

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：33916

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11352

研究課題名（和文）重度片麻痺患者に対するロボットを活用した歩行訓練における立脚期のアシスト量の研究

研究課題名（英文）Study of stance phase assist during gait training using a robot for patients with severe hemiplegia

研究代表者

伊藤 慎英 (Itoh, Norihide)

藤田医科大学・保健衛生学部・講師

研究者番号：30646980

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ロボット歩行訓練で膝伸展アシスト調整を行う重度片麻痺者は、健常者に比べ、低い歩行能力を有する群である可能性が示唆された。また、膝伸展アシストは、麻痺した下肢の運動機能に応じて調整されている可能性が示唆されたが、症例を増やし、継続的な検討が必要と考えられる。膝伸展アシストの増加は、立脚期（歩行中、足底が床に着いている期間）だけでなく、遊脚期（歩行中、足底が床に着いていない期間）の歩容にも影響する可能性が示唆された。したがって、膝伸展アシストによる歩行の難易度調整は、期待される効果と求めている効果（副作用）の両者を評価しながら行うべきことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットを用いた歩行訓練は、脳卒中発症後3か月以内の歩行不能例に推奨されているが、どのようなアシストを行うと訓練効果が高くなるかは明らかになっていない。膝伸展アシストは、麻痺した下肢機能に応じて調整されている可能性が示唆されたが、十分な検討には至らなかった。膝伸展アシストの増加は、過度な膝関節の屈曲、急激な膝関節の伸展を改善させる一方で、内側ホイップを増悪させる可能性が示唆された。本研究の学術的意義は、脳卒中の重度片麻痺患者に対する膝伸展アシストの影響を初めて報告したことである。訓練効果を高める要点のひとつである、膝伸展アシストの影響が明らかになった点については社会的意義が高いと考える。

研究成果の概要（英文）：The results suggest that patients with severe hemiplegic stroke who need compensating degree adjustment of the knee extension during robotic gait training had lower walking ability compared to healthy people. Although a degree of knee extension assistance might be adjusted according to the paralyzed lower limb function, that is considered to require continued study. Along with the increase in knee extension assist, it might affect not only parameters during the stance phase of gait but also parameters during the swing phase of gait. Therefore, gait training difficulty adjustment using compensating degree adjustment of the knee extension should be conducted while evaluating both expected and unexpected effects.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：歩行訓練 ロボット アシスト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

脳卒中治療ガイドライン 2015 では、ロボットを活用した歩行訓練を発症後 3 か月以内の歩行不能例に推奨している¹⁾。一方で、標準的な歩行訓練を行った群と訓練効果に差がないとの報告もある^{2,3)}。その理由として、ロボットによって誘導される運動が実際の歩行と異なることや、運動様式が一定となるために効果的な運動学習ができないことが指摘されている³⁾。加えて、対象者が再学習すべき歩行運動と必要なロボットアシストの二点が明確でないことも影響していると考えられる。

重度片麻痺患者に対するロボットを活用した歩行訓練では、下肢の運動を生じさせやすい、麻痺(随意性)の程度に応じた立脚期の膝伸展アシスト量が明らかになっていない。したがって、歩容と麻痺側下肢運動機能の関係性から膝伸展アシストの調整法が明らかになると、下肢関節を制御するロボットを活用した歩行訓練の効果を高められると考え、本研究の実施に至った。

2. 研究の目的

本研究は、脳卒中による重度片麻痺患者を対象とし、立脚期に焦点をあて、ロボットを活用した歩行練習の効果をより高めるために、麻痺した下肢にどのようなロボットの膝伸展アシストを行うとよいかを明らかにすることを目的に(1)から(3)を検討した。加えて、ロボット歩行訓練中に歩行指標をモニタリングできる環境整備(4)も目的とした。

- (1) ロボット歩行訓練中に膝伸展アシストの調整を必要とする重度片麻痺者の特徴の検討
- (2) ロボット歩行訓練中の麻痺側下肢運動機能と膝伸展アシストの関係性の検討
- (3) 膝伸展アシスト量の違いがトレッドミル歩行に与える影響の検討
- (4) 膝伸展アシストの調整を目的としたロボット歩行訓練中の筋電位計測環境の整備

3. 研究の方法

本研究で使用する歩行ロボットは、ウェルウォーク(トヨタ自動車株式会社)である(図1)⁴⁾。本機器には、長下肢ロボットの膝関節部に搭載されたモータによる 10 段階の膝伸展アシストがある。レベル 10(最大)では、患者が全く膝関節伸展の筋力を発揮しなくても、立脚期に膝関節屈曲が起こらない強さでアシストする。レベル 1(最小)では、膝関節伸展をアシストせず、患者本人が、短下肢装具装着時と同様に膝関節伸展運動を行う必要がある。



図1: ウェルウォーク

- (1) ロボット歩行訓練中に膝伸展アシストの調整を必要とする重度片麻痺者の特徴の検討

対象は、ロボット歩行訓練を行った脳卒中患者の歩行分析データベースから、テント上の初発脳卒中の重度片麻痺者で、ロボット研究の説明を理解できる高次脳機能を有し、既往歴に整形外科的疾患がない症例を抽出した。症例の基本情報、身体認知機能、歩行自立度、歩行速度、10 段階の膝伸展アシストレベル、ストライド時間、歩幅などの時間距離因子を分析した。

- (2) ロボット歩行訓練中の麻痺側下肢運動機能と膝伸展アシストの関係性の検討

麻痺側下肢機能は、Stroke Impairment Assessment Set (SIAS) の Hip-Flexion test、Knee-Extension test、Foot-Pat test で評価した。麻痺側下肢機能とロボット歩行訓練中における膝伸展アシストの関係性を検討するため、SIAS 下肢の合計値と膝伸展アシストレベルのスピアマンの順位相関係数を算出した。統計解析ソフトは IBM SPSS Statistics version 28 (日本アイビーエム株式会社) を用いた。

- (3) 膝伸展アシスト量の違いがトレッドミル歩行に与える影響の検討

脳卒中片麻痺者 5 名を対象に、三次元動作分析装置キネマトレーサー(キッセイコムテック株式会社)を用い、動作分析を行った。歩行条件は、膝伸展アシストの最適値を訓練時に使用しているレベルとし、そのレベルのプラスマイナス 1 レベルの 3 通りとした。歩行分析の指標は、立脚期異常歩行様式(過度な膝関節の屈曲、急激な膝関節の伸展、常時膝関節屈曲位、過度な体幹の後方移動、過度な体幹の前傾、過度な体幹の患側移動、骨盤後退、過度な下腿の前傾)と、遊脚期の異常歩行様式(内側ホイップ、分回し歩行、非麻痺側による伸び上がり、骨盤挙上、過度な股関節外旋、体幹の後傾、過度な体幹の非麻痺側移動、遊脚保持困難、過度な振り出し、つま先離地困難)とした。異常歩行様式の重症度は、健常者から得られた値を基にした偏差値を使用した。

- (4) 膝伸展アシストの調整を目的としたロボット歩行訓練中の筋電計測環境の整備
 ロボット脚を装着し、膝伸展アシストを駆動した歩行条件で、正確な筋電位波形を取得するため、筋電計 MQ-16 (キッセイコムテック株式会社) を用い、検討した。

4. 研究成果

- (1) ロボット歩行訓練中に膝伸展アシストの調整を必要とする重度片麻痺者の特徴の検討
 対象のプロフィールは表 1、歩行指標は表 2 の通りであった。トレッドミル歩行速度は低速で、歩行率と歩幅は小さかった。歩行周期において、遊脚期割合が小さく、立脚期割合が大きかった。

表 1. 対象のプロフィール

| 項目 | 数値: 平均 ± 標準偏差 (最小-最大) |
|---|---------------------------|
| 症例数 (例) | 計 10 |
| 計測回数 (回) | 計 37、1 例あたり 3.7 ± 1.6 |
| 年齢 (歳) | 62.5 ± 8.6 (48-74) |
| 性別 (例) | 男性 5、女性 5 |
| 身長 (cm) | 162.4 ± 7.7 (153.0-180.0) |
| 体重 (kg) | 56.4 ± 5.8 (46.4-63.7) |
| 診断名 (例) | 脳出血 9、脳梗塞 1 |
| 障害側 (例) | 左側 5、右側 5 |
| 発症後日数 (日) | 44.8 ± 15.4 (29-78) |
| Hip-Flexion test | 1.6 ± 0.8 (0-3) |
| Knee-Extension test | 1.8 ± 0.6 (0-2) |
| Foot-Pat test | 0.3 ± 0.5 (0-1) |
| SIAS 下肢機能の合計値 | 3.7 ± 1.6 (0-6) |
| 歩行自立度 (Functional Independence Measure) | 3.3 ± 0.9 (2-5) |

表 2. 歩行指標

| 項目 | 数値: 平均 ± 標準偏差 (最小-最大) |
|-----------------|-------------------------|
| トレッドミル速度 (km/h) | 0.57 ± 0.13 (0.35-0.90) |
| 膝伸展アシスト (レベル) | 5.3 ± 2.8 (1-10) |
| ストライド時間 (秒) | 2.38 ± 0.36 (1.74-3.14) |
| 歩行率 (歩/分) | 51.8 ± 8.3 (38.2-69.1) |
| 麻痺側歩幅 (cm) | 21.9 ± 6.4 (9.0-36.8) |
| 非麻痺側歩幅 (cm) | 15.6 ± 8.8 (-2.2-32.7) |
| 歩行割合 (%) | |
| 麻痺側前の両脚支持期 (%) | 24.2 ± 6.1 (14.4-44.5) |
| 麻痺側の単脚支持期 (%) | 16.9 ± 5.1 (7.6-27.2) |
| 麻痺側後の両脚支持期 (%) | 33.5 ± 8.0 (22.3-52.3) |
| 麻痺側の遊脚期 (%) | 25.4 ± 4.2 (17.8-35.2) |

- (2) ロボット歩行訓練中の麻痺側下肢運動機能と膝伸展アシストの関係性の検討

分析は、表 1 の症例に、他施設 5 例を追加し、15 例 46 回のデータを分析した。対象は、年齢 61 ± 9.0 歳、身長 164.7 ± 7.5 歳、体重 58.1 ± 5.6kg、脳出血 12 例、脳梗塞 3 例、左片麻痺 8 例、右片麻痺 7 例、発症後日数 61.1 ± 41.8 日であった。SIAS の麻痺側下肢機能の合計値とロボット歩行訓練中における膝伸展アシストの関係を図 2 に示す。麻痺側下肢機能が高ければ、膝伸展アシストが小さくなる傾向を示した。両者間のスピアマンの順位相関係数は、-0.496 であった (有意水準 1%未満)。

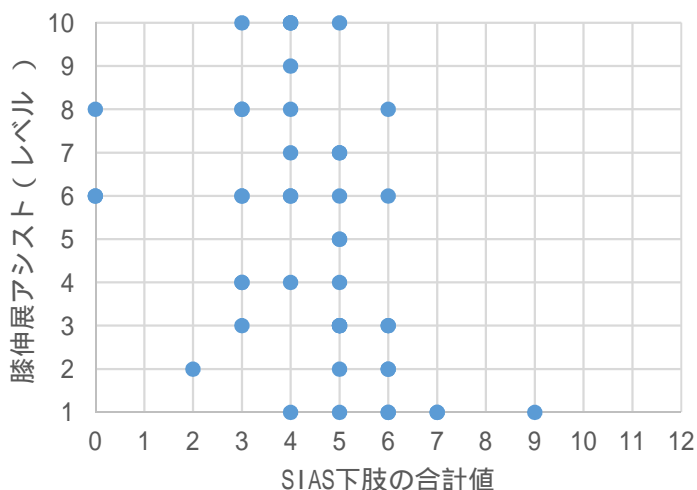


図 2. SIAS 麻痺側下肢機能と膝伸展アシストの関係

(3) 膝伸展アシスト量の違いがトレッドミル歩行に与える影響の検討

対象5例のプロフィールは、表3の通りである。膝伸展アシストのレベルを増加すると、過度な膝関節の屈曲、急激な膝関節の伸展が改善した(図3、4)。一方で、遊脚期の異常歩行様式である内側ホイップが増悪した(図5)。

表3: 対象5例のプロフィール

| 項目 | 症例1 | 症例2 | 症例3 | 症例4 | 症例5 |
|---------------|------|-------|------|------|------|
| 性別 | 男 | 女 | 男 | 男 | 男 |
| 年齢(歳) | 56 | 67 | 66 | 47 | 53 |
| 身長(cm) | 180 | 151.5 | 160 | 168 | 167 |
| 体重(kg) | 78.9 | 43.3 | 39.0 | 70.2 | 56.3 |
| 診断名 | 脳出血 | 脳出血 | 脳梗塞 | 脳梗塞 | 脳出血 |
| 障害側 | 右 | 右 | 右 | 右 | 左 |
| 発症後日数(日) | 96 | 109 | 142 | 27 | 68 |
| SIAS 下肢機能の合計値 | 6 | 3 | 11 | 8 | 1 |
| 10m 歩行 FIM | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |

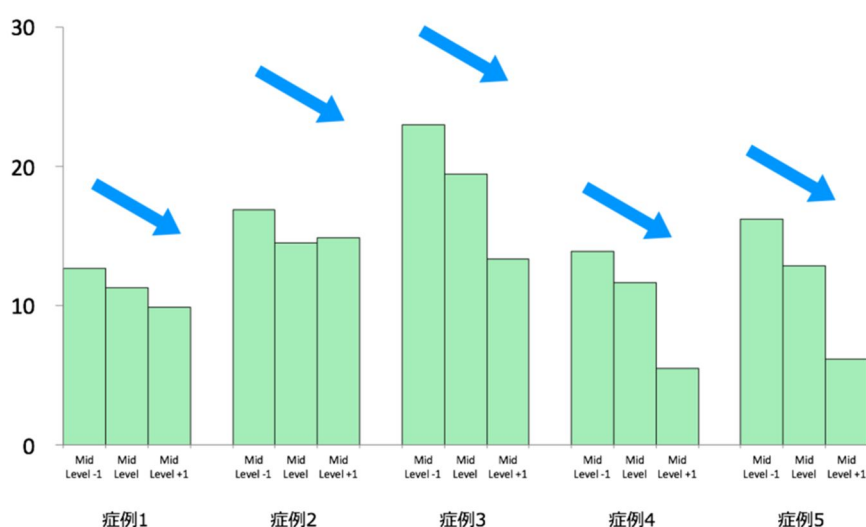


図3. 過度な膝関節の屈曲

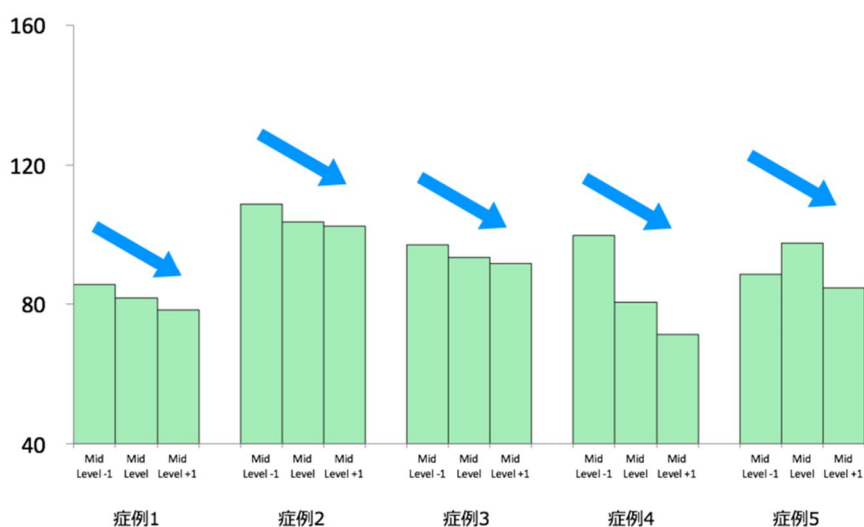


図4. 急激な膝関節の伸展

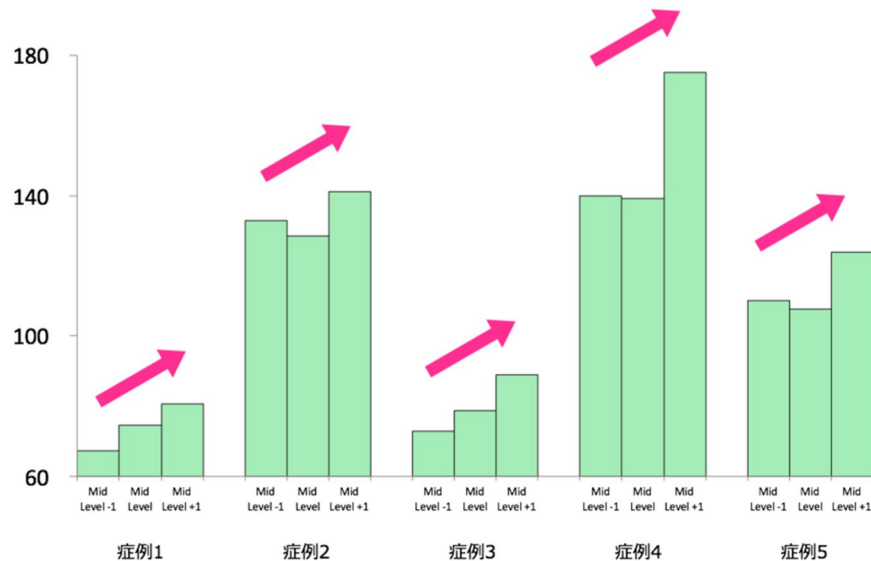


図5. 内側ホイップ

(4) 膝伸展アシストの調整を目的としたロボット歩行訓練中の筋電位計測環境の整備

麻痺側下肢の大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の筋電計測法の検討を進めた。大腿部の筋電位は、取り付けられた電極とロボット脚が接触するため、長時間の計測になると皮膚に発赤や疼痛が生じる課題があったが、市販の電極を工夫し、発赤および疼痛なく行えるようになった。また、ロボット駆動による電氣的ノイズの対策も行った。

以上のように、本研究期間全体の成果によって、ロボット歩行訓練で膝伸展アシストの調整を必要とする重度片麻痺者の特徴が示された。麻痺側下肢機能とロボット歩行訓練中における膝伸展アシスト量の関係については、弱い負の相関に留まった。膝伸展アシスト量の調整は、麻痺側下肢のSIASでみる随意性以外の因子も影響があると考えられ、歩行分析の知見に基づいて作成された指標から得られる情報を加えて、膝伸展アシスト量を決定することは、臨床的意義が高いと考えられる。三次元動作分析装置を用いた歩行分析では、膝伸展アシスト量の増加は、立脚期だけでなく、遊脚期の歩容にも影響する可能性が示唆された。膝伸展アシストによる歩行の難易度調整において、期待される効果と求めていない効果(副作用)の両者を観察し、練習を行うことが大切であると考えられる。ロボット歩行訓練中の筋電位計測は、市販の電極を工夫し、発赤および疼痛なく行えるようになり、ロボット駆動による電氣的ノイズの対策も行った。筋電位計測の基礎的な準備は完了した。今後、三次元動作分析装置と筋電計を用いた歩行分析から、膝伸展アシストを調整できる指標を作成し、重度片麻痺患者の歩行能力の改善に貢献していきたい。

<引用文献>

1. 日本脳卒中協会 脳卒中ガイドライン委員会:脳卒中治療ガイドライン 2015.協和企画,東京, 2015.
2. Hornby TG, et al: Enhanced gait-related improvements after therapist-versus robotic-assisted locomotor training in subjects with chronic stroke. Stroke 2008; 39: 1786-92.
3. Hidler J, et al: Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. Neurorehabil Neural Repair 2009; 23: 5-13.
4. Tomida K, et al. Randomized controlled trial of gait training using gait exercise assist robot (GEAR) in stroke patients with hemiplegia. Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases, 2019; 28: 2421-2428.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 布施郁子、菊地克久、西野智至、平田知大、高原誠、柳瀬治彦、伊藤慎英 |
| 2. 発表標題 歩行練習支援ロボットウェルウォークWW-2000を用いて歩行練習を行った脳卒中7症例 |
| 3. 学会等名 第5回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 柳瀬治彦、伊藤慎英、高原誠、田井中歩、谷田美奈子、原田将大、中川裕規、布施郁子、菊地克久、野々村和男 |
| 2. 発表標題 ウェルウォーク歩行練習で最小レベルの膝伸展アシストにしてからの脳出血右片麻痺一例 |
| 3. 学会等名 回復期リハビリテーション病棟協会第39回研究大会 in 東京 |
| 4. 発表年 2022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 |
|---------------------------|-----------------------|----|
|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|