

令和 2 年 4 月 20 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01707

研究課題名(和文)ペダリング運動における上肢の技術評価に基づくハンドル位置決定手法の提案と評価

研究課題名(英文) Proposal of method for determination of handle's position based on technical evaluation of upper limbs in pedaling exercise

研究代表者

徳安 達士 (Tatushi, TOKUYUASU)

福岡工業大学・情報工学部・教授

研究者番号：50435492

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)：本研究は、ペダリング運動における上肢の技術に着目し、その定量的評価の確立により、ハンドル位置の決定手法を提案することを目的とした。本研究では、ペダリング運動中のハンドル周りの力データ、クランク回転角度、ペダリング運動に動員される主要な筋の活動データを実時間で計測できるシステムの構築を行った。次に、身体の運動制御における筋の協調構造である筋シナジーの概念に着目した。計測データから筋シナジーを時間構造と空間構造に分割して可視化し、コサイン類似度を用いた評価を行ったところ、上級者と初中級者の間に明瞭な差があることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果により、競技自転車におけるペダリング技術としての上肢の運動メカニズムが明らかになり、上肢の運動を含めたペダリングの技術指導やハンドル位置の有効な設定方法が確立される。このことは、従来からの経験則に基づく勘や走行感覚に依存した機材の位置調整から脱却することを意味し、選手達は自身の身体特性を効果的に引き出せる機材の設定方法と走行方法について客観的な指標に基づく指導が受けられることになる。実際、サドル位置やハンドル位置を設定できないために、シーズンを棒に振ったプロ選手は多数存在しており、機材設定を客観的に見直すことのできるツールとしての利用も期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to propose a method for determining a handle's position by focusing on the technique of the upper limbs in pedaling exercise. In this study, we first constructed a system that measures the force data around the handle of a competitive bicycle during pedaling exercise, the crank rotation angle, and the muscle activity data during pedaling in real time. Next, we focused on a concept of muscle synergy, which is the cooperative structure of muscles in body movement control. From the measurement data, the muscle synergies were divided into a temporal structure and a spatial structure. And, we could make it possible to visualize the muscle synergies and we evaluated the visualized synergies using the cosine similarity. Then, it was confirmed that there was a clear difference between skilled cyclists and intermediate ones.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：自転車運動 上肢技術 表面筋電位 筋シナジー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

競技自転車において効率的なペダリング運動を実現する下肢技術(ペダリング技術)およびサドル位置は、競技パフォーマンスに影響する重要な要素として認識されている。これまで申請者を含む多くの研究者がペダリング運動中の下肢筋の活動パターンに注目し、下肢動作の理解および最適なサドル位置の設定条件について研究を進めてきた。しかし、これら先行研究においては、対象をペダリング運動中の下肢動作に限定しており、上肢の運動および技術については触れられてこなかった。中々下肢

ペダリング運動中の上肢の役割として、走行姿勢を安定させることや下肢筋力を効果的にペダルに伝えることなどが知られている。しかし現状は、上半身を支えるハンドルの位置は、選手が走行中に感じる「乗りやすさ」や「漕ぎやすさ」程度の感覚でしか調整されておらず、本来不適合な位置に設定したままトレーニングや競技に参加する選手もいる。また、下肢の運動にカウンターバランス的に上肢を動作させ、下肢の筋力を効果的にペダルに伝えるための上肢の技術については、トップクラスの選手が無意識的に実践している程度であり、アマチュアカテゴリー以下の選手や関係者の間においては正しく認識されているかさえ疑わしい。

申請者は15年以上も自転車競技に携わっており、選手指導の実務を通して、上肢の疲労に伴って競技パフォーマンスが低下していくことや、上肢の使い方を指導した初中級者がコツを掴んで上達していくことを多く経験してきた。しかしながら、上肢の技術指導においては、あくまでも「右足を踏み込むときに、上半身が起きないようにハンドルをこっちの方向に引く」など、曖昧な表現に頼らざるを得ないのである。

2. 研究の目的

自転車進行方向を決めるハンドル操作とは異なり、下肢筋群のパワーをペダルに効果的に伝える上肢の技術は、選手の競技力を支える重要な技術である(図1参照)。本研究は、競技自転車における上肢技術の評価基準を定め、上肢技術を高めるハンドル位置の設定条件を明らかにすることを目的とする。



図1 上肢技術のイメージ

3. 研究の方法

本研究目的を実現するための具体的な方法として、～の取組について研究を行う。

ペダリング運動中のハンドル部周辺のパワー計測を行う。

上肢技術に関連する主要動作の抽出と動員される筋群の同定を行う。

上肢の筋骨格数値モデルを構築し、ハンドル位置を入力とする上肢技術の評価関数を構築する。

上肢技術の評価関数を最大化するハンドル位置を自動探索するソフトウェアを開発する。サドルとハンドルの動的な位置決めを可能とする実験装置に実装する。

4. 研究成果

本研究では、はじめにペダリング運動中にハンドル部周辺に加わる力を計測する装置を構築し、市販の競技用自転車のハンドル部に設置した。また、ペダリング運動における上肢活動を下肢活動と同期的に取得するために、ハンドル部周辺の力データはクランク回転角度データおよび表面筋電データと同時に計測できる実験環境を整備した(図2)。

構築した実験環境において、本研究は上級者1名を被験者とし、ペダリング運動中のデータ計測を行った。得られたペダリング運動データに主成分分析を施し、第1主成分および第2主成分を2軸とする評価シートを作成し、ペダリング運動を通して主成分得点の変化を観察した。図3(右)は、主成分得点の変化を表したものであるが、ペダリング運動を通して主成分得点が周期的に図のような軌跡を描くことが分かったが、描かれる軌跡に規則性を見出すことができなかった。また、上級者だけでなく、初中級者でも同様の実験を行ったが、上級者の結果と同様に、技術評価に関連するような要素を結果として抽出することができなかった。



図2 実験装置の外観図

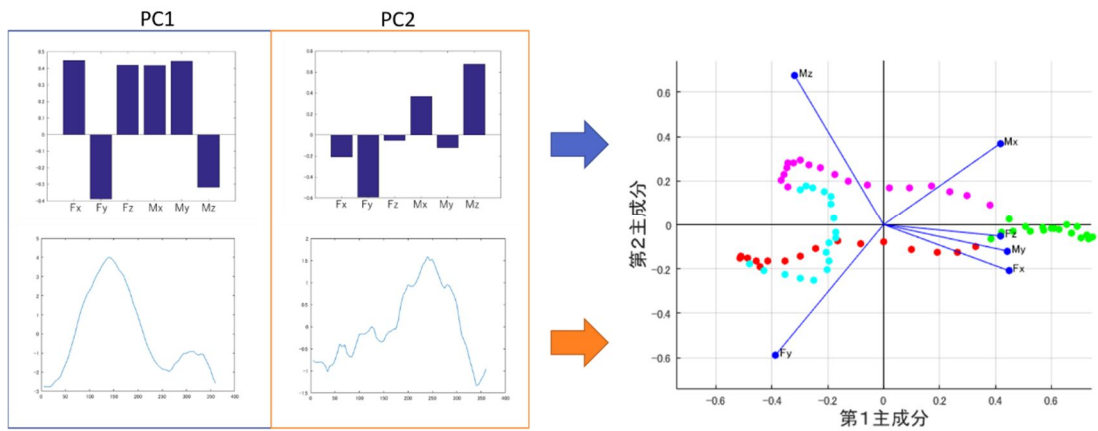


図3 上級者のペダリング運動におけるハンドル周りカデータの主成分得点の変化

そこで、本研究は身体の運動制御における筋の協調構造である筋シナジーの概念に着目した。特に、本研究ではペダリング運動中に計測した上肢10か所の表面筋電位データより筋シナジーの時間構造と空間構造の可視化に成功した。この筋シナジーの可視化技術を用いて、ハンドルを把持する位置によって、筋シナジーに変化が見られるかについて実験的な検討を行った。ペダリング運動においては、坂道を登るときにはハンドルの上部を持つことが多く、平坦を走るときにはハンドルのドロップ部を持つことが多い。下肢運動においては、重力に逆らって運動する登坂走行と、体重を慣性力に変えて運動する平坦走行とで、運動の原理が異なることが知られている。上肢運動において、登坂と平坦とで走行条件が異なる場合において、筋シナジーに類似性があることが示せば、競技自転車において身に付けるべき上肢技術について、その動作要因を絞り込む手がかりが得られるかもしれない。

本研究では、上級競技者1名で、ハンドルの上部（On the hoods）とドロップ部（On the drops）をそれぞれ握った状態でペダリング運動を行ったときの、上肢筋シナジーを可視化した（図4）。それらの結果をコサイン類似度を用いて評価したところ、70%以上の類似度が確認された。今後、被験者数を増やし、筋シナジーのコサイン類似度評価において統計的に有意な結果が得られれば、上肢技術の評価指標確立の手がかりとして利用できる技術となる可能性があるため、本研究は研究期間終了後も本課題について追及していく予定である。

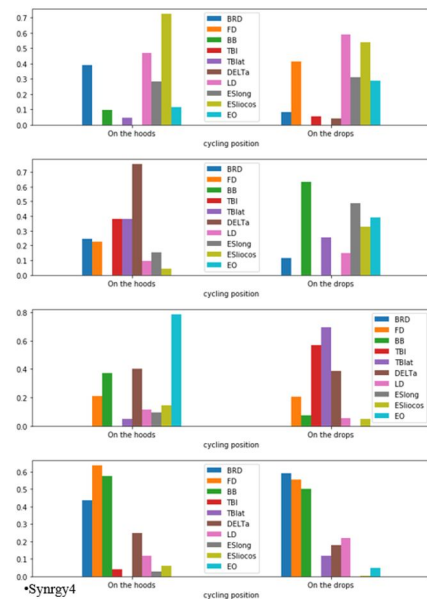


図4 上肢10筋の筋シナジー空間構造

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 0件）

1. 著者名 佐藤拓広, 暮松利輝, 徳安達士	4. 巻 Vol.139, No.7
2. 論文標題 両下肢の筋シナジーに基づいたペダリング技術の熟練度評価の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 774,779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.774	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 -

1. 著者名 Takuhiro Sato, Riki Kurematsu, Shota Shigetome, Taiki Matsumoto, Kazuki Tsuruda, Tatsushi Tokuyasu	4. 巻 -
2. 論文標題 Motor control mechanism underlying pedalingskills: an analysis of bilateralcoordination in the lower extremities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Life of Robotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-019-00580-8	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 -

1. 著者名 Takuhiro Sato, Riki Kurematsu, Shota Shigetome, Taiki Matsumoto, Kazuki Tsuruda, Tatsushi Tokuyasu	4. 巻 -
2. 論文標題 Motor control mechanism underlying pedalingskills: an analysis of bilateralcoordination in the lower extremities	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-019-00580-8	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 -

1. 著者名 佐藤拓広, 暮松利輝, 徳安達士	4. 巻 Vol.139, No.7
2. 論文標題 両下肢の筋シナジーに基づいたペダリング技術の熟練度評価の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 774-779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejeiss.139.774	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 -

1. 著者名 Takuhiro Sato, Tatsushi Tokuyasu	4. 巻 なし
2. 論文標題 Pedaling skill training system with visual feedback of muscle activity pattern	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanical Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jbse.17-00234	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11件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Shigetome SHOTA, and Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 Quantification of Different Pedaling Strategies in Inter-Lower Limbs between Cyclists of Different Road Racing Experiences
3. 学会等名 5th International Symposium on Affective Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Shigetome SHOTA, and Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 CHANGES IN INTER-LIMB MUSCLE COORDINATION INDUCED BY MUSCLE FATIGUE DURING PEDALING
3. 学会等名 37th International Conference on Biomechanics in Sport (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重留正太, 佐藤拓広, 鶴田和己, 徳安達士
2. 発表標題 乗車姿勢の異なるペダリング運動における上肢筋シナジー解析
3. 学会等名 第20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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鶴田和己, 重留正太, 佐藤拓広, 徳安達士
2. 発表標題 可視化された筋シナジーと人工知能によるペダリング技術の習熟度判定の検討
3. 学会等名 第20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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 重留正太, 鶴田和己, 佐藤拓広, 徳安達士
2. 発表標題 競技用自転車におけるハンドリング技術に関わる動作特徴の抽出
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Riki KUREMATSU, Shota SHIGETOME, Taiki MATSUMOTO, Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 Evaluation of Muscle Coordination in Lower Extremities during Pedaling Exercise
3. 学会等名 25th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Shigetome SHOTA, Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 Quantification of Different Pedaling Strategies in Inter-Lower Limbs between Cyclists of Different Road Racing Experiences
3. 学会等名 5th International Symposium on Affective Science and Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Shigetome SHOTA, Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 CHANGES IN INTER-LIMB MUSCLE COORDINATION INDUCED BY MUSCLE FATIGUE DURING PEDALING
3. 学会等名 37th International Conference on Biomechanics in Sport (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuhiro SATO, Riki KUREMATSU, Shota SHIGETOME, Taiki MATSUMOTO, Tatsushi TOKUYASU
2. 発表標題 Evaluation of Muscle Coordination in Lower Extremities during Pedaling Exercise
3. 学会等名 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤拓広, 暮松利輝, 徳安達士
2. 発表標題 ペダリング運動における両脚の協調性評価
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤拓広, 徳安達士
2. 発表標題 3軸加速度センサを用いたペダリングスキルの安定性評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

tokulab@FIT
http://www.fit.ac.jp/~tokuyasu/index.html

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
研究分担者	松本 慎平 (MATSUMOTO Shimpei) (30455183)	広島工業大学・情報学部・准教授 (35403)	