

令和元年5月29日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01534

研究課題名(和文) 効率的な神経反射を誘発する足漕ぎ車いすの構造条件に関する研究

研究課題名(英文) Research on the structure of a cycling wheelchair to induce efficient nerve reflexes

研究代表者

杉田 典大 (SUGITA, Norihiro)

東北大学・工学研究科・准教授

研究者番号：90396458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：足漕ぎ車いすは、自転車のように自らの足でペダルを漕いで進むタイプの車いすであり、下肢の一部が麻痺している片麻痺患者や、筋力が低下した高齢者であっても駆動することができる特徴である。

本研究では、この足漕ぎ車いすについて、使用者にとって身体的負担が少なく、かつ必要最小限の力でより大きな駆動力を生じさせるために最適な構造を明らかにすることを目的とした。これを実現するための評価方法として、麻痺のある使用者が足漕ぎ車いすを使用している際の各関節におけるトルクや効率、筋骨格における機械的インピーダンスなどの指標を精度よく推定するための手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の研究では、片麻痺患者や長期間寝たきりであった高齢者であっても、訓練を繰り返すことで足漕ぎ車いす走行が可能になることが報告されているが、そのメカニズムに関しては未だ説明が進んでいない。

本研究課題で開発を行ったペダリング運動中の微小トルク推定や機械的インピーダンス推定などの手法は、このメカニズム解明を目指す上で有用なツールとなることが期待されるだけでなく、身体への負荷が小さい足漕ぎ車いすの開発などに生かすことが出来ると考えられる。

研究成果の概要(英文)：A cycling wheelchair is a rehabilitation tool for hemiplegic patients and elderly people. It aids in the movement of patients with partial paralysis or weakened lower limb muscles through the use of rotating pedals. In this study, we aimed to clarify the structure of a cycling wheelchair that can be driven with a minimum force and is not a physical burden for users. To achieve this, new evaluation methods based on joint torque, exercise efficiency, and mechanical impedance at the musculoskeletal level were developed.

研究分野：生体医工学

キーワード：足漕ぎ車いす リハビリテーション バイオメカニクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

申請者が研究対象としている足漕ぎ車いすは、自転車のように自らの足でペダルを漕いで進むタイプの車いすであり、下肢の一部が麻痺している片麻痺患者や、筋力が低下した高齢者であっても駆動できることが特徴である。この車いすを用いることにより、下肢を長期間使わないことで引き起こされる廃用症候群や全身の血行不順を防ぐことができ、健康寿命の向上に寄与することが期待される。

申請者の研究グループでは、これまで、安全な環境下で足漕ぎ車いすのリハビリテーションを実施できるバーチャルシステムの開発を行ってきた。バーチャルシステムでは車いすの走行条件を任意に設定することができるため、症状が異なる使用者ごとに最適な条件でリハビリテーションを行えるという利点がある。また、使用者がペダルを回転させる際のトルクなどを精密に計測することができるため、リハビリテーション効果の定量化を行いやすいという利点もある。

一方、現在使用されている足漕ぎ車いすは構造が決まっており、体格や麻痺部位が異なっている使用者それぞれにとって最適な形状であるかどうかは不明である。さらに、半身が麻痺した患者がペダリング運動を行えるようになるメカニズムに関しては未だ明らかになっていない点が多い。先行研究では、重度の片麻痺患者がペダリング運動を行った際に麻痺側下肢において顕著な筋活動が計測されることが報告されており、足漕ぎ車いすに関しても同様の活動がみられることが報告されている。これらに関しては、脊髄に内在するとされている中枢パターン発生器 (Central Pattern Generator: CPG) との関連が示唆されているが、この反射がどのような条件で発生し、また、どの程度のトルク発生があるのかについては明らかになっていない。

2. 研究の目的

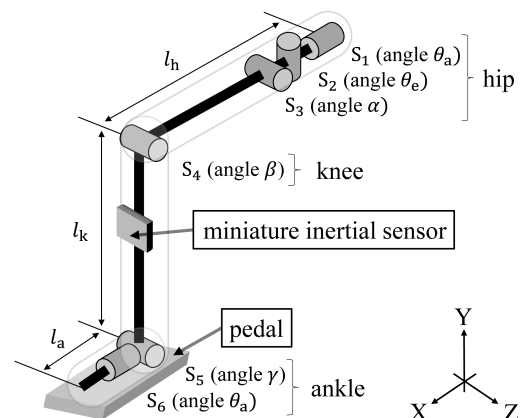
- (1) 片麻痺などの症状がある患者でも自分の足で駆動することができる足漕ぎ車いすについて、バイオメカニクス的なアプローチによって得られる評価指標に基づき、使用者にとって身体的負担が少なく、かつ必要最小限の力でより大きな駆動力を生じさせるための構造を明らかにすることを目的とした。
- (2) さらに、中枢パターン発生器によるペダリング運動の発現モデルを提案し、片麻痺患者が足漕ぎ車いすを駆動するメカニズムの解明を目指した。

3. 研究の方法

- (1) 麻痺のある患者等でみられる外転運動を考慮した下肢の3次元ペダリングモデルを構築し、麻痺側の足などから生じる関節トルクに加えて、身体の動作特性を慣性・弾性・粘性の組み合わせで捉える機械的インピーダンスなどの指標を精度良く推定するための手法を確立する。これらのパラメータを用いることで、ペダリングの効率や身体への負担を統合的に分析することが可能となる。
- (2) 前述の手法によって得られる評価指標に基づき、使用者の身体的特性と足漕ぎ車いすの構造をパラメータとして、使用者にとって効率的かつ身体への負荷が少ない足漕ぎ車いすの条件を探索する。この際、条件探索を行いやすくするため、足漕ぎ車いすのペダルや椅子の位置、クランク長などを任意に変更できる機構を導入した計測システムを構築する。
- (3) 健常者及び患者を対象とした実験の結果を通して、生体に内在する中枢パターン発生器に基づく下肢麻痺者のペダリング運動発現モデルの提案を行う。

4. 研究成果

- (1) 片麻痺のある患者でみられる外転運動などの3次元的な足の動きを考慮することが可能な下肢モデルの構築を行うと共に、足漕ぎ運動中に生じる関節トルクを正確に捉えるための手法について研究を行った。下肢モデルへ入力する外力としては、足漕ぎ車いすのペダルに3軸力覚センサを設置して得られる踏力を用いた。さらに、計測時における使用者への負荷を軽減するため、従来のモーションキャプチャに代わって無線式の3軸加速度センサ情報を適用して3次元的な足の動きを含むペダリング動作解析を行えるようにした。

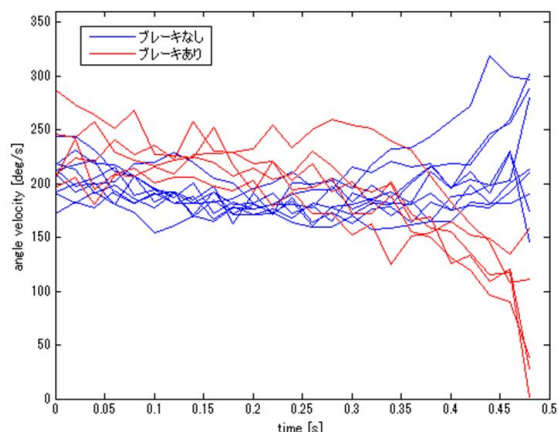


足漕ぎ車いすのペダリング動作解析で用いる3次元下肢モデル

- (2) 構築した計測システムを用いて得られたデータから、ペダルを回転させるために有効に作用した踏力の割合や、左右脚の出力トルクバランスなどを評価する指標を確立した。これらの

手法を用いることにより、足漕ぎ車いすの座面などの構造的変化が各関節トルクの発生パターンにどのように影響を与えるのかを調べることが可能となった。さらに、これらの手法を用いて足漕ぎ車いすを使用する患者のデータ解析を進めた結果、患者の麻痺の度合いによって本手法で得られる指標が大きく変化することが分かった。

(3) 3次元下肢運動モデルによる関節トルクの解析に加え、ペダリング運動中における身体の機械的インピーダンスを用いた解析についても基礎的検討を行った。本手法では、手足の動きに外部から摂動を与えた際の軌跡に基づいてヒトの関節における剛性や粘性を推定出来ることから、被験者が足漕ぎ車いすを駆動する際の力学的特性をより詳しく調べることが可能となる。このため、ある構造的条件を満たす足漕ぎ車いすを使ったペダリング運動が、身体にとって負荷となっているかどうかの評価などに適用することが可能である。本研究では、通常のエルゴメータを使ったペダリング運動から機械的インピーダンスを求めた先行研究(引用文献)を進展させ、足漕ぎ車いす操作時の機械的インピーダンスを安定的に求めるための計測システムとアルゴリズムについて開発を行った。足漕ぎ車いすを使った健常者のペダリング運動を解析した結果、外部摂動を与えない状態でも運動軌道に複数のパターンが存在することが分かった。そこで、この無摂動時の軌道パターンを推定対象とするクランク角範囲でそれぞれ細かく分割した計21セットのデータで機械インピーダンス推定を行った結果、一部の条件でパラメータが安定して求まることが分かった。一方、物理的パラメータであるはずの機械インピーダンスが負の値をとる例が多数存在したため、この原因に関する調査が必要であることも分かった。



機械的インピーダンス推定に用いるペダリング軌道の例(外部摂動としてブレーキを使用)

(4) ペダリング特性に関する解析手法と並行して、足漕ぎ車いす使用者が外で行った実走行を室内の安全な環境で体験できる追体験システムについても研究を行った。本システムでは、事前に走行した場所で記録した視覚情報と力覚情報を統合し、これをバーチャルリアリティの技術を用いて提示することで、実際の外出が難しい被験者に屋外走行を体験してもらうことが可能となる。本研究では、追体験システムで再現される様々な環境を走行した際のデータを解析することで、視覚情報を含めた外的環境が機械的インピーダンスなどのペダリング特性に与える影響についても調査を行った。

<引用文献>

宮崎 友裕, 瀬戸 文美, 昆陽 雅司, 田所 諭, 人体モデルを用いたペダリング運動時の下肢インピーダンス推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2014

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

杉田 典大, 吉澤 誠, 生体機能の“安全”な計測・評価を目指して, 電子情報通信学会誌 (印刷中)

杉田 典大, 小川 健太, 吉澤 誠, 本間 経康, 関 和則, 半田 康延, 足こぎ車いすの実走行追体験システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, 23(1), 2018, pp.3-11 DOI:10.18974/tvrsj.23.1_3

[産業財産権]

出願状況(計 1件)

名称: トレーニング方法及びトレーニング装置

発明者: 半田康延, 関和則, 吉澤誠, 杉田典大

権利者: 同上

種類: 特許

番号: PCT/JP2017/9659

出願年: 2017年

国内外の別: 国内

6 . 研究組織

(2)研究協力者

研究協力者氏名：吉澤 誠

ローマ字氏名：(YOSHIZAWA, makoto)

半田 康延

ローマ字氏名：(HANDA, yasunobu)

関 和則

ローマ字氏名：(SEKI, kazunori)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。