

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K10727

研究課題名（和文）対麻痺者歩行再建ロボット使用時の最適な歩行器操作法の解明

研究課題名（英文）Optimal walker operation during walking with a wearable robotic exoskeleton for paraplegics

研究代表者

田辺 茂雄（TANABE, Shigeo）

藤田医科大学・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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、対麻痺者歩行再建ロボット使用時の最適な歩行器操作法を解明することであった。本研究の成果として、まず、ロボット補助歩行時の、歩行者と歩行器の距離を計測するシステムを構築した。次に、定常歩行時の時系列データから、練習すべき動作課題を検討した。その結果、習熟するにつれて1歩行周期中に2度、歩行者と歩行器の距離が離隔/接近する様式に収束する傾向を認めた。最後に、転倒につながる姿勢変化を模擬し、その過程を検討した。結果として、歩行者と歩行器との過度な接近は、1秒程度で生じる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、対麻痺者歩行再建ロボット使用時の最適な歩行器操作法の解明である。対麻痺者のための歩行再建用装着型ロボットは、国内外問わずこれまでに多数提案されている。最適な歩行器操作法が解明されることによって、練習すべき動作課題が明らかとなる。また、動作に対するフィードバックなどへの応用も可能と考えられる。これらの知見および改良によって、より早期の、より広い対象におけるロボット補助歩行自立およびその後の転倒予防が期待できる。対麻痺者の歩行再建に対する期待は高く、ロボット補助歩行の練習方法改善や機器改良に寄与する本研究の学術的、社会的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study examined an optimal walker operation when using a wearable robotic exoskeleton for individuals with paraplegia. As a result of the present study, first, we constructed a system to measure the distance between the user and the walker during the robot-assisted walking. Next, we investigated the movement tasks to be practiced based on the time series data during steady-state walking with the robot. The result suggested that, as the user became more proficient, the distance between the user and the walker tended to converge to a pattern of extension/shortening twice in one gait cycle. Finally, we simulated the postural changes that lead to falls and investigated the process. The result suggested that the excessive short distance between the user and the walker occurs in about one second.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：脊髄損傷 ロボット 歩行

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 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。世界で最初に提案された ReWalk が広く知られているが、その他にも Exso, Indego, そして我が国で開発された Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) (図1) などがすでに実用化を達成しており、装着型ロボット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 )。

これらのロボットのうち、すでに我が国の複数施設で臨床利用されている装置が WPAL である。WPAL はロボット部と装具部からなる本体と専用歩行器から構成される。ロボットの股・膝・足関節部にはそれぞれ一軸のモータが配置されており、脊髄損傷者による実証試験では、良好な平地歩行結果が得られている(引用 )。

歩行中、WPAL は一定のリズムで下肢を交互に振り出すため、歩行者はその動きに合わせて上肢および体幹の随意収縮を用いて重心の移動と歩行器の前方移動を行う必要がある(図2)(引用 , )。

しかし、この歩行器の操作については、自立歩行獲得に必須であるにも関わらず、これまで十分な検討が行われていない。

すなわち WPAL は、歩行器に設置されたボタンが押されると、同じく設置されたトリガが引かれるまで、一定の歩行動作を続ける。したがって利用者は、ロボットと同調した適切な時期に、歩行器を後下方へ押すなどして前方支持脚へ重心を移動させる必要がある。併せて、体幹と歩行器の距離が近づき過ぎないように、歩行器自体を前方へ移動させ、適切な距離を保つ必要がある。

我々はこれまでに、自立歩行の獲得に向けた推奨練習過程を提案しているが(図3), 歩行器を用いた歩行練習の前段階となる、平行棒内およびトレッドミル上での歩行練習を示したのみであり、歩行中どのように重心と歩行器を移動させれば良いかは明らかでない。

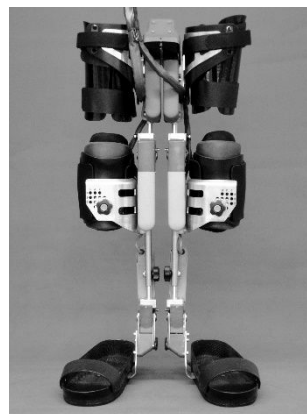


図1 WPAL 本体



図2 歩行の様子



図3 練習過程(左:初期 平行棒, 中:中期 トレッドミル, 右:終期 歩行器)

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、対麻痺者歩行再建ロボット使用時の最適な歩行器操作法の解明である。具体的な目的として、下記3点を挙げた。

- (1) ロボット補助歩行時の、歩行者と歩行器の距離を経時的に計測するシステムを構築する。
- (2) 定常歩行時の時系列データ解析によって、練習すべき動作課題を明らかにする。
- (3) 転倒につながる姿勢変化を再現し、姿勢変化発生に至る過程を明らかにする。

### 3. 研究の方法

(1) 測距センサを用いて、歩行者と歩行器の距離を経時的に計測するシステムを構築した。具体的には、専用歩行器(図4)の前方にある横パイプにセンサを設置し、体幹前面下部(またはロボット股継手部前面)と歩行器との距離を経時的に計測する仕様とした。

(2) 定常歩行時の歩行者-歩行器距離の経時変化を計測し、練習すべき動作課題を検討した。対象は健康成人とし、WPALを用いた歩行を十分習熟させた後、平地歩行を行っている際の歩行者と歩行器の距離を計測した。加えて、WPALが行う下肢動作との関係を検討するため、WPALの歩行周期も同期して取得した。これらを基に、歩行周期のどの時期に歩行器を前方へ移動させるのか、を検討した。

(3) 転倒につながる姿勢変化を模擬的に再現し、経時的な距離の変化を検討した。対象は健康成人とし、模擬する姿勢変化は、WPAL歩行時に生じやすいPosterior breakdownとした(引用 )。経時的な距離の変化を基に、姿勢変化発生に至る過程を検討することとした。



図4 専用歩行器

### 4. 研究成果

(1) レーザまたはワイヤを用いた測距センサによって、歩行者と歩行器の距離を経時的に計測するシステムを構築した。具体的には、専用歩行器の前方にある横パイプにセンサを設置し、有線にてアナログ/デジタル変換器に接続、コンピュータによるリアルタイム表示とデータ集録が可能なシステムとした(図5)。

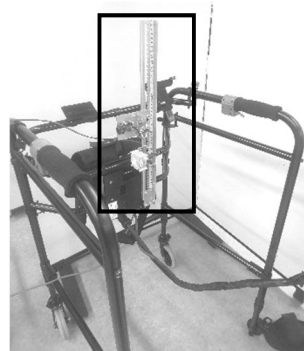


図5 センサ設置

(2) 1歩行周期ごとの、歩行者体幹前面(またはロボット股継手部前面)と歩行器センサ取り付け部との距離情報を抽出し、歩行周期内の距離の変化から歩行器の操作様式を検討した。その結果、ロボットを用いた歩行の未習熟者においては、対象者ごとに異なる特徴があった。一方で、長時間の連続歩行を行うことによって、両脚支持期開始時に歩行者と歩行器の距離が最も遠く、片脚支持期開始時に歩行者と歩行器の距離が最も近くなる、歩行器の操作様式に収束する傾向を認めた。

(3) 対象者に、WPAL 装着下で 10m歩行を行うよう指示し、歩行器を押し出していない時期に歩行器の前方移動を物理的に妨げ、模擬的に歩行者と歩行器との過度な接近状態(Posterior breakdownが生じる状態)を再現した。その結果、最離隔距離は約 300mm、最接近距離は約 60mmであった。また、その両者が生じた時点の間隔は約 1秒であった。ヒトの視覚刺激からの反応速度は約 0.2秒とされている。転倒を防ぐための介助には、介助者の大きな身体動作が必要となるため、さらに長い時間を要すると考えられる。したがって、今後は転倒予防のためのフィードバックシステムの追加検討が必要であると考えられる。

### <引用文献>

- Tan, K., Koyama, S., Sakurai, H., Teranishi, T., Kanada, Y., & Tanabe, S. (2021). Wearable robotic exoskeleton for gait reconstruction in patients with spinal cord injury: A literature review. *Journal of orthopaedic translation*, 28, 55-64.
- Fuse, I., Hirano, S., Saitoh, E., Otaka, Y., Tanabe, S., Kato, M., ... & Koyama, S. (2019). Gait reconstruction using the gait assist robot WPAL in patients with cervical spinal cord injury. *Japanese Journal of Comprehensive Rehabilitation Science*, 10, 88-95.
- Yatsuya, 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.
- Tanabe, 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.
- Hirano, S., Saitoh, E., Tanabe, S., Kato, 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.
- Tanabe, 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.
- Tanabe, S., Hirano, S., & Saitoh, E. (2013). Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) for supporting upright walking in persons with paraplegia. *NeuroRehabilitation*, 33(1), 99-106.
- Koyama, S., Tanabe, S., Saitoh, E., Hirano, S., Shimizu, Y., Katoh, M., ... & Takemitsu, T. (2016). Characterization of unexpected postural changes during robot-assisted gait training in paraplegic patients. *Spinal cord*, 54(2), 120-125.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	小山 総市朗  (KOYAMA Soichiro)  (90754705)	藤田医科大学・保健衛生学部・講師    (33916)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関