

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 27日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700671

研究課題名（和文） 理学療法士のハンドリング手技の工学的解明と歩行リハビリへの応用

研究課題名（英文） Engineering analysis on manual assistance of physical therapist and application toward gait rehabilitation

研究代表者

渡邊 峰生（WATANABE TAKAO）

早稲田大学・理工学術院・助手

研究者番号：20571368

研究成果の概要（和文）：脳卒中片麻痺患者の歩行リハビリテーションにおいて、理学療法士により患者の歩行動作を介助するハンドリングが行われている。近年、ロボットを用いた歩行訓練の研究開発が行われているが、患者の状態や個人差に応じた介助を実現できていない。本研究では、患者の状態や個人差に対応した理学療法士のハンドリングの力の計測・解析、力学特性のモデル化を行い、ロボットを用いた歩行訓練への応用を試みた。

研究成果の概要（英文）：Handling is manual assistance by physical therapist to assist hemiplegia patient during gait rehabilitation after a stroke. Recently, research and development of robotic gait training has been conducted, but there still remains the individual or condition difference among patients. In this research, we conducted measurement and analysis of handling's force, modeling of its mechanical property, and implementation for robotic gait training.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：スキルサイエンス、ロボット制御、歩行リハビリテーション

1. 研究開始当初の背景

4人に1人が65歳以上となる日本において、要介護者等の増加により、介護者1人当たりの負担の増大や介護者の不在、医療費の増加等の問題が生じている。要介護者等が介護を必要とする主な原因として、23.3%（厚生労働省「国民生活基礎調査（2007年）」）という最も多い割合占めるのが脳卒中である。脳卒中リハビリテーションの中でも、歩行の再獲得は自立した社会的活動を行うために重要であり、歩行によりもたらされる移動機能はQOL（Quality Of Life: 生活の質）の向上に直結する。このような社会的背景を受け、本研究は、脳卒中で片麻痺となった患者の歩行リハビリテーションを研究対象としている。片

麻痺患者の歩行リハビリテーションにおいて、理学療法士が行う介助動作の一つに、患者を正常な歩行動作へ誘導するハンドリングとよばれるものがある。ハンドリングは、理学療法士の経験に基づき、患者の状態や個人差に応じた介助を実現している。しかし、理学療法士の時間的制約や身体的負担から、長時間同じ動作を繰り返すことが必要な量的な歩行訓練に、常時立ち会いながらハンドリング等の介助を行い続けることは困難である。このような現状に対して、近年、量的な歩行訓練を支援する、ロボットを用いた歩行訓練の研究開発が行われているが、患者の状態や個人差に応じた介助をどのように実現するかは、共通となる基本問題である。

2. 研究の目的

本研究では、患者の状態や個人差に応じた介助を実現している理学療法士のハンドリングの動作解析を行うことで、その特徴を工学的に解明する。また、その知見に基づき、患者の状態や個人差に応じた介助をロボットを用いた歩行訓練で実現することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は、大別して、(1)理学療法士のハンドリングの動作解析、(2)ハンドリングの力学モデルの構築と評価、(3)ロボットを用いた歩行訓練での評価の3つの研究課題から構成される。

(1) 理学療法士のハンドリングの動作解析

ハンドリングの計測手法の構築と、それをもとにした動作解析を行った。

まず、理学療法士のハンドリングで生じる力を計測するための手法が確立されていなかったため、共同研究先である藤元早鈴病院の理学療法士の協力の下、予備的な実験を行い、計測するセンサの要求を導出した。そして、センサの選定を行い、指先で骨盤に力を与えることができ、力の大きさと向きを計測することが可能な手法を構築した。

次に、構築した計測手法を用い、理学療法士が模擬する片麻痺患者を被験者としたハンドリングの計測実験を行い、動作解析を行った。動作解析では、3次元位置計測装置で、模擬片麻痺患者の骨盤位置を計測し、ハンドリングの力との関係性を調査した。

(2) ハンドリングの力学モデルの構築と評価

(1)で得られた結果より、理学療法士のハンドリングの力学モデルの構築と評価を行った。ハンドリングの力の向きと大きさは、それぞれ歩行中に変化しているが、ハンドリングの役割の一つである重心移動を補助する左右方向への力に着目した。その非対称性や、生体のもつインピーダンス特性を考慮し数式化した。そして、ハンドリングで実際に発生した力と、モデルにより計算した力を比較することで、その精度を評価した。

(3) ロボットを用いた歩行訓練での評価

理学療法士が付加している力を模擬できる歩行訓練ロボットを試作し、(2)で構築したモデルを、その力制御系に組み入れた。

まず、試作するロボットの要求を設定した。ロボットは、理学療法士の手のように、被験者の骨盤を支持し、かつ、その動作に追従できることが可能であることが必要である。また、本研究で着目している左右方向の力を制御できる機構を備えることが必要である。こ

れらの要求を満たすために、骨盤を支持する機構と、骨盤の回転運動に追従する自由度、ならびに、理学療法士のハンドリングにおいて患者の骨盤に与える左右方向の力を再現するために、力制御が可能な左右方向の自由度を持つロボットを開発した。

次に、(2)で考案したモデルを歩行訓練ロボットに実装し、理学療法士による模擬片麻痺患者を被験者として、その効果検証を行った。

4. 研究成果

(1) 理学療法士のハンドリングの動作解析

まず、理学療法士のハンドリングで生じる力を計測するための手法が確立するために行った予備的な実験より、ハンドリングでは指先で骨盤を支持し、力を与えていることが明らかになった。また、ハンドリングの目的は、麻痺の程度や患者の歩行能力に応じて異なっており、本研究で対象とする麻痺の程度を示す指標である **Br.stage** が V 以上の麻痺が軽度の患者に対しては、左右方向への力による重心移動制御が主に行われているが、計測データからもその傾向が示された。このことから、ハンドリングを計測するためのセンサの要求は、指先で骨盤に力を与えることができること、左右方向へかかる力の大きさを取り出せること、であることとした。

次に、この要求をもとにセンサの選定を行ったが、市販のセンサでは要求を満たせるものがなかった。従来の指にとりつける形のセンサは、手の動作を阻害せず、指の押し当て力を計測できたが、手全体でかけている力を計測できないという課題があった。一方、センサグローブのように、手に装着するタイプのものもあったが、せん断方向の力を計測するためには力センサを内蔵させる必要があるため、手の動作を阻害してしまっていた。そこで、患者の骨盤に装着する形式の力計測デバイス(図1, 図2)を新たに試作した。これは、指先で骨盤に力を与えることができ、かつ、力を3軸方向の成分に分けて測定できるものであり、導出した要求を満たすものである。

提案した計測手法は、歩行訓練ロボットにおいて、理学療法士のような力制御を行いたい場合に、その力制御の仕様を決定するために有用であり、そこに工学的な意義がある。また、これまで経験と勘によって行われてきたハンドリングを定量的に解析できるものであり、リハビリテーション科学的な意義がある。そして、理学療法士がハンドリングの訓練を行う際に、スキルを定量的に評価するためのツールとしての応用も期待できる。

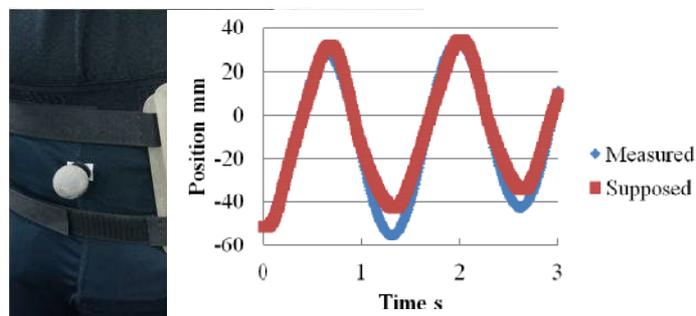


図1 試作したハンドリング計測デバイス

構築したハンドリングの力の計測手法を用い、模擬片麻痺患者の骨盤位置とハンドリングの力との関係性を調査した結果、ハンドリングの力には左右差があること、骨盤位置と力の結果には位相差があること、骨盤の運動にふらつきが生じた場合、その位相差が変化することが明らかになった(図2)。

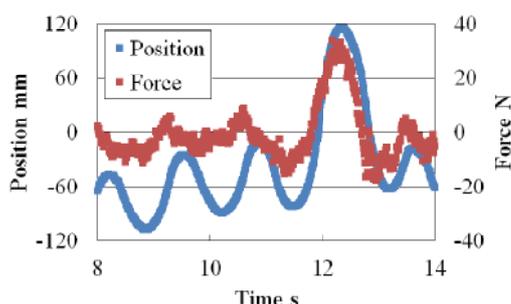


図2 骨盤左右位置とハンドリング力の関係

(2) 力学モデルの構築と評価

(1)で得られた結果より、理学療法士のハンドリング力を、骨盤の左右方向の位置や速度の関数として、数式化した。麻痺側・健側で非対称的な働きをしているという特性と、生体がつもインピーダンス特性を考慮し、その双方をもつモデルを考案した。各被験者の各試行ごとに、骨盤位置と力の計測データから、モデルのパラメータ推定を行った。その結果、ハンドリングの左右方向の力のグラフである図3に表されるように、実際に発生した力とモデルにより計算した力を比較したところ、多くの区間において、力を高精度に再現できていることが示された。一方、歩行のふらつきがある区間については、誤差が生じていたため、今後の課題として、取り組む。

歩行訓練ロボットの研究開発の潮流において、本研究の成果は、患者の個人差に応じて歩行訓練ロボットの制御を変えるための新しいアプローチを示すものである。今後は、片麻痺患者の協力のもと、その適用範囲について評価を進めるとともに、ハンドリングの左右方向以外の力の特徴についても、調査していく。

図3 ハンドリングの力の計測値と算出値

(3) ロボットを用いた歩行訓練での評価

歩行訓練ロボットを用い、(2)で考案した

モデルの評価を行った。モデルは、図4に示した歩行訓練ロボットの左右方向の力制御系に組み入れた。そして、理学療法士2名による模擬片麻痺者を被験者とし、①PTによるハンドリングなしの片麻痺模擬歩行、②PTによるハンドリングありの歩行、③ロボットによるアシストありの歩行の3条件で、被験者の骨盤左右動作の平均軌跡から逸脱した量を算出し、逸脱を抑える効果を評価した。



図4 模擬片麻痺者と歩行訓練ロボット概観

図5に、骨盤の平均軌跡とのずれをRMS値で表し、各条件ごとにまとめたものを示す。図中の赤が①PTによるハンドリングなしの片麻痺模擬歩行、青が②PTによるハンドリングありの歩行、黄色が③ロボットによるアシストありの歩行をそれぞれ示している。この結果から、ロボットのハンドリングがある場合、ハンドリングがない場合よりも、骨盤の逸脱を抑える効果があることが示唆された。

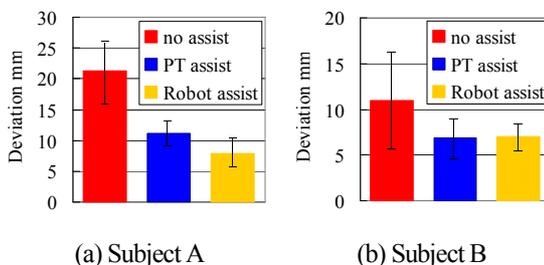


図5 骨盤の平均軌跡からの逸脱量の比較

今後は、(2)でも述べた、歩行のふらつきがある区間のモデルの精度向上や左右方向以外の力のモデル化を行った上で、片麻痺者を被験者とした適用範囲の評価を行う。

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)

[雑誌論文] (計1件)

(1) Y. Kobayashi, T. Watanabe, M. Seki, T. Ando, and M. G. Fujie, "Soft Interaction Between Body Weight Support System and

Human Using Impedance Control Based on Fractional Calculus”, Advanced Robotics, vol. 26, no. 11–12, pp. 1253–1269, 査読有 DOI: 10.1080/01691864.2012.689724

〔学会発表〕(計 10 件)

(1) T. Watanabe, T. Tono, K. Kawamura, J. Inoue, Y. Nakashima, Y. Kijima, Y. Higashi, T. Yuji, T. Fujimoto, M.G. Fujie, “Analysis of Interaction between Therapist and Hemiplegic Patient for Control of Lateral Pelvic Motion during Robotic Gait Training”, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2013 年 5 月 6 日~2013 年 5 月 10 日, カールスルーエ(ドイツ), 査読有

(2) 中島 康貴, 渡邊 峰生, 東野 達也, 井上 淳, 川村 和也, 貴嶋 芳文, 東 祐二, 湯地 忠彦, 藤元 登四郎, 藤江 正克, “片麻痺患者の歩行訓練支援に向けた理学療法士の介助動作を再現するロボットの開発”, 第 18 回ロボティクスシンポジウム, 2013 年 3 月 14 日~2013 年 3 月 15 日, 山形県上山市, 査読有

(3) 中島 康貴, 渡邊 峰生, 東野 達也, 井上 淳, 川村 和也, 貴嶋 芳文, 東 祐二, 湯地 忠彦, 藤元 登四郎, 藤江 正克, “片麻痺患者の歩行訓練支援に向けた理学療法士の介助動作を再現するロボットの開発”, 第 13 回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, 2012 年 12 月 18 日~2012 年 12 月 20 日, 福岡国際会議場

(4) 小峯 悠司, 渡邊 峰生, 井上 淳, 中島 康貴, 川村 和也, 貴嶋 芳文, 豊永 勇樹, 手島 健夫, 東 祐二, 湯地 忠彦, 藤元 登四郎, 藤江 正克, “片麻痺患者の骨盤動作アシストを行う歩行訓練ロボットの開発 ~骨盤運動の振幅変動における理学療法士のハンドリングの変化の計測~”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会 (LIFE 2012), 2012 年 11 月 2 日~2012 年 11 月 4 日, 名古屋大学

(5) 中島 康貴, 脇村 玲衣, 渡辺 広樹, 関 雅俊, 渡邊 峰生, 小林 洋, 藤江 正克, “光トポグラフィを用いた歩行訓練に対する意欲の定量化”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11, 2012 年 5 月 27 日~2012 年 5 月 29 日, アクトシティ浜松(静岡)

(6) 東野 達也, 渡邊 峰生, 川村 和也, 井上 淳, 中島 康貴, 貴嶋 芳文, 東 祐二, 湯地 忠彦, 藤元 登四郎, 藤江 正克, “片麻痺患者の骨盤動作アシストを行う歩行訓練ロボット

の開発~理学療法士が行うハンドリング動作の計測~”, 生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会, 2011 年 11 月 5 日, 芝浦工業大学

(7) Takao Watanabe, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Pelvic Motion Analysis for Gait Phase Estimation during Gait Training with Body Weight Support", 2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2011), 2011 年 10 月 12 日, Anchorage (USA)

(8) Takao Watanabe, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "Pelvis Motion Analysis for Gait Phase Estimation Toward Leg-Dependent Body Weight Support at Different Walking Speed", 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2011), 2011 年 8 月 31 日, Boston (USA)

(9) 西尾 直樹, 関 雅俊, 渡邊 峰生, 井上 淳, 藤江 正克, “傾斜歩行シミュレーションからの膝関節アシストロボットのパラメータ検討”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11, 2011 年 5 月 26 日~2011 年 5 月 28 日, 岡山コンベンションセンター

(10) 山田 和世, 安藤 健, 西尾 直樹, 井上 淳, 渡邊 峰生, 藤江 正克, “脳卒中における利き手側麻痺疾患の歩行訓練支援を目的としたロボット杖の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'11, 2011 年 5 月 26 日~2011 年 5 月 28 日, 岡山コンベンションセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡邊 峰生 (WATANABE TAKAO)

早稲田大学・理工学術院・研究助手

研究者番号: 20571368