

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：34417

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11565

研究課題名（和文）自転車ペダリング動作スキルの計測デバイス開発と評価指標の確立

研究課題名（英文）Development of a measurement device for bicycle pedaling skills and establishment of an evaluation index

研究代表者

北脇 知己（KITAWAKI, Tomoki）

関西医科大学・医学部・教授

研究者番号：40362959

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的として、自転車ペダリング動作スキルを評価できる新しい指標を確立することとし、装置の開発並びにペダリング技術評価法について研究を行った。漸増する運動負荷変化時のペダリング動作を解析することで、新たな自転車ペダリング動作スキルを反映した指標を提案し、この指標を用いたペダリングスキルのカテゴリー分類を実現できた。この研究に関連する発表（国際発表4件、国内招待講演1件）を行い、関連する論文を雑誌に投稿中である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自転車ペダリング動作を評価するために、ペダリング動作に起因するクランク回転やペダルの踏力ベクトルを正確に計測し、ペダリング動作の特徴を捉えた指標を確立することと、この新しい指標を用いてより良いペダリング技術の習得法について検討することを目的とした。運動負荷変化に対するペダリング効率値の変化を用いてペダリング動作の指標を新たに提案し、従来用いられていたペダリング効率値よりも、より自転車ペダリング動作スキルを反映した指標を定義できた。この指標を用いて自転車ペダリング動作スキルをカテゴリー分類でき、より良いペダリング技術を習得するためのトレーニングにつながる可能性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aim to evaluate cycling pedaling actions by accurately measuring the rotation of the crank and the force vector generated by the pedaling motion, establishing index that capture the characteristics of the pedaling action, and exploring methods to acquire better pedaling techniques using these new index. We propose a new pedaling action index based on changes in pedaling efficiency values in response to variations in exercise load. This index reflects cycling pedaling skills more accurately than traditional pedaling efficiency index. Using the new index, we can classify cycling pedaling skills and suggest its potential application in training to achieve better pedaling techniques.

研究分野：スポーツ生体力学

キーワード：生体計測 スポーツ科学 スポーツバイオメカニクス 運動解析 自転車ペダリング

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

自転車ペダリング動作は、下肢だけでなく体幹や上肢を含めた全身の筋を総合的に活動させる全身性の運動である。このような自転車ペダリング動作のスキル(技術)については、筋活動、全身動作、クランク回転や踏力などを計測して解析する研究が数多く行われており、なかでもペダルクランクに取り付けられたセンサによって回転角度ごとの発揮踏力を詳細に計測することで、自転車ペダリング動作スキルとの関係についてさまざまに検討されている。

スポーツサイクリングにおいては、高強度で長時間の運動を続ける必要があり、効率的なペダリング技術の習得が不可欠である。この高効率なペダリング技術は高いスキルということが出来る。ここで、機械的なペダリング効率としてペダリング効率指標を、図1に示すようにペダル踏力に対する、実際にペダルクランクの回転に影響する接線方向成分の割合として定義する⁽¹⁾。これまでの研究で、ペダル踏力やペダリング効率指標と全身の運動効率との関係を示したものもあるが、必ずしもペダリング効率指標が高いことが全身の運動効率の向上につながらないことから、単純なペダリング効率の増加だけでは良いペダリングとはいえない状況である⁽²⁾。これまでの研究でペダリング効率指標を用いて、ペダリングスキル評価を行うものがあるが、このペダリング効率指標はペダリング負荷、ケイデンス、体重などの要因に依存して変動するため⁽³⁾、適切に評価を行うことができていない。このように、これまでの研究で十分にペダリングスキルが解析されているとは言えない。

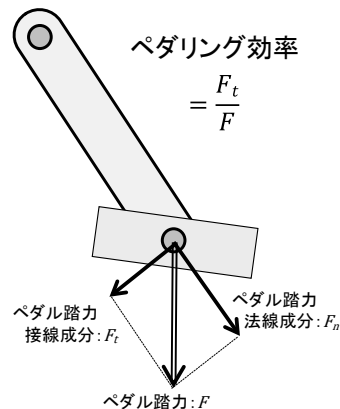


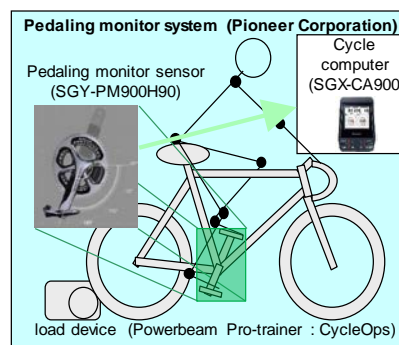
図1：ペダリング効率

- (1) Dorel S, Drouet JM, Couturier A, Champoux Y, Hug F. Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise. *Med Sci Sports Exerc.* **41** 1277-86. 2009
- (2) Korff T, Romer LM, Mayhew I, Martin JC. Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* **39** 991-5. 2007
- (3) Kitawaki T., Tokuyasu T., & Oka H.. Efficiency index of a pedaling monitor system depend on load power, cadence and body weight, World Congress of Cycling Science, Leeds 2014

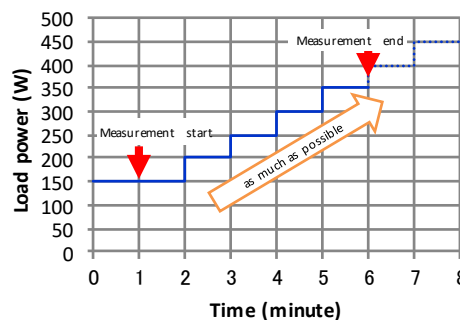
2. 研究の目的

我々は、これまでの研究でペダルクランクの回転状態やペダル踏力などの計測装置を用いて、自転車ペダリングスキルの違いが現れる可能性についてさまざまに検討してきた⁽⁴⁾。しかし、ある時点の計測値を用いるだけではこうしたペダリングスキルの定量化が困難であった。これは自転車ペダリングスキルを評価するには、さまざまに変動する環境への反応や適応する技術の影響を正確に把握する必要があることを示している。例えば、ペダリング時に負荷が変動する場合は、ペダリング動作を変化させて対応するが、この変化の方法や戦略が人によって異なる。このため、負荷変動に対するペダリング動作の変化戦略を解析すれば、その被験者が得意な負荷領域やペダリング能力を定量化することができるのではないかと考えた。さらに、このペダリングスキルの解析方法を応用すれば、全身のペダリング効率を上げる方法についても検討可能になる可能性がある。そこで本研究では、ペダリング時の負荷変動に対する自転車ペダリング運動の変化を解析する事で、ペダリングスキルを反映する評価指標を確立し、効率的なペダリングを行うための方法について明らかにすることを目的とした。

- (4) Kitawaki T, Oka H. Proposal of a new evaluation index of bicycle pedaling skill --- using wireless multi-axis acceleration and angular velocity sensors ---, Book of abstracts 17th annual congress of the European College of Sport Science, 340-341, 2012



(a) 全体図



(b) 負荷の増加

図2：自転車のペダル踏力の計測

3. 研究の方法

(1) 実験プロトコル：28名の男性参加者を被験者とし、後輪軸で負荷装置（自転車トレーナー）に固定されたロードサイクルを用いて、徐々に負荷を増やしながらペダリングを行った。初期負荷 150 W から開始し、1 分ごとに 50 W ずつ増加した。各参加者のケイデンス(回転数)は任意とした。参加者は出力することのできる最大負荷までペダルをこぎ続けた。図2に測定システムの概念図を示す。

(2) ペダル踏力の計測：被験者のペダル踏力は、左右のクランクに設置したペダリングモニタセンサ（SGY-PM900H90：パイオニア）を用いて、左右クランクのそれぞれで 30° ごとの接線、法線方向の踏力ベクトルとして計測した。この踏力ベクトルはクランク回転数とペダリング負荷とともに、1 秒ごとにサイクルコンピューターに記録された。

(3) データ解析：記録された踏力ベクトルから、左右の脚ごとに総ペダリング力と有効駆動力とを算出して 1 分ごとに平均化した。さらに、これらの力を体重で除すことで正規化し、散布図に表した。

4. 研究成果

(1) ペダル踏力の特徴

図3に計測したペダル踏力の例を示す。それぞれの負荷で、クランク角度(上死点を 0°、下死点を 180°)ごとの踏力をトルクに変換して接線方向と法線方向の成分の変化として描いている。なおこのデータは後に述べる被験者 A のものである。

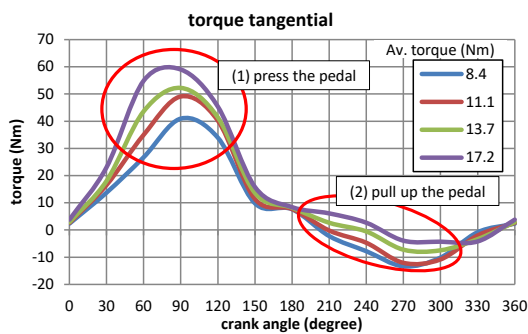
この図から負荷の増加に伴って、クランク角度ごとの典型的な動作として、接線方向では (1) の脚を踏み込む部分では体重を利用した下向きの力が増えており、(2)の部分では能動的に脚を持ち上げる動作を行っていることがわかる。また、法線方向では (3)の脚が上死点を越えた後の部分で、下肢を斜め下方向に踏み込む動作を行った結果としての踏力変化が現れている。

(2) ペダリングの特徴解析

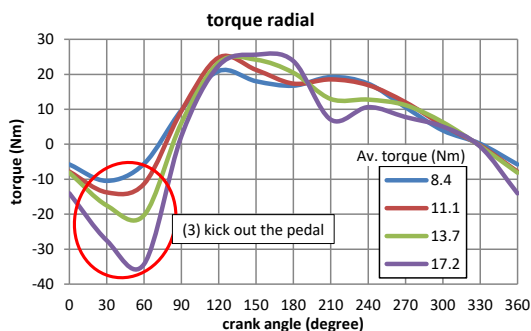
次に図4として、特徴的な3人の被験者について、有効駆動力(横軸)に対して、(a)ペダリング効率指標と(b)総ペダリング力との関係を示す。ここで、有効駆動力と総ペダリング力は、一般に用いられるパワー値ではなく力として表しており、この力を体重で正規化して%で表現している。

(a)有効駆動力と効率指標の関係：

図4(a)から読み取れるように有効駆動力とペダリング効率指標の関係は線形では

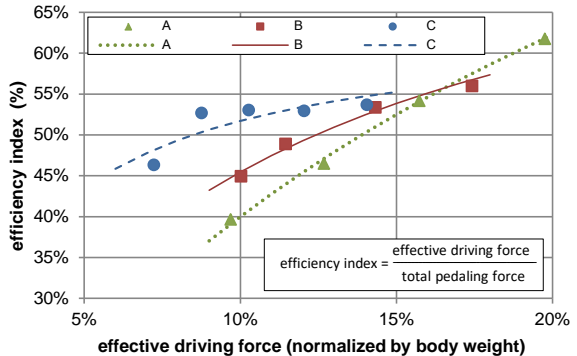


(a) 接線方向 ペダル踏力

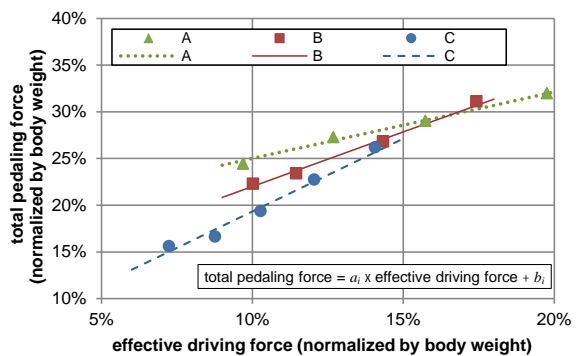


(b) 法線方向のペダル踏力

図3：計測したペダル踏力の例



(a) 有効駆動力と効率指標の関係



(b) 有効駆動力と総ペダリング力の関係

図4：ペダル踏力と指標の関係

なく、被験者ごとに固有の変化を示している。このため、これらの負荷変動に対する反応を解析するにはペダリング効率指数をそのまま用いるのが難しいことがわかる。

(b) 有効駆動力と総ペダリング力の関係：

これと対照的に、図 4(b)の有効駆動力と総ペダリング力との関係は、被験者ごとに良好な線形関係を示している。各被験者の傾きと切片は、左右の脚でもそれぞれ別の値を持っていた。各被験者の特徴を述べると、A は低強度では推進力以外のムダな力が発生しているが、高強度ではかなり効率的にペダリングしている。一方、C は低強度では比較的効率良くペダリングできているものの、高強度には適応できていない。B は、すべての範囲で中程度のペダリングができているが、最高強度は A ほど高くない。

(3) ペダリング特徴を表す指標

このようにペダリング効率指標そのものは負荷変動に対するペダリング特性を直接的に表現するには適しておらず、有効駆動力と総ペダリング力の線形関係を用いる方が負荷変化によって生じるペダリング特性の変化をより適切に表現できることがわかった。そこで、この有効駆動力と総ペダリング力との良好な線形関係を利用して、被験者の左右の脚ごとに傾きと切片のパラメーターを計算し、これらの関係を図 5 に示した。

この結果、これらの傾きと切片パラメーターの間には弱い相関関係があり、この散布図を参考にして被験者のペダリングスキルを分類することが可能と考えられた。さらに被験者 A, B, C の特徴をふまえると A の被験者の方がより高強度のペダリングができることや、高強度で高効率のペダリングができていることから、より高強度に適したペダリングであると考えられる。すると、この傾きパラメーターを、ペダリング特徴を表す指標として採用すれば、被験者の現在の状況を表す指標となるとともに、トレーニングによって指標が変化の様子を見ることによって、より効率的なペダリングを行えるように導くこともできると考えられる。

(4) まとめ

今回の研究によって、漸増する負荷変化に対して、自転車ペダリング時のペダル踏力ベクトルから計算された有効駆動力と総ペダリング力の間には線形関係があることが明らかになった。この線形関係は被験者ごとに特徴が異なっており、被験者のペダリングの特徴をふまえた、傾きと切片パラメーターを得ることができた。ここで、パラメーターの計算にはペダリング負荷をそのまま用いるのではなく、体重で規格化したペダリング力として表すことで、被験者ごとの特徴をより正確に捉えることができた。このため、瞬時のペダリング効率指標を用いるだけではわからなかった、個々の被験者のペダリング特性やペダリングスキルを、線形関係を反映した傾きと切片のパラメーターが反映しており、新たなペダリング指標となり得ることがわかった。

なお、本研究成果をまとめた次の論文を投稿中である。 [Tomoki Kitawaki, Masahiro Fukuda: New index for evaluating pedaling techniques using the pedaling efficiency index with gradually increasing load.](#)

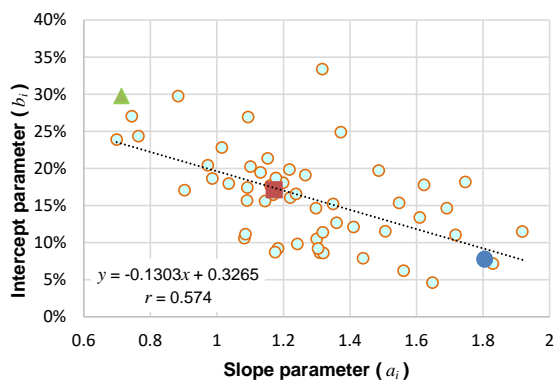


図 5：傾きと切片パラメーターの関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masahiro Fukuda, Tomoki Kitawaki
2. 発表標題 Analysis of pedaling motion focusing upon the relationship between lower limb coordinated action and pedal angle
3. 学会等名 Asia-Singapore Conference on Sport Science (ACSS 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北脇 知己
2. 発表標題 自転車ペダリング動作の生体力学的解析
3. 学会等名 第20回日本電気生理運動学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Fukuda, Tomoki Kitawaki
2. 発表標題 Analysis of pedaling motion focusing on the crank angle corresponding to the maximum pedal angle
3. 学会等名 Science & Cycling 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryo Nishitani, Tomoki Kitawaki
2. 発表標題 Analysis of relationship between standing posture and riding form using spinal curvature index
3. 学会等名 Science & Cycling 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoki Kitawaki, Masahiro Fukuda:
2. 発表標題 Relationship between effective driving force and total pedaling force during bicycle pedaling varying with increasing load
3. 学会等名 Canadian Society for Exercise Physiology (CSEP) Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

准教授のベダリング講義室 <http://kitawakiokadai.blog.fc2.com/>

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

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