

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 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：35302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：平成23年度～平成23年度

課題番号：23650358

研究課題名（和文）歩行訓練用動力装具のための歩行交互動作時の関節駆動
制御方策に関する研究研究課題名（英文）Human joint driving control of interlimb modulation
for the dynamic assistive gait orthosis

研究代表者

山本 敏泰（YAMAMOTO TOSHIYASU）

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号：20412158

研究成果の概要（和文）：足関節駆動方法の検討を行い、腓腹筋、ヒラメ筋の電気刺激による駆動を実現した。次にCPG階層性制御の1つである、足・股関節駆動調節機能について、体重支持率、歩行速度の変化による分析から、足関節駆動力調節による歩行維持機能は股関節制御である傾向を認め、大なる成果となった。頸髄損傷不全麻痺者において、人工的な足関節駆動による歩行が可能である事を予備的実験によって確認した。

研究成果の概要（英文）：By examining a new method of driving ankle joint, we achieved success by electric stimulation of gastrocnemius and soleus muscles. Next, based on the body weight support treadmill walking, the physiological driving control of the hip and ankle joint in walking was investigated by changing the body weight support rate and the walking speed. It is experimentally admitted that the driving control gait by the ankle joint was automatically regulated by the hip joint control. A preliminary experimental gait study was successfully conducted by driving the ankle joint in the incomplete cervical cord injury.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：総合領域

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：福祉・介護用ロボット 歩行 交互運動制御則 関節駆動則 CPG

1. 研究開始当初の背景

(1) 我々は機能的電気刺激を利用した体重支持トレッドミル歩行訓練システム(Body weight support treadmill training system、BWSTTS)の開発準備を進めてきた。しかし歩行訓練用動力装具等の交互動作支援の基本的問題として、脚駆動力及び脚相互間の運動制御方策が明かでないことが挙げられる。

(2) 歩行時における免荷、歩行速度変化に対する歩行のバイオメカニカルな基本的特性の検討を進めると共に、足部周囲の感覚神経刺激時の反応に関する研究を進め、対脚における歩行の安定維持反応、即ち位相に依存した協調的な(Interlimb control、ILC)の発現を確認してきた。こうした交互動作反応の定量化は我々が最初である。

(3) 本研究の成果は、エネルギー効率の良い、より自然な歩行を可能にする BWSTTS の開発を可能にすると共に、Motion-assist 歩行訓練システムの構築に寄与できる。

2. 研究の目的

(1) 歩行 CPG (Central pattern generator、中枢パターン発生器) に関して、関節駆動制御 (Intralimb joint torque control、IJTC)、及び ILC 特性の定量的表現手法について検討することである。

3. 研究の方法

(1) 研究体制

本研究は日本生体医工学会専門別研究会「リハビリテーション・ロボティクス研究会」(会長：山本敏泰) で討論されてきた問題の一つであり、会員の協力を得ながら研究を進めた。特に岡山理科大学 (吉田浩治、久野弘明) 九州工業大学 (田川善彦) などの人の運動制御、受動歩行ロボットの研究を行っている人達が協力支援グループである。脊髄損傷、脳卒中などの運動障害者の臨床研究には、川崎医科大学、藤田保健衛生大学の医師の研究協力を受けると共に、他に海外の研究者達 (University of Alberta、K. Pearson、R. B. Stein) と意見交換した。

研究協力者員数については、岡山理科大学：大学院生 (博士前期課程 1 名、他に学部生)、准教授 (久野弘明、藤本真作、2 名)、教授 (吉田浩治、1 名) ; 川崎医科大学、大学院生 (後期課程 1 名)、理学療法士 1 名、教授 (椿原彰夫、1 名) ; 川崎医療福祉大学、助教 (伊藤 智崇、1 名) ; 九州工業大学：大学院生 (後期課程 (山本直輔) 1 名)、教授 (田川義彦、1 名) であった。

(2) 単脚の足・股関節駆動様式における筋

活動パターン研究

Dietz ら (1985)、Bastian ら (2005) の初期的研究を基に、本研究では、実験的には関節モーメント、パワー等による筋活動パターンの定式化を試みる。更に比較的重度な頸髄損傷不全麻痺者等への受動歩行の原理を応用した立脚/遊脚遷移期での下腿三頭筋等の電気刺激による足関節駆動制御様式導入の可能性を探る。即ち訓練時における Hip walking の変化を調べる

(3) 健常者・障害者における足部周囲感覚刺時実験による反応様式の推定

現在まで、健常者の感覚刺激時の刺激強度、体重支持率を変化させた時の反応様式の定量的評価を加えてきた。一方、脊髄損傷、脳卒中片麻痺者における Harkema ら (2006) は受傷後数ヶ月後に歩行出来ない相対的に重度な利用者に非常に有効な手段となると述べている。本研究では脳卒中発症後の早期リハビリテーションを含め、具体的な感覚刺激実験を川崎医大リハ医学教室の協力を得て行い、歩行時の下肢駆動モードの変化を定量的に調べる。なお、サーボモータによる体重支持率の制御を行い、障害者の相対的に弱い脚力での体重支持率の制御を可能にする。

(4) 位相依存性 ILC を有する CPG 階層性制御による筋活動パターン定式化の試み

本課題の目的は、実験的に得られた位相依存性 ILC を含む、CPG 内における階層性制御を反映させた運動神経活動パターンを推定し、神経・筋骨格モデルによるシミュレーションを通じて歩行様式の定式化への可能性をさぐる。具体的には Rybak らの運動神経パターン生成に基づく、交互動作調整部の反応様式の定式化の可能性を探る。モデルでは、Neural Net 領域で構築されてきた 4 足動物等

のCPGを含むBeerら(1999)のモデルの検討、
人でのZhang and Zhu(2007)のFESへの応用

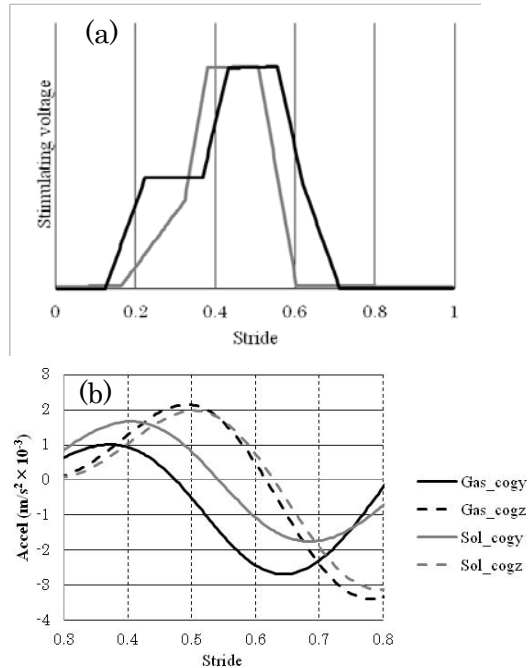


図1 腓腹筋とヒラメ筋における体重心
加速度曲線；(a) 刺激電圧パターン、
(b) 体重心加速度、cogy、cogz は前方、
垂直方向加速度、Gas、Sol は腓腹筋、ヒ
ラメ筋を示す。

を目指す具体的な提案等も参考にした(協力
者：九州工大、松岡清利教授)。利用する筋
骨格モデルの基本ソフトは、使い易さから
AnyBody(筋骨格モデルシミュレーション)サイバネッ
ト(株)を用いた。

4. 研究成果

現在まで、BWSSTSの開発準備のために、
IJTC、及びILC特性の定量的表現手法の初期
的検討を加えてきたが、こうした交互動作反
応定量化の試みは我々が最初である。以下の
点について検討した。

(1) 単脚の足・股関節駆動様式における筋活
動パターン研究：健康青年において、下腿三
頭筋等の足関節駆動筋を個別に電気刺激し、
駆動力による体重心移動加速度を観察した。
前方方向駆動力では単関節筋であるヒラメ筋
の方が有効であり、垂直方向駆動力では余り
差異は認められなかった。

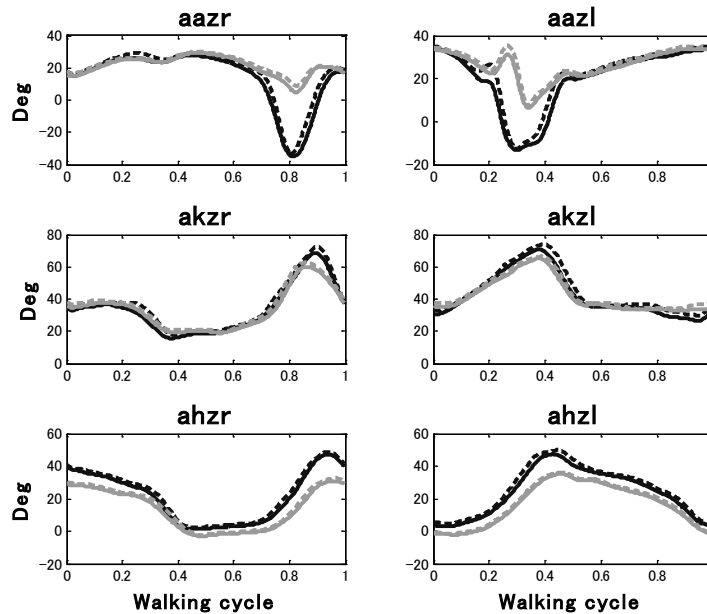


図2 頸髄損傷不全麻痺者(C5)における電気刺激歩行時の下肢関節角度の変化；ラベルの最
初の文字(a) = angle、第2の文字= a → ankle、k → knee、h → hip、第3の文字 = in
sagittal plane、最後の文字= r → right、l → left；刺激時曲線 = 黒、刺激無し時 = 灰
色曲線

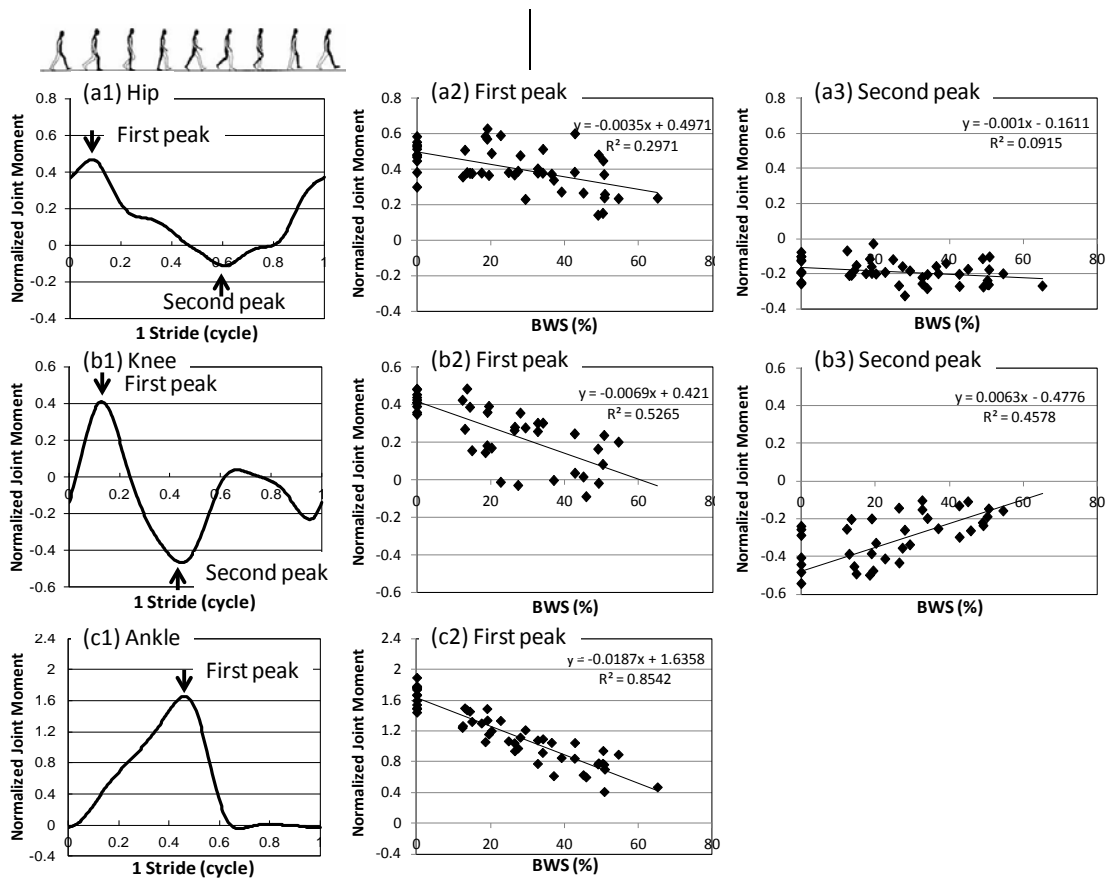


図3 健常者における免荷率による正規化関節モーメントの変化；(a1)= 股関節、(b1)= 膝関節 (c1)= 足関節モーメント。(a2)、(a3)= 第1及び2ピーク値、(b2)、(b3)= 第1及び2ピーク値。(c2): 第1及び2ピーク値。

健常者・障害者における足部周囲感覚刺激実験による反応様式の推定：健常青年での感覚異常閾値の3倍程度の足部周囲感覚刺激実験では、ILC 特性は姿勢の安定保持的な反応が歩行の位相に依存する形で行われることを確認した。頸髄損傷者の予備実験では、筋力増強訓練を最初に1ヶ月程度試行し、有効な足関節駆動力が確保できる事を確認して。感覚刺激実験を行った。左右安定性に非常に弱い傾向が見られた。健常青年における感覚刺激実験では、ILC のタイミングに影響する刺激は難しいと判断された。試作トレッドミルによる機械刺激の検討を進めている。

(2) 位相依存性 ILC を有する CPG 階層性制御による筋活動パターンのシミュレーション：CPG 階層性制御の1つである、足・股関節

駆動調節機能について、体重支持率、歩行速度の変化による分析から、足関節駆動力調節による歩行維持機能は股関節制御である傾向を認め、大なる成果となった。例えば免荷率の増大により足関節モーメントは減少するが、蹴り出し時の股関節モーメント（第2ピーク）は殆ど変化がない。

現在、神経・筋骨格モデルによるシミュレーションを進め、その原因の特定を急いでいる。

(3) 本研究の成果は、より自然な歩行を可能にする BWSTTS の構築に寄与し、神経科学領域では歩行の運動制御特性の解明に役立つ。下腿部の筋力低下の著しい高齢者の地域生活における歩行訓練や、二足歩行ロボットの効率的歩行様式確立などにも有用である

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)

[学会発表] (計4件)

①H. Kuno, N. Yamamoto, N. Kurokawa, T. Yamamoto, and Y. Tagawa, Characteristic Activities of Lower Limbs with Body Weight Support Ratio, 34th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2012年8月28日-9月1日, San Diego USA [査読有]

②山本敏泰、山本直輔、久野弘明、田川善彦、歩行時足部周囲感覚刺激を用いた interlimb 制御様式の基礎的検討、第32回バイオメカニズム学術講演会、2011年11月26-27日、大阪科学技術センター

③久野弘明、山本直輔、青木一晃、秋庭祥二、山本敏泰、体重支持トレッドミル歩行訓練時の下肢筋活動の分析、第50回日本生体医工学会大会 2011年4月29日~5月1日、東京、東京電機大学 [査読有]

④山本敏泰、山本直輔、青木一晃、久野弘明、青柳陽一郎、椿原彰夫; Control of interlimb reflexes by electrical stimulation of sensory nerves around the foot in body weight support treadmill walking、第50回日本生体医工学会大会、2011年4月29日~5月1日、東京、東京電機大学 [査読有]

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称: 足関節駆動による歩行支援機能的電気刺激システム

発明者: 山本 敏泰

権利者: 学校法人加計学園

種類: 特許

番号: 特願2011-238042

出願年月日: 平成23年10月28日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

山本 敏泰 (YAMAMOTO TOSHIYASU)

岡山理科大学・工学部・教授

研究者番号: 20412158