

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：33916

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K19810

研究課題名(和文) 対麻痺者用ロボットを用いた安全な坂道歩行獲得に関する研究

研究課題名(英文) A study on a slope walking using a exoskeleton robot for paraplegia

研究代表者

小山 総市朗 (Koyama, Soichiro)

藤田医科大学・保健学研究科・講師

研究者番号：90754705

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL) を用いた坂道歩行時における歩行器と歩行者との距離の変化を明らかにすることであった。初年度は、坂道でのWPAL歩行において、歩行器と歩行者との距離計測システムを構築した。次年度は、計測システムを用いて平地と坂道での歩行器と歩行者との距離の比較を行い、上りは距離が離れ、下りは近くなることを明らかにした。最終年度は、坂道歩行時に転倒につながる姿勢変化を再現し、計測システムを用いて歩行器と歩行者との過度な接近が1.5秒適度で生じることが明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、坂道における脊髄損傷者用の歩行再建ロボット使用時の最適な歩行器操作法を明らかにすることであった。脊髄損傷者のための歩行再建用装着型ロボットは、国内外で開発が進められ、実証試験が行われている。しかし、屋外歩行で頻りに遭遇する坂道歩行の獲得における適切な練習課題は、明らかにされていない。最適な歩行器操作法の解明により、練習課題が明らかになると考える。加えて、より早期の、より広い対象におけるロボット補助歩行の自立、およびその後の転倒予防が期待できる。脊髄損傷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る。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to clarify the change in the distance between a rolling walker and a user's body during walking on the slope with a Wearable Power-Assist Locomotor (WPAL). In the first year, we developed a system for measuring the distance between the walker and a user's body. In the second year, we compared the distance between the walker and a user's body between walking on the level and walking on the slope using the developed measurement system. We found that the distance became longer during up-slope walking and closer during down-slope walking. In the final year, we reproduced the unexpected postural changes that lead to falls while walking on the slope and revealed that an excessive close distance between the walker and a user occurred within 1.5 seconds.

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 坂道歩行

1. 研究開始当初の背景

近年の医工連携の成果として、両下肢に運動・感覚障害を呈した対麻痺患者を対象とした様々な装着型歩行支援ロボットが開発され、実用化に至っている。代表として、ReWalk (Israel)、Exso (USA)、Indego (USA)、REX (New Zealand) 等が挙げられる。

我々も 2005 年から脊髄損傷者に対する装着型歩行支援ロボット Wearable Power-Assist Locomotor (以下 WPAL) を開発している (図 1)。WPAL は、世界で唯一両下肢の内側に支柱とモーターが配置され、車いす上にてロボットの自己脱着が可能である。

WPAL は、歩行補助具として歩行器を採用している。歩行中の安定性向上、転倒予防に寄与し、制御機器およびバッテリーを搭載することで、本体の軽量化を実現している。

WPAL は、両股、膝、足関節に設置されたモーターによって一定のリズムで下肢を振り出すため、歩行者は下肢の筋力を必要とせず歩行が可能となる。WPAL 歩行者には、WPAL の動きと同調して、歩行周期の適切な時期に、健全な上肢・体幹を用いた、左右への重心移動と歩行器の前方移動が求められる。

特に、歩行周期の適切な時期での歩行器の前方移動は、重要である。WPAL の実証試験を後方視的に調査した報告によると、歩行中の転倒につながる予期しない姿勢変化は、歩行器の前方移動時期が乱れ、体幹と歩行器との距離が一定に維持できないことで生じることが明らかにされている。



図 1 . WPAL および専用歩行器

我々は、屋外歩行を目指して坂道歩行の実証試験を開始している。この実証試験の中で、坂道歩行時には歩行器の下方への推進力が増すことによって、上り坂では歩行器が歩行者に接近し、下り坂では離れ、歩行器の操作が難しくなることを頻回に確認している。また、平地と坂道の境界においては、歩行器と歩行者の床面角度が異なるため、求められる歩行器操作が他の条件と異なる。

しかし、これらの条件下での適切な歩行器の操作時期について検討されておらず、歩行器と歩行者の距離の変化について明らかでない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、WPAL 使用下での坂道歩行における、歩行器と歩行者との距離変化について明らかにすることである。以下のように、年度ごとに具体的目的を定めて、研究を実施した。2019 年度は、WPAL 坂道歩行時に計測可能な歩行器と歩行者との距離を計測するシステムを構築することとした。2020 年度は、定常坂道歩行時の時系列データ解析による、歩行器と歩行者との距離変動の解明とした。2021 年度は、転倒につながる姿勢変化の再現を行い、坂道歩行練習課題の明確化とした。

3. 研究の方法

[2019 年度]

測距センサを使用して、坂道歩行時における歩行器と歩行者との距離を経時的に計測するシステムを構築した。測距センサは、WPAL 専用歩行器の前方パイプ部分に設置し、ロボットの股関節継手前面との距離を計測する仕様とした。測距センサは、ワイヤ式変位計 (SM2-25、株式会社ヒロテック) を用いた。測距センサの固定には、専用治具を開発し、グラフィック型言語 (National Instruments LabVIEW) を用いて、計測プログラムを作成した。

[2020 年度]

定常坂道歩行時での歩行器と歩行者との距離変動を計測した。対象者は健常成人とし、WPALを用いた坂道歩行を十分に練習させた後、昨年度に構築した距離計測システムを用いて行った。計測路は平地 3m、坂道 4m、平地 1.5mとし、坂道の傾斜勾配は 10%とした。

[2021 年度]

坂道歩行時に転倒につながる姿勢変化を再現し、初年度に構築した距離計測システムを用いて歩行器と歩行者との距離変化を検討した。対象者は WPAL を用いた歩行の成熟者とした。再現する姿勢変化は、WPAL 歩行時に生じやすい Posterior breakdown とした (Koyama et al. Spinal cord. 2016)。定常歩行から転倒につながる姿勢変化までの経時的な距離の変化から、姿勢変化発生に至る過程を検討した。具体的には、WPAL 歩行中の歩行器を押していない時期に、歩行器の前方移動を実験者が妨げ、転倒につながる姿勢変化である歩行器と歩行者の過度な接近状態を再現した。計測路は昨年度と同様とした。

4 . 研究成果

[2019 年度]

ワイヤ式変位計を用いて、坂道歩行時の歩行器と歩行者と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、ワイヤ式変位計を WPAL 専用歩行器の前方にある横パイプに設置し、アナログ/デジタル変換器を介して、コンピュータによるリアルタイム表示とデータ収録が可能なシステムとした(図 2)。

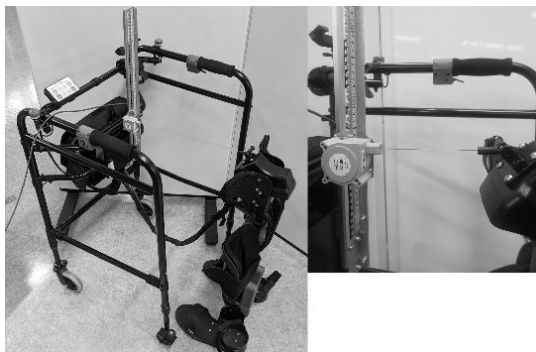


図 2 . ワイヤセンサの取り付け位置，歩行器とヒトとの距離の計測方法

[2020 年度]

計測した距離データを、平地(歩行器と歩行者ともに平地)、上り始め(歩行器が坂道に入り歩行者は平地)、上り中(歩行器と歩行者ともに坂道)、上り終り(歩行器が平地に入り歩行者は坂道)、下り初め(歩行器が坂道に入り歩行者は平地)、下り中(歩行器と歩行者ともに坂道)、下り終り(歩行器が平地に入り歩行者は坂道)に分けて解析した。結果、歩行者と歩行器との距離は平地 227.6mm、上り始め 306.2mm、上り中 314.2mm、上り終り 306.5mm、下り初め 206.1mm、下り中 185.0mm、下り終り 209.2mm であった。平地歩行と、上りと下りを比較すると、歩行者と歩行器との距離は、上りでは離れ、下りでは近づくという有意な変化があった。一方、上り始め、上り終り、下り初め、下り終りには有意差がなかった(図 3)。

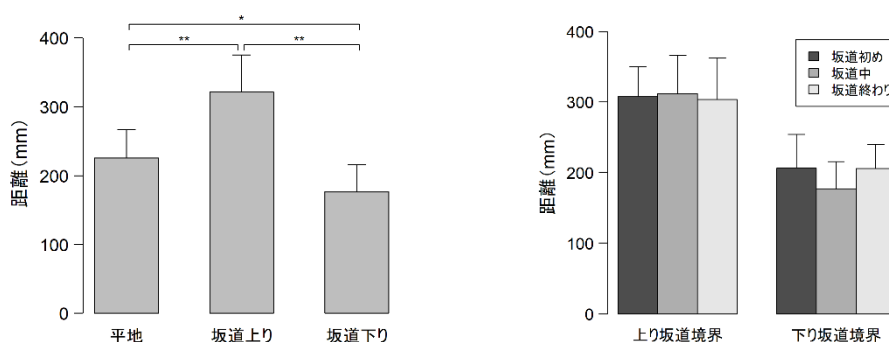


図 3 . 平地および坂道での平均距離の比較

[2021 年度]

取得した距離データから、歩行器と歩行者との距離の変位と、その変位が生じた時間を算出した。結果、上り坂道では 0.85 ~ 2.23 秒で 189.2 ~ 244.9mm の接近が生じた。下り坂道では、1.4 ~ 1.7 秒で 215.3 ~ 347.1mm の接近が生じた (図 4)。

坂道は、平地よりも重力の影響が生じるため歩行中の歩行器操作が難しくなる。本研究によって、歩行器と歩行者の接近状態は、およそ 1-2 秒で生じることが明らかになった。人の視覚刺激からの反応速度は、およそ 0.2 秒とされる。WPAL を用いた坂道歩行の適切な歩行器操作時期は、歩行器を押していない両脚支持期の初期であり、本結果を踏まえて WPAL 坂道歩行練習を実施することが望ましいと考える。

総括

本研究の目的は、WPAL を用いた坂道歩行時における歩行器と歩行者との距離の変化について明らかにすることであった。初年度は、坂道での WPAL 歩行において、ワイヤ式変位計を WPAL 専用歩行器に取り付け、歩行器と歩行者との距離計測システムを構築した。次年度は、その計測システムを用いて平地と坂道での歩行器と歩行者との距離の比較を行った。その結果、歩行者と歩行器との距離は、上りでは離れ、下りでは近づくことが明らかになった。最終年度は、坂道歩行時に転倒につながる姿勢変化を再現して、その過程を検討した。その結果、計測システムを用いて歩行器と歩行者との過度な接近は、1-2 秒適度で生じることを明らかにした。

本研究は、ロボット補助歩行の屋外歩行達成に必要な検討であり、屋外歩行時の練習方法や機器改良に寄与すると考えられる。

参考文献

- Koyama, S., Tanabe, S., Saitoh, E., Hirano, S., Shimizu, Y., Katoh, M., Uno, A., & Takemitsu, T. (2016). Characterization of unexpected postural changes during robot-assisted gait training in paraplegic patients. *Spinal cord*, 54(2), 120-125. <https://doi.org/10.1038/sc.2015.138>

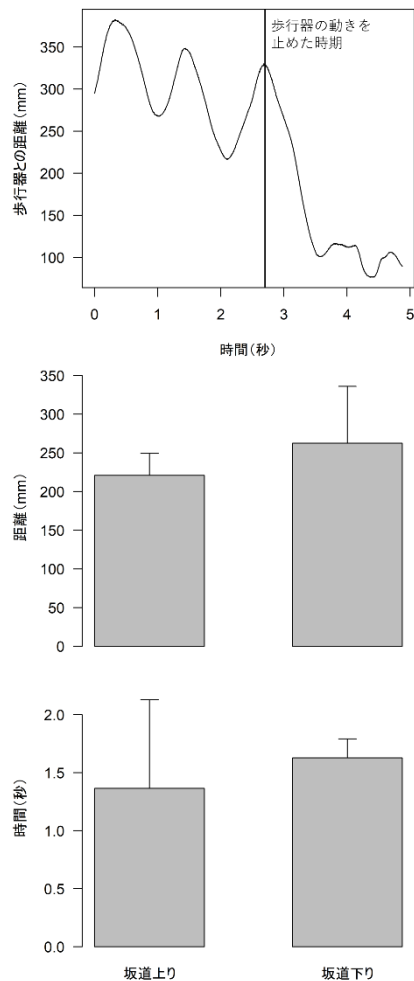


図 4 . 姿勢変化時の距離変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Tan Koki, Koyama Soichiro, Sakurai Hiroaki, Teranishi Toshio, Kanada Yoshikiyo, Tanabe Shigeo	4. 巻 28
2. 論文標題 Wearable robotic exoskeleton for gait reconstruction in patients with spinal cord injury: A literature review	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Translation	6. 最初と最後の頁 55 ~ 64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jot.2021.01.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------