

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12169

研究課題名(和文) 歩行安定性向上を目的とした麻痺側に対する上肢・下肢協調運動支援システムの開発

研究課題名(英文) Development on the coordinated motion support system of paralyzed upper and lower limbs for walking stability improvement

研究代表者

塚原 淳 (Tsukahara, Atsushi)

信州大学・学術研究院繊維学系・助教

研究者番号：70601128

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)：本研究では、歩行に伴う上肢運動が歩行安定性や歩容変化に及ぼす影響を明らかにするとともに、脳卒中片麻痺者の麻痺側上肢と下肢の協調運動をアシストする装着型ロボットの開発を目的として研究を行った。

麻痺側上肢・下肢協調運動支援システムの実現のため、モータとワイヤ巻取り機構によって肩関節の屈曲・伸展動作の支援を行うアシストウェアを開発するとともに、下肢運動支援用アシストロボットとシステム統合に成功した。さらに歩行アシスト実験では、開発した上肢・下肢歩行支援手法適用時の歩行速度、歩行の安定性を評価するHarmonic ratioが、片麻痺模擬歩行と比較して有意に向上することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

片麻痺による運動障害は、筋力低下や歩行中の左右非対称バランスによって転倒の危険性を高めるため、片麻痺者は自立した生活を送ることが困難となる。従来の研究開発では、両下肢の動きを支援する装着型ロボットと杖・歩行器の併用によって、このような課題の解決を目指してきた。一方、本研究の歩行支援システムは、麻痺側の上肢と下肢の協調運動をアシストすることで、左右対称バランスや歩容の改善を目指すものである。そのため、杖や歩行器などの使用や、複雑なメカニカル構造・姿勢制御を最小限に抑え、歩行安定性のために上肢運動を積極的に取り入れた歩行訓練技術として、医療・福祉分野に留まらず、日常生活支援での活躍が期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the effect of upper limb movement associated with walking on stability and gait condition, and to develop a wearable assist robot that supports the coordinated motion of paralyzed upper and lower limbs of hemiplegic patients. To this end, we developed the assist wear that supports flexion and extension movements of the shoulder joint with the spool mechanism of the flexible wires using the actuator. In addition, we integrated the developed upper limb assist wear with the conventional lower limb assist robot, which we have been developed. In the walking assist experiments, the proposed method, which supports the coordinated movements of upper and lower limbs, significantly increased the walking smoothness (measured using the harmonic ratio: HR) and walking velocity compared with hemiplegic simulated gait.

研究分野：ロボティクス

キーワード：歩行支援 麻痺側協調運動 ウェアラブルロボット

## 1. 研究開始当初の背景

脳卒中の後遺症によって発症する片麻痺の患者数は、超高齢社会に伴い増加の一途をたどり、我が国における深刻な社会課題のひとつとなっている。近年では、こうした問題を解決するために、片麻痺患者の歩行を支援する様々な装着型ロボットの開発が行われている。我々の研究プロジェクトでは現在までに、ヒトの動きに合わせて歩行をアシストする非外骨格型のロボティックウェア curara® (両下肢タイプ) を開発してきた。しかしながら一方で、歩行中における四肢間の協調関係に着目し、上肢運動機能の改善までを視野に入れた歩行支援システムは未だ実現されていない。通常、ヒトの歩行は下肢の運動だけではなく上肢との協調運動によって成り立っている。そのため、下肢のみならず歩行中の上肢運動をアシストすることで、歩行のシナジー効果を高め、より効率的に歩行機能の改善を行う必要性は極めて高い。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、歩行に伴う上肢運動が、歩行安定性や歩容変化に及ぼす影響を明らかにするとともに、脳卒中片麻痺患者に対して、麻痺側の上肢と下肢の協調運動をアシストする装着型の歩行支援システムを開発することである。この目的を達成するために、歩行安定性と四肢間協調運動の関係性を、腕振り動作の有無における歩行によって解明するとともに、そこから得られた知見をもとに「麻痺側用上肢・下肢協調運動支援システム」を開発し、本提案システムの有効性を確認する。

## 3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、主に下記の2点についての研究開発を行った。

### (1) 歩行安定性・歩容変化に寄与する上肢運動の機能的役割の解明

本実験では、四肢間の協調関係が崩れたときの歩行特性の変化を定量的に評価する。そのため、(i)両腕を積極的に用いた場合と、(ii)片麻痺上肢の拘縮状態を模擬するため、片腕を固定した場合での、最大努力下での歩行を計測・比較する。評価方法は、第3腰椎付近に取り付けた加速度データ (MVP-RF8-GC, MicroStone 社製) の周波数解析から、歩行の滑らかさ・安定性の定量評価が可能な Harmonic ratio (以下、HR) を用いて両条件の比較し、歩行中の上肢運動 (腕振り) の有無による歩行特性の変化を検証した。

### (2) 上肢・下肢協調運動支援システムの開発とアシスト検証実験

上肢支援用ウェアラブルロボットにおいて、肩部にアクチュエータを装着するシステムでは、パワーユニットを固定するために多くの剛体フレームを使用しなければならず、亜脱臼の危険性を抱えている片麻痺者に適応することは大変困難である。そのため、着脱の容易さや動きの親和性を考慮し、使用者が一人で着用できる上肢システムのハードウェア開発を行うとともに、これまで開発されてきた下肢運動支援用ロボティックウェアとのシステム統合を行う。パワーユニットについては、これまで当プロジェクトで独自開発してきたものを使用する。

開発した上肢・下肢協調運動支援システムの有効性を検証するため、健常者の通常歩行／片麻痺模擬歩行／下肢運動支援歩行 (片麻痺模擬状態で下肢ロボティックウェアのみを装着)／上肢・下肢協調運動支援歩行 (片麻痺模擬状態で開発システムを装着) 条件の 10m 歩行テストを行い、4つの歩行条件の比較実験を行った。評価方法は、歩行速度と HR を比較した。なお、実験参加者 (健常者) は、片足首にアンクルウェイト (4kg) と片膝関節に屈曲抑制サポータを着用し、片麻痺患者の運動機能を模擬した。

## 4. 研究成果

### (1) 歩行安定性・歩容変化に寄与する上肢運動の機能的役割の解明

加速度波形の離散的フーリエ変換によって得られる HR は、値が高いほど動きが円滑で安定した歩行であるとされている。図1に左右 (ML: Medio-lateral) ・上下 (V: Vertical) ・前後 (AP: Anterior-posterior) 成分における HR 値の結果を示す。実験の結果、左右方向に関しては決定的な差異は見られなかったが、上下・前後方向に関しては、協調運動の有無によって統計的に有意な差を確認することができた。このことは、片麻痺者に対する歩行支援において、下肢のみならず上肢の協調運動も支援することで歩行の安定性に影響をもたらすことを示唆している。

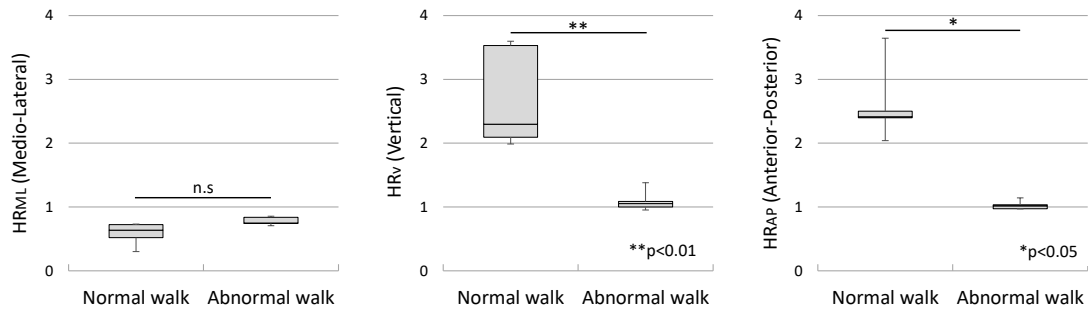


図 1 Results of harmonic ratio in the medio-lateral (ML), vertical (V), and anterior-posterior (AP) directions.

(2) 上肢・下肢協調運動支援システムの開発とアシスト検証実験

本研究では、モータとワイヤ巻取り機構を備えたパワーユニットを開発し、ワイヤの牽引力によって肩関節の屈曲・伸展をアシストする上肢支援用アシストウェアを開発した(図 2a)。アシストウェアは、装着者の身体に接触する部分であることから、柔軟性の高い素材であることが望ましい。そのため、本研究ではクロロプレン素材の肩サポータを用いた。さらに、片側(麻痺側)に対する上肢・下肢協調運動支援システムの実現のため、これまでに開発した下肢運動支援用ロボティックウェアとのシステム統合に成功した(図 2b)。

アシスト検証実験では、10m 歩行テストにおける、健常者の通常歩行/片麻痺模擬歩行/下肢運動支援歩行(片麻痺模擬状態で下肢ロボティックウェアのみを装着)/上肢・下肢協調運動支援歩行(片麻痺模擬状態で開発システムを装着)条件の歩行速度と HR を比較した。

上記の条件下での歩行速度結果を図 3 に示す。片麻痺模擬、下肢支援のみ、上肢・下肢協調動作支援(本提案手法)の順で、歩行速度は上昇し、また統計学的有意差を確認することができた。

また、HR 値の比較結果では、AP、ML、V 方向のすべてにおいて、上肢・下肢支援歩行の HR 値が通常歩行に次いで高い値となった(図 4)。また、V 方向では、片麻痺模擬歩行と上肢・下肢支援歩行との間で有意差が確認された。このことは歩行時に上肢運動を行うことで、体幹における上下方向の揺動が少なくなることが起因していると考えられる。歩行時の上肢運動によって、体幹の動揺が抑制されるとするならば、体幹付近の加速度によって算出される HR の値にも寄与していると考えられ、片腕だけでなく両腕を振ることで左右の対称性が向上したと考えられる。そのため、全ての方向で上肢・下肢支援を行った場合の HR 値が、通常歩行に次いで高い値となっていると考えられる。これらのことから、下肢だけではなく上肢も併せて支援することで、歩行の安定性向上につながる可能性が示唆された。



図 2 (a)Side and back views of the spool mechanism and the assist wear mounted on the torso. (b)Coordinated motion support system of paralyzed upper and lower limbs.

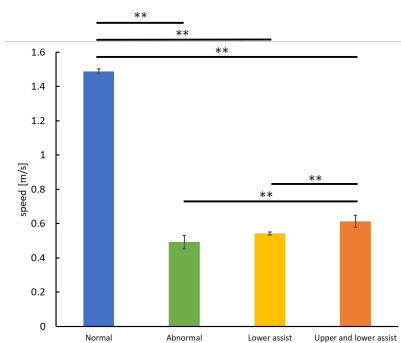


図 3 Walking speed in each condition. Significant difference ( $p < 0.05$ : \*,  $p < 0.01$ : \*\*).

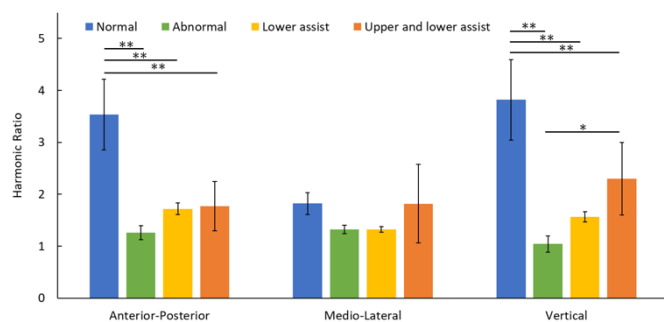


図 4 Harmonic ratio for the Anterior-Posterior, Medio-Lateral, Vertical planes. Significant difference ( $p < 0.05$ : \*,  $p < 0.01$ : \*\*).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 三宅亮, 橋本稔, 塚原淳
2. 発表標題 片麻痺患者適応に向けた上肢・下肢curaraによる歩行支援に関する基礎研究
3. 学会等名 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 我妻冬磨, 橋本稔, 塚原淳
2. 発表標題 curaraを用いたリアルタイム同調パラメータ変更による歩行支援
3. 学会等名 日本機械学会年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村和樹, 橋本稔, 塚原淳
2. 発表標題 curaraを用いた脳卒中患者のための非麻痺脚運動に基づく片脚步行支援手法の検討
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2018年

〔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	橋本 稔  (Hashimoto Minoru)  (60156297)	信州大学・繊維学部・特任教授    (13601)	

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