

令和 5 年 5 月 6 日現在

機関番号：32647

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19426

研究課題名（和文）アシストデバイスによる肢体協調性の向上は脳卒中片麻痺者の駆動出力の再学習を導くか

研究課題名（英文）Does improving limb coordination by assist device lead to re-learning of cyclic movement in stroke?

研究代表者

平田 恵介（Hirata, Keisuke）

東京家政大学・健康科学部・講師

研究者番号：50862603

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）：本研究は脳卒中片麻痺者のサイクリック駆動動作において、足関節背屈機能の改善可能性を明らかにすることを目的とし、その特性を利用したリハビリテーション用可搬式エルゴメータデバイスを開発することであった。主な研究成果は、エルゴメータの開発と効果実証、足関節を含む下肢多関節協調性運動効果の実証を行なった。まず協力機関と共同製作し、特注のエルゴメータを開発し、健常若年成人での効果を確認した。次に、駆動動作に類する下肢多関節協調性における小脳の関連性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、臨床上改善が乏しい脳卒中片麻痺の足関節背屈運動の回復を導く運動療法の開発に貢献する可能性がある。足関節の機械的アシストをエルゴメータ駆動時に決まった量とタイミングで正確に付与し、多関節協調性を利用した運動適応効果をもたらすリハビリテーションデバイスを開発した。本研究の取り組みは、脳血管障害による運動麻痺へのリハビリテーションを定量的な介入へと進めていき、介入者の経験やスキルに依存しない標準的なニューロリハビリテーションの確立に寄与する。健常若年成人での検証を経て、疾患患者での検証を重ねていくことで、臨床実践に向けた更なる取り組みを進めている。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify the possibility of improving the ankle dorsiflexion function in cyclic driving motions of hemiplegic stroke patients, and to develop a portable ergometer device for rehabilitation. The main research results were (1) the development and effectiveness of an ergometer, and (2) the effectiveness of multi-joint coordinated exercise of the lower extremities, including the ankle joints. First, we collaborated with a cooperating institution to develop a custom-made ergometer and confirmed its effectiveness in healthy young adults. Second, we demonstrated the relevance of the cerebellum in lower extremity multi-joint coordination similar to driving movements.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：エルゴメータ 多関節協調性 足関節 脳卒中 運動麻痺 歩行 サイクリック動作 運動適応

1. 研究開始当初の背景

脳卒中は要介護状態になる要因第一位となるほど重篤な後遺症片麻痺を引き起こすため、片麻痺者へのリハビリテーションによる歩行能力の再獲得は、超高齢社会に突入した本邦の社会的課題である。脳卒中は大脳皮質病変を主とするが、歩行の維持には脳幹脊髄でのリズム生成と小脳での運動調節が関与する。両者は肢体（上肢と下肢）の協調的な運動を構成し、歩行の学習に寄与する。研究者は、多くの片麻痺者で障害される足関節背屈運動をエルゴメータ駆動に連動して補助する駆動アシストデバイスを開発し、片麻痺者に実装した出力系（筋活動、皮質脊髄路興奮性）における効果を神経科学的手法で検証する。本研究は、可搬式エルゴメータを活用した臨床導入のハードルが低いリハビリテーションツールの開発を試み、脳損傷者の歩行再建に寄与する理学療法の可能性を示す。

2. 研究の目的

本研究は脳卒中片麻痺者のサイクリック駆動動作において、足関節背屈機能の改善可能性を明らかにすることを目的とし、その特性を利用したリハビリテーション用可搬式エルゴメータデバイスを開発することであった。

3. 研究の方法

目的を達するため、①リハビリテーション用可搬式エルゴメータデバイスの開発、②リハビリテーション用可搬式エルゴメータデバイスの他動背屈稼働による健常成人での効果検証を行った。

プロトタイプのエルゴメータの機構の概略としては、ロータリエンコーダ（GTK3808、Oumefar）から取得したクランク角度をマイクロコンピュータ（Arduino DUE・Arduino・100Hz）で計測した。足関節部のアクチュエータにサーボモータ（KRS-9004HV ICS・近藤科学）を用い、8.91Nmのアシストを指定クランク角度で付与した。タイムラグを考慮し、上死点后80度で背屈20度を0.45秒で達成するよう指令し、電磁ブレーキで背屈位を固定後、下死点の10度手前で電磁ブレーキの解除指令を行なった。

検証実験では、メトロノームに合わせ毎分60回転で、アシストなし1分（最後の20サイクルをbaseline相と定義）、アシストあり7分（最初と最後の20サイクルをperturbation相、adaptation相と定義）、アシストなし3分（最初と最後の20サイクルをaftereffect相、washout相と定義）の計11分間エルゴメータを駆動した。これらにより、健常人の自動駆動では本来背屈しにくいタイミングで背屈を誘導した。

4. 研究成果

①研究協力機関のサポートを受け、自走中のクランク角度と連動して足関節の他動背屈運動を付与するシステム（Ankle assist ergometer）を開発した。プロトタイプに従って外注して完成し、開発を完了した。



開発したプロトタイプ



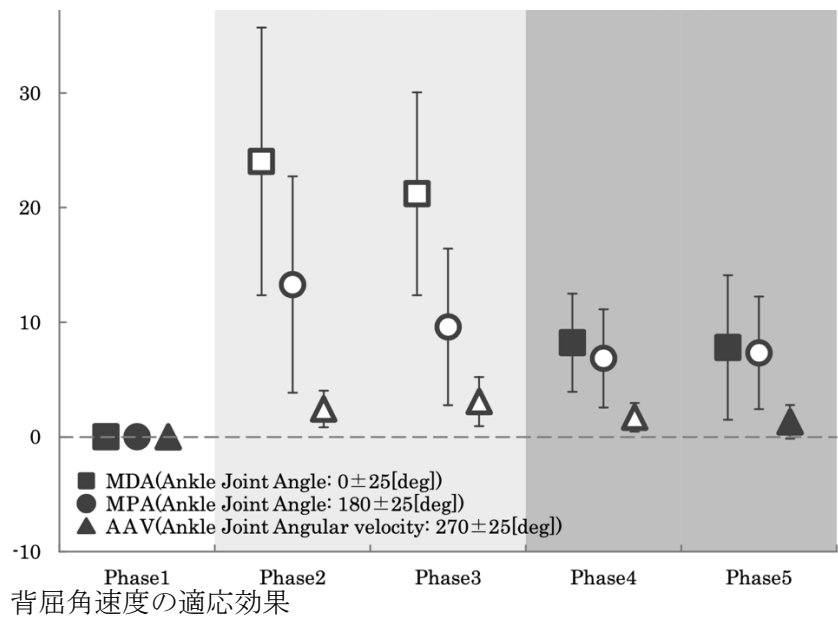
外注した完成品

②健常若年成人での検証を行なった。多関節協調性を利用した運動適応効果が仮説通り確認された。具体的には、本来健常人では背屈しないクランク角度で、他動背屈アシストを一定期間促した。その後、アシストを解除した後、能動的な背屈角速度と筋活動の後効果を確認し、アシスト前と統計的な差を認めた。

本研究では、アシスト付与期間後のアシストのない時期に、直前までアシストが付与されていたクランク角度において足関節角速度が維持されていることが明らかになった。サイクリック動作はCPGを駆動し、離散運動と異なる制御がなされ、ペダリング動作は歩行と神経基盤を共有する。本研究と同様に駆動動作中に片側下肢に摂動を加える実験系であるsplit-belt treadmillは、小脳機能の多関節協調性により摂動に適応し、新たな駆動運動パターンが生成されることで、摂動が無くなった後も適応後の運動パターンが残存する運動学習の知見を提供した。すなわち、本研究のAAEが多関節協調性により足関節運動を学習するツールであると考えられた。



検証の様子



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hirata Keisuke, Suzuki Makoto, Iso Naoki, Okabe Takuhiro, Goto Hiroshi, Cho Kilchoon, Shimizu Junichi	4. 巻 16
2. 論文標題 Using machine learning to investigate the relationship between domains of functioning and functional mobility in older adults	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0246397
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0246397	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 -
1. 著者名 Hanawa Hiroki, Hirata Keisuke, Miyazawa Taku, Kubota Keisuke, Yokoyama Moeka, Matsumoto Yuka, Fujino Tsutomu, Kanemura Naohiko	4. 巻 16
2. 論文標題 Classification of abnormal muscle synergies during sit-to-stand motion in individuals with acute stroke	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Measurement: Sensors	6. 最初と最後の頁 100055 ~ 100055
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.measen.2021.100055	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 -
1. 著者名 Hirata Keisuke, Yamagishi Kotaro, Hanawa Hiroki, Miyazawa Taku, Kanemura Naohiko, Iizuka Kojiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Motor Adaptation Effect of Active Joint Movement During Cycling Generated by Ankle Assist Ergometer: A Proof-of-Concept Study in Healthy Participants	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 8644 ~ 8650
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/access.2023.3239418	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 -
1. 著者名 Hirata Keisuke, Hanawa Hiroki, Miyazawa Taku, Masugi Yohei	4. 巻 12
2. 論文標題 Movement-synchronized cerebellum rhythm coordinates multi-joint movements in young and elderly adults	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biology Open	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1242/bio.059776	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 -

1. 著者名 Hanawa Hiroki、Hirata Keisuke、Miyazawa Taku、Kubota Keisuke、Yokoyama Moeka、Fujino Tsutomu、Kanemura Naohiko	4. 巻 88
2. 論文標題 Compensatory relationship of mechanical energy in paretic limb during sit-to-stand motion of stroke survivors	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Human Movement Science	6. 最初と最後の頁 103052 ~ 103052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.humov.2022.103052	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 埴大樹, 平田恵介, 宮澤拓, 久保田圭祐, 横山萌香, 松本優佳, 金村尚彦
2. 発表標題 Behavior of motor units of the triceps surae in orthotic-assisted calf raise
3. 学会等名 Neuroscience (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田恵介, 埴大樹, 宮澤拓, 園尾萌香, 久保田圭祐, 藤野努, 金村尚彦
2. 発表標題 Split-belt treadmillが肢体協調性を向上するための身体力学的条件
3. 学会等名 LIFE
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山岸幸太郎, 飯塚浩二郎, 平田恵介
2. 発表標題 足関節アシスト装具を用いたニューロリハビリテーションの確立に関する研究
3. 学会等名 第22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 (SICE S12021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 埜大樹, 平田恵介, 久保田圭祐
2. 発表標題 Changes in the behavior of the ankle plantar flexor motor unit due to knee assistance for heel-raise
3. 学会等名 IEEE LifeTech 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Keisuke Kubota, Moeka Yokoyama, Keisuke Hirata, Hiroki Hanawa, Tsutomu Fujino, Naohiko Kanemura
2. 発表標題 Association between cosine tuning and endpoint force in the lower limb
3. 学会等名 30th Annual Meeting of the Society for Neural Control Movement (NCM) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平田恵介, 埜大樹, 宮澤拓, 久保田圭祐, 園尾萌香, 藤野努, 金村尚彦
2. 発表標題 肢体運動の阻害が歩行適応課題の動的安定性に与える影響
3. 学会等名 第25回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平田恵介, 埜大樹, 宮澤拓, 園尾萌香, 久保田圭祐, 藤野努, 金村尚彦
2. 発表標題 膝関節装具による伸展制限が歩行時の肢体間協調性に及ぼす影響
3. 学会等名 第9回日本支援工学理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Hirata, Hiroki Hanawa, Taku Miyazawa, Keisuke Kubota, Moeka Sonoo, Tsutomu Fujino, Yuri Morishita, Naohiko Kanemura
2. 発表標題 Leg joint limitation hinders the consistency of corticospinal activity between different walking speed
3. 学会等名 International Society of Electrophysiology and Kinesiology Congress 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroki Hanawa , Keisuke Hirata , Keisuke Kubota
2. 発表標題 Changes in the behavior of the ankle plantar flexor motor unit due to knee assistance for heel-raise
3. 学会等名 The 2022 IEEE 4th Global Conference on Life Sciences and Technologies
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 埜大樹 , 平田恵介 , 宮澤拓 , 藤野努 , 横山萌香 , 久保田圭祐
2. 発表標題 脳卒中後遺症者の立ち上がり動作成功に必要な股関節モーメント - 失敗症例も含めた検証 -
3. 学会等名 第42回関東甲信越ブロック理学療法士学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 平田恵介, 山岸幸太郎, 埜大樹, 宮澤拓, 藤野努, 横山萌香, 久保田圭祐, 飯塚浩二郎
2. 発表標題 新規の関節運動を導くAnkle Assist Ergometerの開発
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塙大樹, 平田恵介, 宮澤拓, 藤野努, 久保田圭祐, 横山萌香
2. 発表標題 脳卒中後遺症者の立ち上がり動作における失敗と下肢サポートモーメントとの関連性
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会
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
研究協力者	飯塚 浩二郎 (Kojiro Iizuka)	芝浦工業大学	
研究協力者	塙 大樹 (Hanawa Hiroki)	人間総合科学大学	
研究協力者	宮澤 拓 (Miyazawa Taku)	人間総合科学大学	

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