と比較して有用である可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to develop an exercise support system for reconstruction of paraplegic walking using a robot. As a result of this study, we developed an automatic belt speed control method to support robot assisted walking at a fixed position on a treadmill. We also clarified the useful visual information for the exercise support system based on the differences of force applied to the hand grip and trunk angle when using handrails and a walker. As a result of examination with no visual information, visual information of trunk lateral flexion, visual information of force applied to the hand grip, information of force might be useful compared with other conditions.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：リハビリテーション 歩行練習

### 1. 研究開始当初の背景

対麻痺者の歩行再建における世界的な潮流は、装具から装着型ロボットへと急速に変わりつつある。我が国においても、WPAL (Wearable Power-Assist Locomotor) (図1) がすでに実用化を達成しており、装着型ロボットによる歩行再建は近い将来一般的な歩行再建手法になると考えられる(引用①-⑤)。

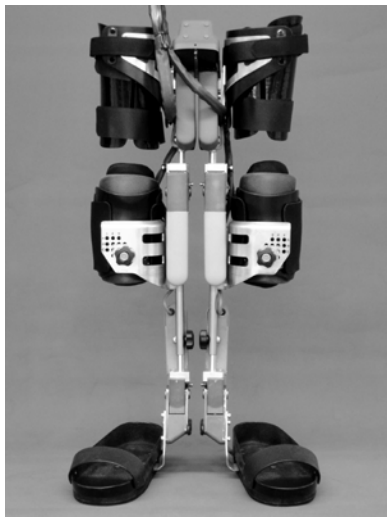


図1 WPAL

WPAL は本体と専用歩行器から構成される。歩行手順としては、まず歩行器に設置されたスタートボタンを押す。動作開始前に歩行と同一のリズムの電子音が鳴った後、歩行動作が開始され、グリップ部にあるトリガが引かれるまで動作を続ける。

歩行中、WPAL は一定のリズムで下肢を交互に振り出すため、利用者はその動作に合わせて上肢および体幹の随意収縮を用いて重心の左右移動を行う(図2)。この律動的な動作習得には、平行棒やトレッドミルなどの設備と、ロボットが歩行中に発する電子音を組み合わせられて行われている。



図2 歩行の様子

具体的には、現在用いられている練習プログラムは5段階で構成されている。第1段階は、平行棒内で電子音に合わせて足踏み練習を実施し、左右へのリズムカルな重心移動を学習する。第2段階では平行棒内、第3段階ではトレッドミル上での歩行練習を行う。第4段階では、懸架装置下での歩行器を使用した平地歩行練習を行い、第5段階では懸架装置を外して多様な歩行練習を実施する。

第3段階のトレッドミル歩行練習では、方向転換を行わず長距離の連続歩行が可能であり、連続した重心移動の習得に適している。しかし、トレッドミル歩行時には手摺を使用しているため、歩行器歩行時と上肢や体幹の使用様式が異なる可能性がある。したがって、第3段階の練習において、歩行器歩行に近い様式で練習を行えるようなシステムを構築できれば、練習の効率が高まることが期待できる。すなわち、歩行器使用時の上肢や体幹の使用様式を考慮し、トレッドミル上での手摺を用いた歩行練習を行うことができれば、より円滑に第4段階の歩行器歩行練習へ移行できると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、より効率的な練習に向けた、ロボットによる対麻痺者歩行再建のためのトレッドミル歩行練習支援システムを開発することであった。

まず、トレッドミル上の一定位置でのロボット補助歩行を可能にする自動ベルト速度制御手法を検討した。次に、ロボット補助歩行時の動作解析によって、トレッドミルの手摺を使用した歩行と、歩行器を使用した歩行との様式の差異を明らかにし、歩行器歩行に向けて習得すべき運動課題を検討した。最後に、各種センサ情報を基にした実時間での視覚提示による練習支援システムを開発し、その有用性を検討した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 自動ベルト速度制御手法の検討

基本的な制御概念は、歩行者の位置が一定となるように両側の単脚支持期においてベルト速度を調整する手法とした。はじめに、ロボットの設定項目である単脚支持時間、両脚支持時間、重複歩長から歩行速度の理論値を算出した。加えて、中心位置で歩行した際の単脚支持期終了時、すなわち対側足部接地時点の足部位置の理論値を求めた。両値を算出した後、まず歩行速度理論値でベルトを駆動し、歩行を開始した。次に、両脚支持期から単脚支持期となった時点ごとに、設定された単脚支持時間で足部を単脚支持期終了時足部位置の理論値まで移動させる速度を算出し、両脚支持期となるまでその速度で駆動した。

提案法の有用性を検討するため、提案法と従来法(一定速度)でロボット補助歩行を行い、歩行練習中に生じ易い異常歩行2種類(早

期接地、骨盤回旋)を健常成人が模擬した。

## (2) 習得すべき運動課題の検討

対象者は健常成人とした。トレッドミル上で WPAL を装着し、手摺または歩行器を用いた歩行を行った。定位置での歩行を補助するために、自動ベルト速度制御手法を用いて速度を調整した。

手摺と歩行器の高さは共に、被験者が直立姿勢下で、肩関節屈曲  $0^\circ$ 、外転  $0^\circ$ 、肘関節  $20^\circ\sim 30^\circ$  屈曲した際の手部の高さとした。また、把持部の太さは共に直径 35mm とした。ただし歩行器は、トレッドミルのベルト下に設置されている床反力計に車輪が載らないよう、外側にオフセットされたものを使用した。また、平地での歩行器歩行では歩行器を押してもタイヤの摩擦抵抗によってある程度の距離で停止する。そのため、歩行者は常時、周期的もしくは不定期に歩行器を前方に押し移動させる必要がある。したがって、図 3 のように 500g の重錘を滑車に掛けて吊り、平地歩行時に上肢が行う動作を模擬した。評価項目は、左手部の力覚情報と体幹の角度変化とし、それぞれ力覚センサと 3 次元動作解析装置を用いて計測した。

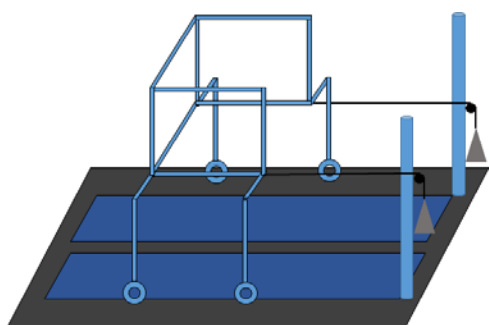


図 3 歩行器の設置方法

## (3) 練習支援システムの開発と有用性検討

作成する練習システムは、第 2 段階の検討で有用性が示唆された指標のうち、手摺にかかる上方成分および側方成分の力覚、体幹の左右方向の角度を視覚的にフィードバックする手法の 2 種類とした。

対象者はトレッドミル上で WPAL を装着し、手摺を用いて歩行を行った。定位置での歩行を補助するために、すべての試行で提案法を用いてベルト速度を調整した。歩行中、前方に手摺把持部力覚(上方向、内方向、外方向)情報または体幹側屈角度情報を提示し、目標値に合わせるよう指示を行った。評価項目は、手摺把持部力覚情報と体幹の側屈角度変化とし、それぞれ力覚センサと 3 次元動作解析装置を用いて計測した。

## 4. 研究成果

### (1) 自動ベルト速度制御手法の検討

トレッドミル歩行練習初期を想定したベルト速度条件において、提案法を用いた際に

ベルト前後中心位置からの有意な変位減少を認めた。具体的には、定常歩行時において  $0.09\pm 0.05\text{m}$  から  $0.03\pm 0.02\text{m}$  へと、早期接地歩行時において  $0.11\pm 0.08\text{m}$  から  $0.04\pm 0.01\text{m}$  へと、骨盤回旋歩行時において  $0.08\pm 0.02\text{m}$  から  $0.04\pm 0.01\text{m}$  へと、提案法によってそれぞれ有意な変位減少を認めた。

ロボットの時間距離因子および足部位置情報を用いたベルト速度調整方法を考案した結果、提案法では従来法(一定速度)と比較して一定位置での歩行が可能であった。今回模擬した異常歩行は、実際の対麻痺者の歩行練習で生じる回数よりも頻回に設定しており、臨床での歩行練習においても十分な有用性を持つと考えられる。

### (2) 習得すべき運動課題の検討

手部力覚の各成分最大値について、手摺と歩行器では、前方向は 14.5N と 4.6N、後方は 7.4N と -0.8N、内方向は 26.7N と 4.8N、外方向は 17.2N と 8.5N、上方向は 16.7N と -5.7N、とそれぞれ歩行器で有意に低値を示した。一方、下方向最大値は手摺で 50.8N、歩行器で 48.0N と差を認めなかった。

体幹角度について、側屈角度範囲は手摺で 10.7 度、歩行器で 15.2 度と歩行器で高値を示した。一方、前後屈角度範囲は手摺で 9.1 度、歩行器で 10.1 度と差を認めなかった。

最終的な目標となる歩行器を用いたロボット補助歩行について、習得すべき運動課題を検討した結果、下方向以外の前後方向、内外方向、上方向への上肢使用低減、体幹の側屈角度増大を習得する必要性が示唆された。

### (3) 練習支援システムの開発と有用性検討

手摺把持部力覚の目標値との差異は、視覚提示なし条件、体幹側屈提示条件と比較して、力覚提示条件の内方向、外方向で有意に低値を示した(内方向:視覚提示なし 30.0N, 体幹側屈 25.9N, 力覚 7.8N, 外方向:視覚提示なし 30.6N, 体幹側屈 30.0N, 力覚 20.3N)。

一方、体幹側屈角度の目標値との差異は、すべての条件間で有意な差は認められなかった(視覚提示なし -7.4 度, 体幹側屈 -2.5 度, 力覚 -2.4 度)。

これらの結果から、力覚の視覚フィードバックが他の条件と比較して有用である可能性が示唆された。

## <引用文献>

- ①Tanabe S, Saitoh E, Hirano S, Katoh M, Takemitsu T, Uno A, Suzuki T. (2013) Design of the Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) for paraplegic gait reconstruction. Disability and Rehabilitation: Assistive Technology, 8(1), 84-91.
- ②Tanabe S, Hirano S, Saitoh E. (2013) Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL)

for supporting upright walking in persons with paraplegia. NeuroRehabilitation, 33(1), 99-106.

- ③Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, Katoh M, Shimizu Y, Yatsuya K, Uno A. (2015) Comparison between gait-assisting robot (WPAL) and bilateral knee-ankle-foot orthoses with a medial single hip joint in gait reconstruction for patients with paraplegia. Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science, 6, 21-26.
- ④Tanabe S, Koyama S, Saitoh E, Hirano S, Yatsuya K, Tsunoda T, Furumoto A. (2017) Clinical feasibility of gait training with a robotic exoskeleton (WPAL) in an individual with both incomplete cervical and complete thoracic spinal cord injury: A case study. NeuroRehabilitation, 41(1), 85-95.
- ⑤Yatsuya K, Hirano S, Saitoh E, Tanabe S, Tanaka H, Eguchi M, Kagaya H. (2018) Comparison of energy efficiency between Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) and two types of knee-ankle-foot orthoses with a medial single hip joint (MSH-KAFO). The journal of spinal cord medicine, 41(1), 48-54.

## 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)

[学会発表] (計 1 件)

Tanabe S, Kumazawa N, Iwai M, Saitoh E, Hirano S, Koyama S, Kitaji S, Katoh M, Uno A, Influence of Different Types of Hand Support on Gait Pattern during Treadmill Walking with a Robotic Exoskeleton: a Comparison between Handrail and Walker, Asian Prosthetic and Orthotic Scientific Meeting 2016、2016年11月、Seoul, Korea

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田辺 茂雄 (TANABE, shigeo)

藤田保健衛生大学・保健学研究科・准教授  
研究者番号：50398632