

令和元年6月13日現在

機関番号：34448

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01614

研究課題名(和文)ハンドバイクにおける駆動フォームの定量的評価手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on quantitative evaluation method of propelling form of hand bike

研究代表者

原 良昭 (HARA, YOSHIAKI)

森ノ宮医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：00426545

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)：本研究では、ハンドバイクを漕ぐときに生じるトルクやパワー、クランクの角速度などの計測装置を備えたハンドバイクを製作した。製作したハンドバイクを用いた計測により、バックサポートの背角度といったハンドバイクのセッティングを変更すると、クランクに生じる角速度が変化することが示された。この結果から、クランクの角速度を計測することでハンドバイクのセッティングを評価できることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ハンドバイクの競技力向上には、競技者の身体的機能の向上だけでなく、ハンドバイクの適正なセッティングやハンドバイクを漕ぐ技術の向上が不可欠であり、セッティングや漕ぐ技術を定量的に示す指標が求められている。本研究で製作した計測用ハンドバイクを用いることにより、競技者はハンドバイクを漕ぐときに生じるトルクやパワー、クランクの角速度などを知ることが可能となった。また、角速度からハンドバイクのセッティングや漕ぐ技術を定量的に評価できることが示唆された。このように本研究は、ハンドバイク競技者の競技力向上を科学的根拠に基づいて支援する研究であり、意義深いものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, a wheelchair hand bike and a recumbent hand bike for measurement were developed to aim to support athlete based on quantitative basis. Developed hand bikes are able to measure subject's torque, power and heart rate, and angular velocity of crank of the hand bike. Using the developed hand bikes, influences of back support angle of hand bike for angular velocity of crank were investigated. Magnitude of fluctuation of angular velocity measured on crank were changed with each back support angle of hand bike. Back support angle of hand bike affects the magnitude of the fluctuation of the angular velocity and thereby, this study indicated that the back support angle of the hand bike can be quantitatively evaluated using the magnitude of the fluctuation of the angular velocity of crank.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：ハンドバイク ハンドサイクル パワー トルク 角速度 漕ぎ方 フォーム 障害者スポーツ

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

1. 研究開始当初の背景

一般的な自転車は下肢でペダルを漕ぎクランクを回すが、手でペダルを漕ぐ種類の自転車もあり、ハンドバイクと呼ばれている。ハンドバイクは、形状に基づく車椅子型ハンドバイクとリカンベント型ハンドバイクに大別される。車椅子型ハンドバイクは、一般的な車椅子にパーツを後付けすることでハンドバイクとなるタイプと、ハンドバイクとして製作されたタイプに分類される。

ハンドバイクの主な対象者は、下肢に障害が生じる片麻痺者や脊髄損傷者である。ハンドバイクを用いた陸上競技がパラリンピックの競技種目であることや、一般的な自転車と速度が大きく変わらず自転車使用者と一緒にツーリングを行うことが車椅子に比べて容易であることから、近年、ハンドバイクの愛好者は増加している。

ハンドバイクの競技者は、競技力向上を目的に身体機能の向上に努めているが、競技力向上には、身体機能の向上に加えて、一般的な自転車と同様に、「ハンドバイクを漕ぐ技術(以下、ペダリング技術)」と「ペダルと身体の相対的位置関係」といったハンドバイクのセッティング(以下、セッティング)の影響も大きい。

ペダリング技術とは、ハンドバイクを漕ぐときに、適切なペダル位置やタイミングでトルクを発揮する技術であり、競技者の発揮可能なトルクが等しくても、この技術の優劣によって、被験者が発揮したトルクがハンドバイクの動力に変換される効率が異なると考えられる。そのため、競技力向上を目的とする競技者にとってペダリング技術の習熟が必須であり、習熟の程度を定量的に評価することが重要となる。また、セッティングが競技者によって適正でないと、競技者が発揮できるトルクが制限されることがある。そのため、セッティングを適正にすることは競技力向上のために重要である。

ペダリング技術と自転車のセッティングの重要性が明らかにされている自転車競技では、クランクに生じるトルクを計測することで、ペダリング技術と自転車のセッティングを定量的に評価している。しかし、ハンドバイク競技では、どちらも、経験や勘などに基づき定性的に評価されることが多い。

我々は自転車競技と同様にハンドバイクを漕ぐときのトルクを計測することで、ペダリング技術やセッティングについて定量的な評価を行えるようになり、競技者の競技力向上を定量的根拠に基づいて支援できると考えるに至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は、競技者の記録向上を定量的根拠に基づいた支援を行うために、セッティングやペダリング技術の習熟度の定量的評価システムを構築することである。本目的を達するために、本研究では、評価用ハンドバイクを開発し、開発した評価用ハンドバイクを用いて、セッティングが発揮できるトルクに及ぼす影響や、ペダリング技術に及ぼす影響を調査する。

3. 研究の方法

本研究では、ハンドバイクを漕いだときに被験者が発揮したトルクを計測するために、トルク計測が可能なハンドバイクを製作する。その後、製作した計測用ハンドバイクを用いてトルク計測を行い、セッティングがハンドバイクを漕ぐときにされるトルクに及ぼす影響を調査する。

(1) トルク計測が可能なハンドバイクの製作

本研究では、車椅子型ハンドバイクとリカンベント型ハンドバイク、それぞれについて、被験者が発揮したトルクだけではなく、被験者が発揮したパワーや被験者の身体的負荷となる心拍数なども計測できる計測用ハンドバイクを製作する。

(2) 計測用ハンドバイクを用いた計測

本研究では、セッティングとしてバックサポートの背角度に着目し、ハンドバイクを漕ぐときに発揮されるトルクとバックサポートの関係を調査する。具体的には、バックサポートの背角度毎に、ハンドバイクが静止した状態から被験者の最大速度まで最大努力で加速させ、一定時間、最大速度を維持するように漕いだときのトルクと被験者の脈拍およびクランクの3軸角速度を計測する。

4. 研究成果

(1) トルク計測が可能なハンドバイクの製作

本研究では、トルクを計測できる環境を構築することを優先し、市販されている車椅子型ハンドバイクに市販されている自転車用パワーメータ(パイオニア, SGY-PM930H)(以下、パワーメータ)をクランクに取り付けた車椅子型計測用ハンドバイクを製作した。車椅子型計測用ハンドバイクの車椅子部分にはバックサポートや車軸の位置を調整することが可能な車椅子(オーエックスエンジニアリング, Neo Plus)を用いている。また、車椅子をハンドバイクとするために車椅子に取り付けるパーツ(オーエックスエンジニアリング, H1)に含まれているクランクについては、取り付けのパワーセンサが指定する自転車用クランク(SHIMANO, FC-R9100)に変更している。ハンドバイクは手で漕ぐため、ハンドバイクのクランクは正面からみると八

の字型となっている。しかし、パワーメータが指定するクランクは自転車用であるため、ハの字型になっていない。そのため、漕ぎやすさを考慮しクランクに取り付けるペダルの形状を変更している。図1に製作した車椅子型ハンドバイクを側面から撮影した写真を示す。

パワーメータで計測されたデータは、車椅子に取り付けたサイクルコンピュータ（パイオニア、SGX-CA500）で記録される。このサイクルコンピュータは通信の規格の1つである「ANT+™」に対応した心拍計と無線で接続することで、パワーと心拍数の同時計測が可能である。

サイクルコンピュータとパワーメータの開発会社であるパイオニアが運営するWEB上でのデータ解析サービス（サイト名:Cyclo-Sphere, URL: <https://cyclo-sphere.com/index>）を利用することで、サイクルコンピュータで記録されたパワーや心拍数といったデータを可視化された複数の図が得られる。その図の1つとして、ペダルを漕いだときにクランクに加わった力の大きさと向きを可視化した図がある。回転に寄与しない方向の力はハンドバイクを漕ぐときの効率を低下させるため、この図から被験者のペダリング技術やセッティングが評価できると考えられる。このようにパワーメータから得られるデータはハンドバイクの競技力向上に有用であるが、パワーメータを用いるには、指定された自転車用クランクに変更する必要があり、被験者が常用しているハンドバイクとは異なるセッティングとなってしまう。

パワーメータを使用せずに被験者が発揮したトルクやパワーといったパワーメータと同様のデータを取得するために、車椅子型計測用ハンドバイクの製作開始後に、ハンドバイクに組み込み可能なトルク計の製作を開始した。しかし、ひずみゲージアンプや無線通信部分の小型化や一体化などが難航し、研究期間内での実用化には至らなかった。

トルク計は実用化に至らなかったがパワーを算出するために必要なクランクの回転速度の計測用として、計測用ハンドバイクのクランクに3軸角速度の計測が可能な小型データログ（ロジカルプロダクト、LP-WS1103）を貼付した。計測される角速度の分解能は16bit、サンプリング周波数は1kHzである。なお、小型データログで計測されたクランクの角速度とパワーメータで計測されたパワーや心拍数の時間軸は同期されていない。

リカンベント型計測用ハンドバイクは、トルク計の開発が難航したため、車椅子型計測用ハンドバイクと同じパワーメータを用いて製作した。リカンベント型計測用ハンドバイクには、車椅子型計測用ハンドバイクと同様にバックサポートの調整が可能なりカンベント型ハンドバイク（シュトリッカー、LUP026）を用いている。また、パワーメータをクランクに取り付けるために、クランクをパワーメータが指定するクランク（SIMANO、FC-R9100）に変更し、車椅子型ハンドバイクと同様に、ペダルの形状も変更している。クランクには、車椅子型ハンドバイクと同様に、小型データログ（ロジカルプロダクト、LP-WS1103）を貼付している。図2に製作したリカンベント型ハンドバイクを側面から撮影した写真を示す。

(2) 計測用ハンドバイクを用いた計測

本研究では、製作した車椅子型計測用ハンドバイクとリカンベント型計測用ハンドバイクを用いて、バックサポートの背角度と計測用ハンドバイクで計測される各種データの関係性を調査した。

車椅子型計測用ハンドバイクでは、被験者1名に対して、5つの異なるバックサポートの背角度について計測を実施し、リカンベント型計測用ハンドバイクでは、4つの異なるバックサポートの背角度について計測を実施した。

両計測用ハンドバイクともに、ハンドバイクを静止状態から被験者の最大速度まで最大努力で加速し、その後、最大速度の維持を試みたときに得られる被験者が発揮したパワーや心拍数、クランクの角速度などを計測した。なお、最大速度の維持については30秒以上が経過した時点で、被験者がハンドバイクを漕ぐのを止めさせ計測を停止させた。

本研究では室内で計測を行うために、車椅子型ハンドバイクについては前輪を自転車用ローラ台（箕浦、V270）に取り付け、リカンベント型ハンドバイクについてはチェーンを取り外すことで、漕いでも進まないようにした。

表1は、車椅子型計測用ハンドバイクにて計測を行ったバックサポートの背角度と計測順を示している。

図3は、計測用ハンドバイクに取り付けた

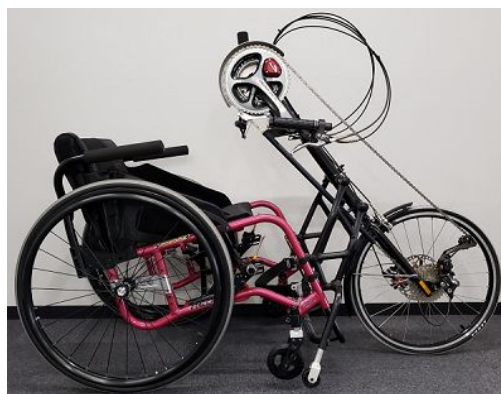


図1 製作した車椅子型計測用ハンドバイク



図2 製作したリカンベント型ハンドバイク
ただし、計測用にチェーンを取りはずしている。また、パワーメータを取り付けるためにクランクとペダルを変更しているが、初期状態のペダルはブレーキおよび変速ケーブルに接続されて格納されている

パワーメータが計測したデータを、前述したパイオニアが運営するWEB上のデータ解析サービスで可視化した図について、ペダリング技術に関する箇所を切り取ったスクリーンショットである。なお、図中のデータは、車椅子型計測用ハンドバイクにてバックサポートの背角度が74度のときに計測されたデータである。

図3が示すように、このパワーメータを用いると、被験者が漕いだときに発揮されたパワーや左右のクランクの割合、クランク位置毎の力が加わった方向と大きさなどが可視化される。これらのデータは被験者のペダリング技術を示す。また、セッティングを変更したときにこれらの値が変化した場合、その変化からセッティングを評価することも可能である。

このように、本研究では、パワーメータを取り付けることでペダリング技術やセッティングの定量的評価が可能なハンドバイクを製作した。

しかし、パワーメータの取り付けるには、指定された自転車用クランクに変更する必要があり、競技者が常用しているハンドバイクで計測を行うことが難しい。そのため、取り付け容易なセンサで計測可能なクランクの角速度を用いてペダリング技術やセッティングの評価を試みた。

図4は車椅子型計測用ハンドバイクのクランクに生じた角速度をバックサポートの背角度が増加する順に並べたものである。なお、図4に示した角速度は、ノイズ対策として平滑化スプラインモデルを用いて平滑化処理を行ったものである。

図5は、図4で求めた角速度の関数を微分することで算出した角加速度波形をバックサポートの背角度が増加する順に並べたものである。

車椅子型計測用ハンドバイクを用いた計測においてバックサポートの最大角度と最小角度時の角速度波形となる図4(a)と図4(e)は、他の3つの波形に比べると変動が大きく、クランクが滑らかに回転していないことがわかる。これはバックサポートの背角度、すなわち、セッティングがクランクの回転速度に影響を与えることを示している。

また、図5に示す角加速度波形は、角速度の波形の微分となることから、角速度波形の変動を強調した波形となり、特にバックサポートの背角度が74度のときの波形である図5(a)は角加速度の変動が激しい。また、図5(e)では、15秒付近や27秒付近に大きな変動が生じており、漕ぎ方が変化した可能性が示唆される。

表2は、リカンベント型計測用ハンドバイクにて計測を行ったバックサポートの背角度と計測順を示している。

図6はリカンベント型計測用ハンドバイクのクランクに生じた角速度をバックサポートの背角度が増加する順に並べたものであり、車椅子型計測用ハンドバイクと同様に、平滑化スプラインモデルによる平

表1 車椅子型計測用ハンドバイクにて計測したバックサポートの背角度と計測順

計測順	バックサポート角度(度)
1	74
2	106
3	90
4	82
5	98

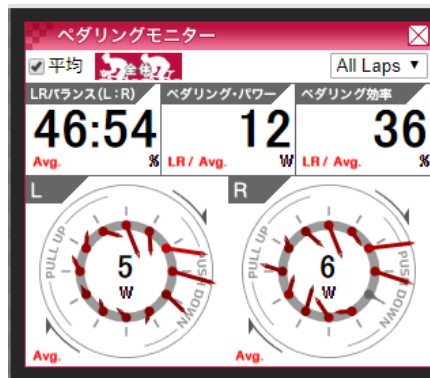


図3 WEB上のデータ解析サービスで可視化された駆動時のパワーとペダリング技術

計測時におけるバックサポートの背角度は74度である。

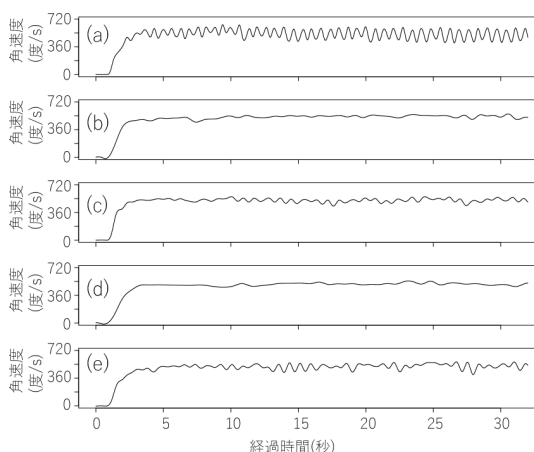


図4 車椅子型計測用ハンドバイクのクランクに生じる角速度

バックサポートの背角度は、上から74度、82度、90度、98度、106度となる

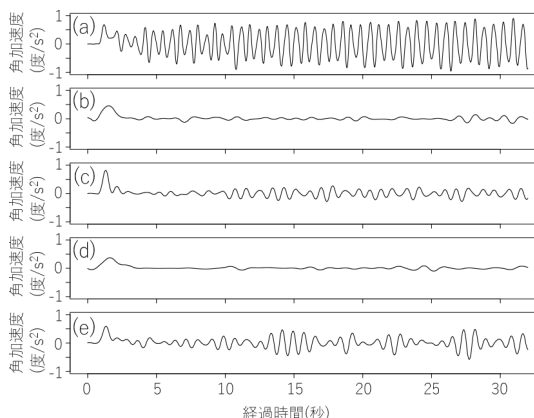


図5 車椅子型計測用ハンドバイクのクランクに生じる角加速度

バックサポートの背角度は、上から74度、82度、90度、98度、106度となる

滑化処理後の波形である。また、図7は、図6の波形から算出した角速度である。

リカンベント型計測用ハンドバイクも車椅子形ハンドバイクと同様に、バックサポートの背角度の変更に伴って、クランクの回転の滑らかさが変化することを、図6の角速度波形は図示している。

また、図7の角速度波形は図5と同様に、角速度が大きく変化した箇所が強調され、その箇所では漕ぎ方が変化した可能性が示される。

このように角速度や角加速度は同じ被験者であってもセッティングによって波形が異なり、波形の変動から、クランクの回転の滑らかさや漕ぎ方が変化した時刻を評価することができる。従って、ローラ台やチェーンを外した状態での走行といった走行条件が変化しない状態での計測であれば、クランクの角速度からセッティングとペダリング技術を評価できることが示唆された。

本研究では、トルク計の開発が遅れ完成には至らなかった。そのため、トルクやパワーの計測は市販されているパワーメータを用いている。しかし、パワーメータを使用するためにはクランクの変更が必須となり、常用しているセッティングとは異なる状態での計測となる。本研究機関終了後もセッティングに大きな影響を与えないトルク計の開発を継続する。また、製作した計測用ハンドバイクを用いて実走時の計測を行いデータの拡充を図る予定である。

表2 リカンベント型計測用ハンドバイクにて計測したバックサポートの背角度と計測順

計測順	バックサポート角度(度)
1	113
2	133
3	123
4	101

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 中村 俊哉

ローマ字氏名： (NAKAMURA, toshiya)

所属研究機関名： 兵庫県立福祉のまちづくり研究所

部局名： その他部局等

職名： 技師

研究者番号(8桁)： 20426547

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。

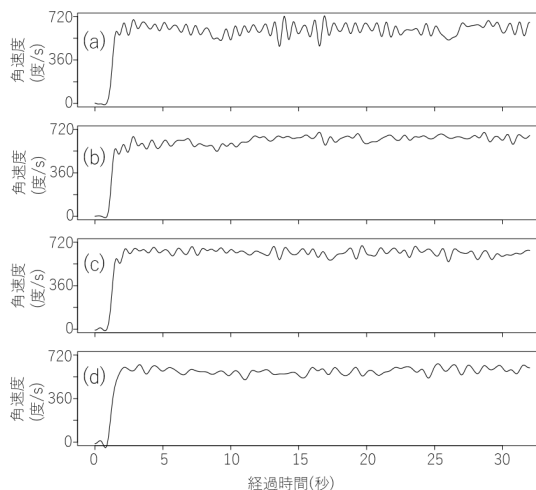


図6 リカンベント型計測用ハンドバイクのクランクに生じる角速度
バックサポートの背角度は、上から 101 度、113 度、123 度、133 度となる

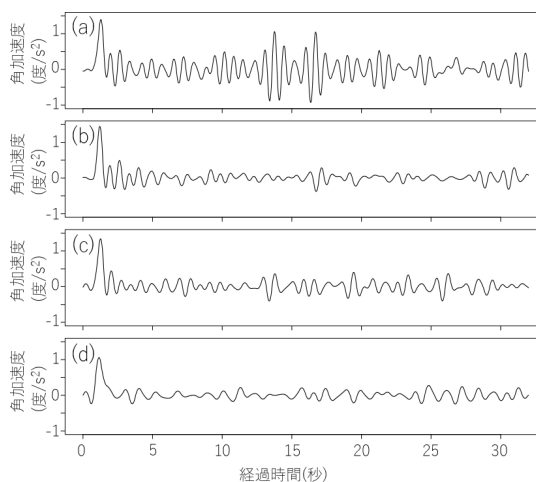


図7 リカンベント型計測用ハンドバイクのクランクに生じる角加速度
バックサポートの背角度は、上から 101 度、113 度、123 度、133 度となる