

チェーンにかかる力の動態から自転車競技選手のペダリング技術を 定量的に評価する試み

橋本直¹⁾, 森寿仁²⁾³⁾, 黒川 剛⁴⁾, 山本正嘉⁵⁾

¹⁾ 鹿屋体育大学大学院

²⁾ 立命館大学

³⁾ 日本学術振興会特別研究員

⁴⁾ 鹿屋体育大学スポーツ・武道実践科学系

⁵⁾ 鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

キーワード: ロード競技, 技術評価, Wattbike, 変動係数

< 概 要 >

チェーンにかかる力の動態を定量できる自転車エルゴメーター(Wattbike, Wattbike 社製, UK)を用いて, 自転車競技のロード競技で求められるペダリング技術を定量的に評価することを試みた. 被験者は男子大学生 8 名とし, その内訳は自転車競技ロード選手 3 名, トラック選手 3 名, 自転車競技の未経験者 2 名であった. 各被験者は回転数を 95rpm に固定して, 様々な仕事率で多段階のペダリング運動を行った. その結果, ロード選手ではトラック選手や自転車競技の未経験者に比べて, 同一の仕事率におけるチェーンにかかる力の最大値(Max.F)が低く, 最小値(Min.F)が高い傾向を示すとともに, Max.F に対する Min.F の割合も高値を示した. また, ペダリングの再現性の指標として算出した Max.F や Min.F の変動係数(CV)についても, ロード選手が最も低い値を示した. したがって, これらの指標を用いることで, ロード選手に求められる技術のよしあしを定量的に評価できることや, その評価結果をもとにトレーニング処方にも活用できる可能性が考えられた.

スポーツパフォーマンス研究, 9, 466-480, 2017 年, 受付日: 2017 年 4 月 9 日, 受理日: 2017 年 11 月 5 日

責任著者: 山本正嘉 891-2393 鹿屋市白水町1番地 鹿屋体育大学 yamamoto@nifs-k.ac.jp

Quantitative evaluation of the pedaling technique of cycle road racers based on the dynamic force applied to the chain

Tadashi Hashimoto¹⁾, Hisashi Mori²⁾, Takeshi Kurokawa³⁾, Masayoshi Yamamoto³⁾

¹⁾ Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

²⁾ Ritsumeikan University

³⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key words: road events, technical evaluation, Wattbike, coefficient of variability

【Abstract】

The goal of the present study was to obtain a quantitative evaluation of the pedaling technique of cycle road racers by using a cycle ergometer called “Wattbike”, made in the UK, that is capable of measuring the force applied to the chain. The participants were 8 university students, including 3 cycle road racers, 3 track cyclists, and 2 inexperienced cyclists. The participants pedaled at various power levels with a fixed speed of 95 rpm. Compared to the track athletes and the inexperienced cyclists, the road racers’ maximum force (Max. F.) to the chain at the same power level tended to be lower, whereas their minimum force (Min. F.) tended to be higher. When the participants’ coefficients of variability, as indices of maximum and minimum force, were calculated in order to evaluate pedaling reproducibility, the road racers’ coefficients were found to be the lowest. This suggests that these indices may be applicable to the quantitative evaluation of road racers’ technique, and that a training program could be designed based on these results.

I. 緒言

近年、自転車競技選手向けのトレーニング用の自転車エルゴメーターとして、従来の自転車エルゴメーターに比べてロードバイクでの実走の感覚により近いと言われる“Wattbike”(Wattbike 社製, UK)が普及してきた(図 1-a). この自転車エルゴメーターは、従来から多く用いられてきた電磁ブレーキによる負荷ではなく、空気抵抗と磁石抵抗からなる負荷システムを用いている。



図 1. a は Wattbike の全体像, b は空気抵抗調整レバー, c は磁石抵抗調整つまみ

空気抵抗のレベルは、レバーで調節できる(図 1-b). また磁石抵抗のレベルは、つまみを回すことで調整できる(図 1-c). ペダル回転数の増加に伴って内蔵されたファンの回転も速くなるので、設定負荷が同じでも回転数の違いにより感じる負荷が変化するという特性を持つ。また、ペダル1回転中の僅かなペダルの速度変化に伴う負荷の変化が、実走の感覚に似ている。このため自転車競技選手の間では、実走感に近いトレーニングができるとされ、最近ではプロやアマチュアを問わず多くの選手が利用している。

従来の自転車エルゴメーターでは、トレーニング指標として発揮パワーやペダリングの回転数が用いられてきた。一方で Wattbike の場合、これらに加えてチェーンにかかった力を検出し、“Polar View”という 8 の字状の図形でペダリング中のチェーンにかかる力の動態も表示できるという特長がある。

図 2 に示すように、Wattbike 社のウェブサイトでは、高いペダリング技術を持つ選手ほどチェーンにかかる力の緩急が緩やかで、得られる図形のくびれ度合いが小さくなることや、毎回のパワー発揮にもばらつきが少ないことが紹介されている。これは常にチェーンに力を加えられ、かつそのペダリングが安定していることを意味している。本研究ではこのようなこぎ方を、ペダリング中に局所的に大きな力を発揮することを抑え、滑らかなこぎ方ができているという意味で、以下「力の無駄が少ないペダリング」と表現する。

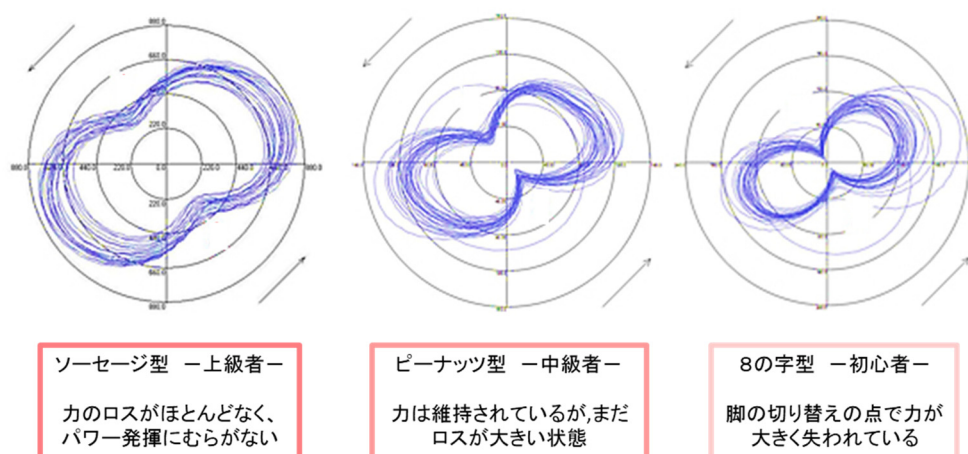


図 2. 自転車競技に対する熟練度ごとの Polar View の違い
(WattBike Japan <http://wattbike.com/jp/a-beginners-guide-to-perfect-pedaling>より引用)

競技現場では現在、Polar View を用いた指導がなされている。しかし現状では、できるだけ上級者の形に近づけるようにといった、定性的な指導にとどまっている。一方、チェーンにかかる力の動態を定量的に評価することができれば、従来よりもさらに効果的なトレーニング指導ができると考えられる。

ところで、自転車競技にはロード種目とトラック種目とがあるが、力の無駄が少ないペダリング技術が特に要求されるのは前者である。一般に大学生レベルのロード種目では、150～180km の距離を約 5 時間かけて競技する。このため、チェーンにかかる力の緩急が大きく、パワー発揮が不安定なペダリングを続けると、体力を浪費して勝敗にも影響する。

そこで本研究では、力の無駄が少ないペダリングの技術に優れると考えられるロード選手、この意味からはやや技術の低いと考えられるトラック選手、およびペダリング技術に劣る自転車競技の未経験者を対象として、本エルゴメーターを用いて様々な仕事率でペダリングを行わせた。そして運動中にチェーンにかかる力の動態から、特にロード選手に要求されるペダリング技術を定量的に評価するための指標について検討した。

II. 方法

1. 被験者

K 体育大学の自転車競技部に所属する選手の中から、ロードレースおよびトラックレースを中心に行っている選手を 3 名ずつ計 6 名、これに自転車競技の未経験の体育大学生 2 名を加え、計 8 名を被験者とした。すべての被験者に実験の趣旨、内容およびそれに伴う危険性について十分に説明し、本研究に参加する同意を得た。

表 1 は、彼らの身体特性を示したものである。自転車競技選手については、A 選手を除く 5 名の選手が全国大会 3 位以上の成績を収めていた。また A 選手は全国大会での実績はないものの、大学選手権上位者を多数輩出するチームの指導者および周りの選手から見て、ペダリング技術には定評のある選手であった。

表 1.被験者の身体特性,専門種目および競技実績

被検者			年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	専門種目,実績など
自転車競技選手	ロード選手	A	19	170.0	64.2	ロードレース専門 ペダリング技術に定評あり
		B	21	183.1	64.3	ロードレース専門 U23日本代表
		C	18	170.5	65.0	ロードレース専門 ジュニア日本代表
	トラック選手	D	22	178.3	74.3	トラックレース専門 エリート日本代表 高校時代にはロードレースでインターハイ3位
		E	22	178.1	91.0	トラックレース専門 全日本大学対抗選手権 優勝
		F	23	173.2	62.6	トラックレース専門 全日本大学対抗選手権 準優勝
未経験者		G	27	163.0	62.0	元陸上競技中長距離選手 自転車エルゴメータでの練習経験あり
		H	24	171.0	63.0	陸上競技長距離の経験あり Wattbikeの使用経験あり

大学選手権上位者を多く輩出するチームの指導者の目で、本被験者のペダリング技術をロード競技選手に求められる、むらが少なく効率の良いペダリング技術という観点で評価した場合、ロード選手(A, B, C 選手)の方がトラック選手(D, E, F 選手)よりも優れているといつてよい能力を有していた。

2. 測定手順

Wattbike Pro(Wattbike 社製, UK)を用いて検討を行った(図 1-a)。被験者には事前にハンドルの高さとその後退幅、サドルの高さとその後退幅を漕ぎやすいポジションに調整させてから運動を開始させた。

ペダル回転数は、ロード競技で望ましいとされる値に近い 95rpm に固定した。運動負荷については、ある程度未経験者と比較ができることにも配慮した上で、自転車競技選手にとって楽にこなせる負荷からきつと感じる負荷まで、多段階負荷法を用いて行った。具体的には、図 3 に示すように、自転車競技選手の場合は 200W で 5 分間の運動した後、230W から 3 分ごとに負荷を 15W ずつ漸増させ、305W まで 7 ステージの運動を行った。

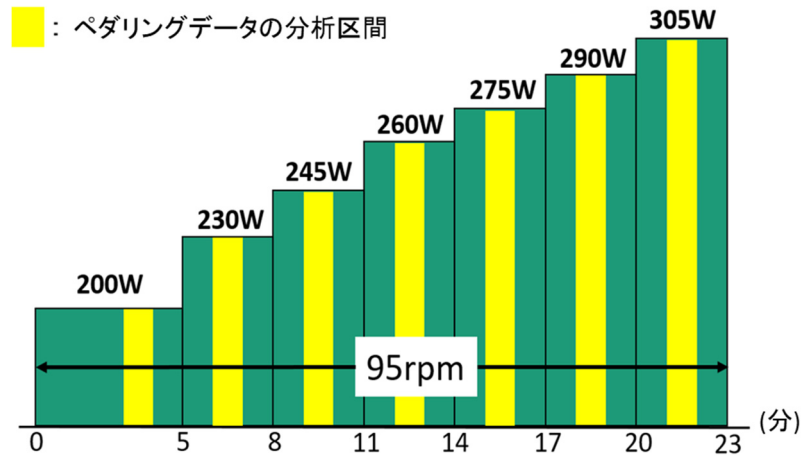


図 3.測定プロトコル

未経験者では 30W 低い負荷 (170W) から開始し, 95rpm を 30 秒以上維持できなくなった時点で運動終了とし, 漕ぎ切った区間で分析を行った.

また自転車競技の未経験者では, 体力が低いことを考慮し, 自転車競技選手よりも 30W 低い 170W で 5 分間の運動した後, 200W から 3 分ごとに負荷を 15W ずつ漸増させ, 95rpm を 30 秒以上維持できなくなった時点 (3~4 ステージ) で運動終了とした.

3. 測定項目および分析項目

(1) Force

運動開始から終了まで, Wattbike で記録されるペダル 1 回転当たりの, ①Average Force (以下 Ave.F), ②Maximum Force (以下 Max.F), ③Minimum Force (以下 Min.F) を PC に取り込み, 図 3 に示すように, 各ステージの終了 2 分前から 1 分前までの 1 分間のデータの平均値を算出した. これらはそれぞれ, ①ペダル 1 回転中のチェーンにかかる力の平均値, ②その最大値, ③その最小値を示し, 本エルゴメーターにおけるペダリング中のチェーンにかかる力の動態を特徴づける基本的な指標である.

また, 上記と同様の区間で, ④Ave.F に対する Max.F の割合, ⑤Ave.F に対する Min.F の割合, ⑥Max.F に対する Min.F の割合を算出した. これらは Polar View のくびれ度合いの程度を評価する指標と見なすこととし, この値が 100% に近いほどペダリング中のチェーンにかかる力の緩急が緩やかであると考えた.

さらに, 1 回転ごとのペダリングでのばらつきを評価するために, 上記と同様の分析区間でのおよそ 95 回転分のデータから, ⑦Ave.F の変動係数 (以下 CV), ⑧Max.F の CV, ⑨Min.F の CV も算出した. CV の値が小さいほどチェーンにかかる力のばらつきが小さく, ペダリングの再現性が高いと考えた.

III. 結果

1. Polar View の例

図 4 は, 本研究で対象とした全被験者における, 最初の負荷ステージでの Polar View を示したものである. 全被験者とも, 仕事率の増加によって図形の大きな変化は見られなかったことから, 最初の負荷ステージのみを代表例として示した.

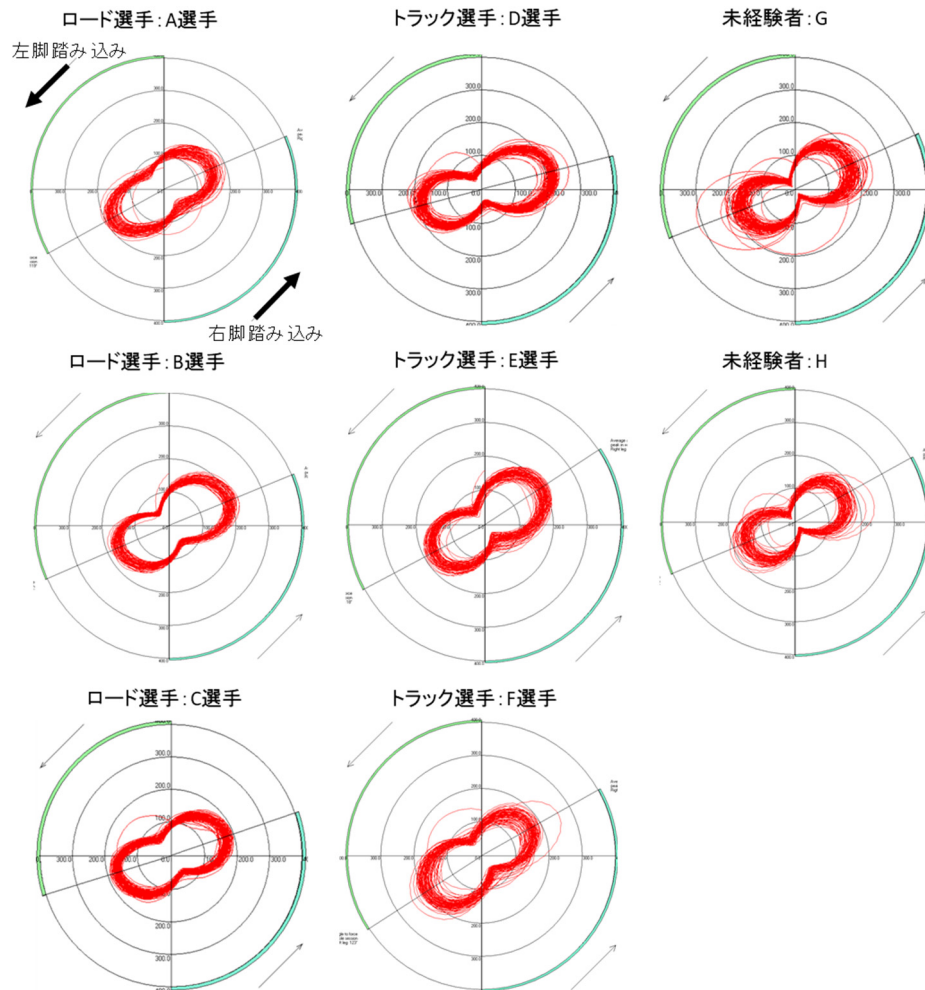


図 4.本被験者における最初のステージでの Polar View
円の中心から赤印までの距離でチェーンにかかった張力を示す。

この図の円の中心から赤印までの距離がチェーンにかかった力を示しており、ペダルの角度ごとのチェーンにかかる力の大きさの変化がわかる。左半分の上から下に左脚の踏み込み時のチェーンにかかる力を示しており、右半分の下から上に右脚の踏み込み時のチェーンにかかる力を示している。

得られた Polar View の 8 の字図形を図 2 と照らし合わせると、ロード選手、トラック選手、未経験者はそれぞれ図のくびれ度合いについて上級者、中級者、初心者 に似た傾向を示した。

2. Force

図 5 は、各仕事率における Ave.F, Max.F, Min.F について、全員の全実施ステージのデータを示したものである。いずれの指標とも、仕事率の増加に伴い増加したが、その傾きは $\text{Max.F} > \text{Ave.F} > \text{Min.F}$ の順となった。また各指標のばらつきについて見ると、Ave.F については、ロード選手、トラック選手、未経験者の違いによらず、すべてのデータがほぼ同一直線上に位置していた。一方で、Max.F と Min.F は Ave.F よりもばらつきが大きく、同一仕事率において、Max.F では未経験者・トラック選手 > ロード選手という関係が、また Min.F においてはロード選手 > トラック選手 > 未経験者という関係が見られた。

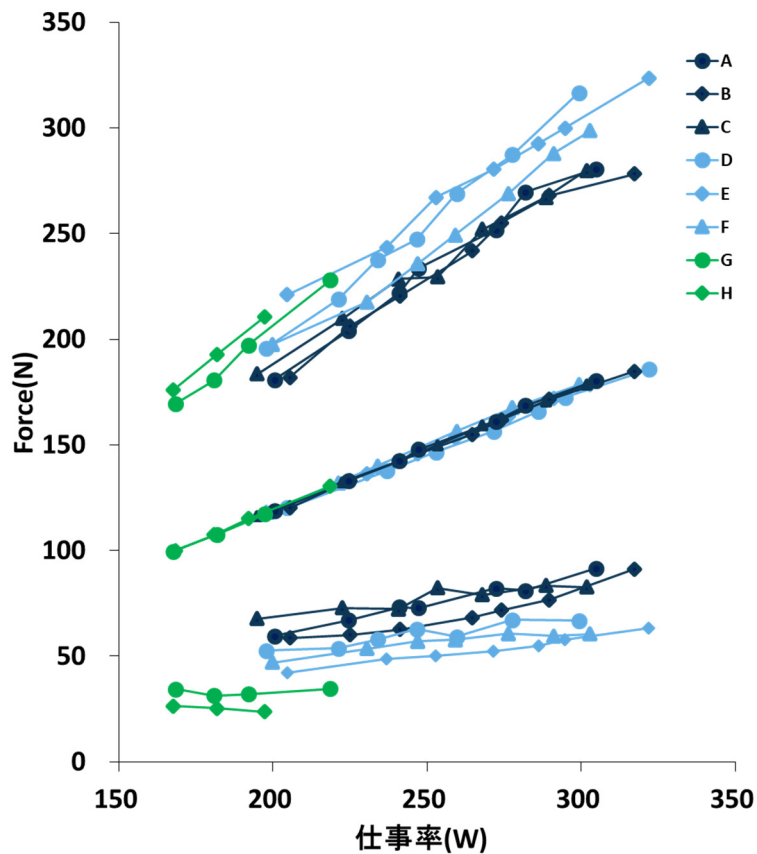


図 5.各被験者の仕事率と Ave.F,Max.F,Min.F の関係

図 6 は各仕事率における, Ave.F に対する Max.F の割合(④), Ave.F に対する Min.F の割合(⑤), Max.F に対する Min.F の割合(⑥)を示したものである. いずれの指標とも, 仕事率の大小によらず同程度の値で推移していた. 指標ごとに見ると, Ave.F に対する Max.F の割合は,トラック選手・未経験者 > ロード選手となった. Ave.F に対する Min.F の割合は, ロード選手 >トラック選手 > 未経験者の順となった. Max.F に対する Min.F の割合は, ⑤と同様に, ロード選手 >トラック選手 > 未経験者の順となった.

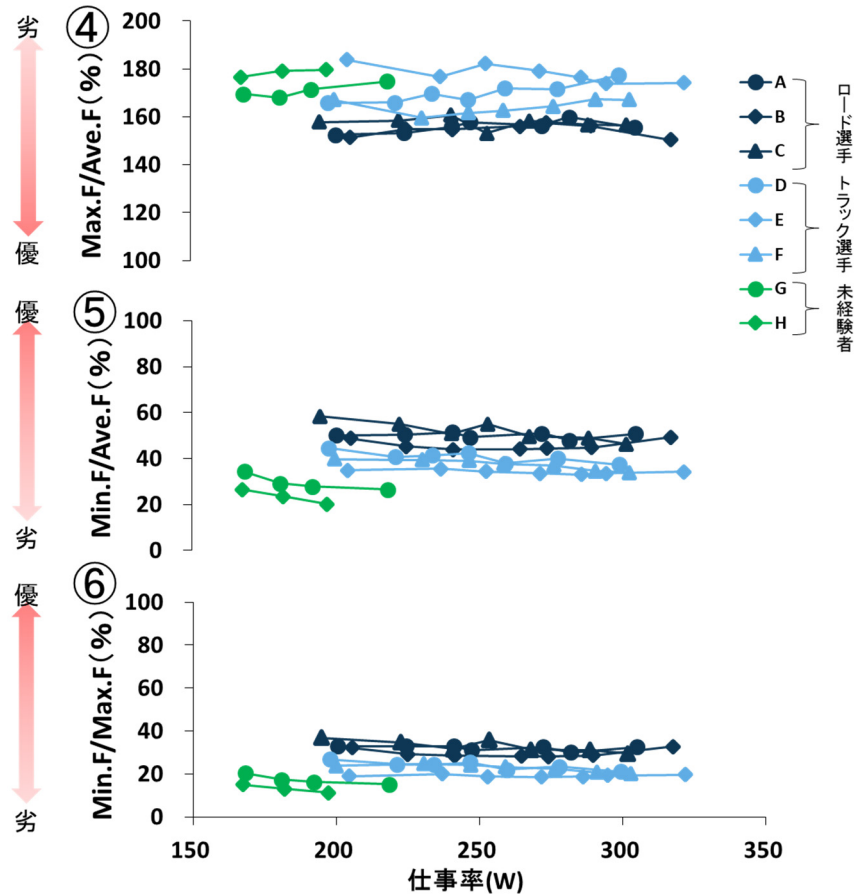


図 6.各被験者のペダリング中のチェーンにかかる力の緩急を示す指数.

④は各仕事率における Ave.F に対する Max.F の割合, ⑤は Ave.F に対する Min.F の割合,
⑥は Max.F に対する Min.F の割合を表す.

図 7 は, 3 つの指標について, 全実施ステージの CV を比較したものである. いずれの指標においても, 仕事率の大小によらず CV はほぼ同じで横ばい傾向を示した. 指標別に見ると, Ave.F の CV(⑦)ではロード選手およびトラック選手の中の D 選手はほぼ 4%以下であった. トラック選手の E 選手, F 選手は 5%程度であった. 未経験者ではすべて 5%以上であった. Max.F の CV(⑧)ではロード選手とトラック選手の D 選手はほぼ 5%程度であり, トラック選手の E 選手, F 選手は 5%程度であった区間と 5%を上回った区間とがあった. 未経験者はすべて 8%以上を示した. Min.F の CV(⑨)では, ロード選手およびトラック選手の D 選手は 5~10%を推移し, トラック選手の E 選手, F 選手や未経験者は概ね 15%付近を推移した. 被験者ごとの CV のばらつき度合を比べると, Min.F では Ave.F や Max.F よりも大きかった.

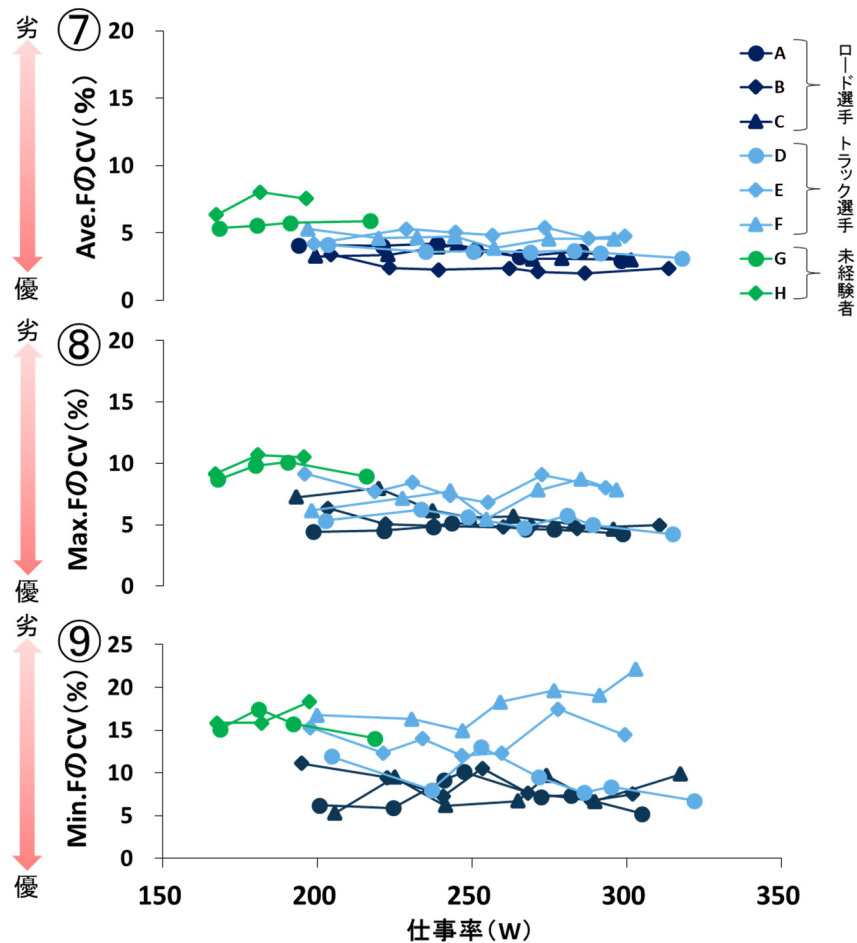


図 7.各被験者のペダリングの再現性を示す指標.
⑦は Ave.F,⑧は Max.F, ⑨は Min.F の CV を表す.

図 6 および図 7 において、各指標が仕事率の大小に関わらず横ばいの傾向を示したことを受けて、図 8 では個人のペダリングを特徴付ける代表値として、Max.F に対する Min.F の割合における平均値(⑩), Max.F の CV における平均値(⑪), Min.F の CV における平均値(⑫)について、各被験者の全実施ステージを通しての平均値を示したものである。⑩についてはロード選手>トラック選手>未経験者であった。⑪では、ロード選手>トラック選手>未経験者であった。⑫では、全体の傾向としては未経験・トラック選手>ロード選手であったが、トラック選手内でのばらつきが大きく、D 選手はロード選手と同程度であった。

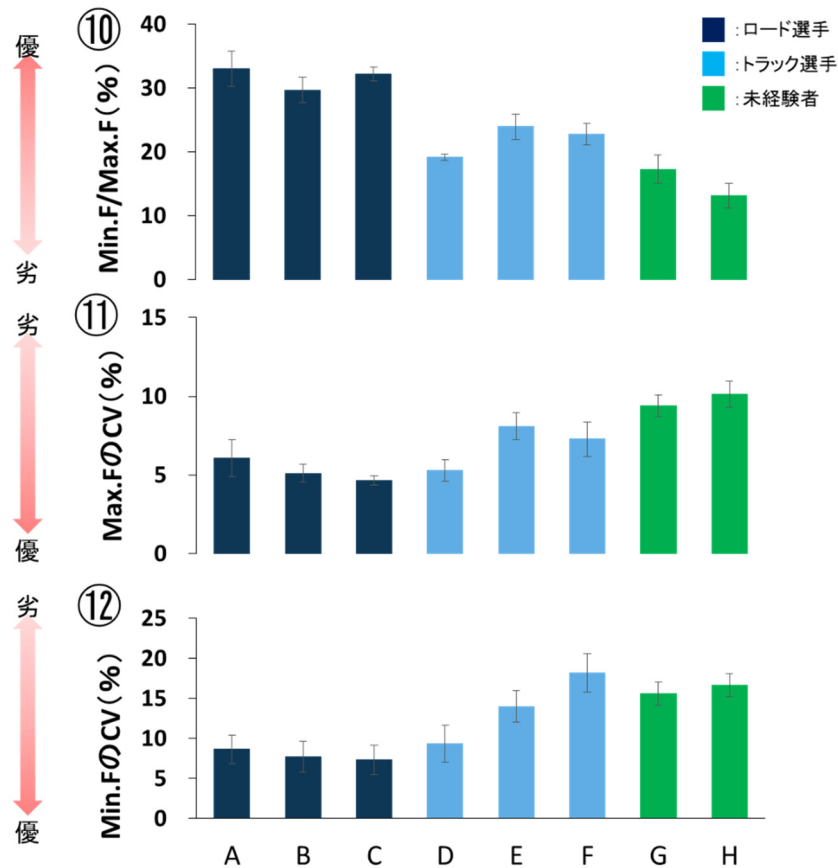


図 8.各被験者のペダリング技術を示す指標

⑩は全ステージを通しての Max.F に対する Min.F の割合の平均値, ⑪は全ステージを通しての Max.F の CV の平均値, ⑫は全ステージを通しての Min.F の CV の平均値

IV. 考察

1. ロード選手の特徴

本研究では, 使用したエルゴメーターが表示する 8 の字図形のデータから, Ave.F, Max.F, Min.F という 3 つの基本指標を設定した. そして, これらの基本指標およびそれらの比や CV を指標として, ロード選手が有する力の無駄の少ないペダリング技術を定量的に評価しようとした.

図 5 を見ると, 各指標は仕事率の増加に伴いいずれも増加したが, その傾きは異なり, $\text{Max.F} > \text{Ave.F} > \text{Min.F}$ となった. さらに詳しく見ると, ロード選手は他の被験者に比べて Max.F は相対的に低値を示し, Min.F は高値を示している. このことは, 全体の傾向として, 仕事率の増加に対して Max.F の貢献度が Min.F よりも相対的に大きいことを示しているものの, ロード選手においては他の被験者よりも仕事率の増加に Min.F の関わりが大きいことを意味する.

この結果を反映して, ロード選手では Ave.F に対する Max.F の割合は低値を示し(図 6-④), Ave.F に対する Min.F の割合(図 6-⑤)や, Max.F に対する Min.F の割合(図 6-⑥)はともに高値を示した. これらの割合が 100%に近いほど, Max.F や Min.F が Ave.F の値に近づき, また Max.F と Min.F の値の差が小さくなることを意味する. 言い換えると, ペダリング中にチェーンに伝えている力の緩急が小さいことを意味し, Polar View で言えばソーセージ型になる. 以上のことを考えると, ロード選手では同一仕事率に対して他の被験者よりも Min.F を高くし, Max.F を抑えるような特有の動作をすることで, チェーン

にかかる力の緩急をより小さくできるペダリング技術を有していると考えられる。

先行研究を見ると(Korff et al., 2007), 被験者に様々なペダリング意識(無意識, 引き脚意識, 踏み脚意識, 円を描く意識)で同一の運動強度での自転車ペダリング運動を行わせたものがある。その結果, 引き脚を意識させたペダリングでは, 他の意識でのペダリングよりも, ペダル 1 回転中の最大トルクに対する平均トルクの割合で算出されるトルクの滑らかさ(Evenness of Torque Distribution:ETD) が有意に高く, 同時にペダル踏力とペダルの回転に有効な力の比で求められる力の伝達効率(Index of Force Effectiveness:IFE)も有意に高くなったと報告している。

ETD はクランクにかかるトルクから算出される指標であるが, 本研究で指標とした Ave.F に対する Max.F の割合, Ave.F に対する Min.F の割合, および Max.F に対する Min.F の割合はチェーンにかかる力によって算出されている。しかし, 両指標はともにペダリングのむらを評価する指標という意味では, ほぼ同じ意義を有すると考えられる。

したがって, Ave.F に対する Max.F の割合, Ave.F に対する Min.F の割合, および Max.F に対する Min.F の割合がより 100%に近い値であったロード選手は, ペダリングにおいて引き上げ動作をうまく用いることで Min.F を高めるとともに Max.F の増大をより抑制して, チェーンにかかる力の緩急が小さいペダリングをしていることが予想できる。

このことを受けて, 本被験者(A~F 選手)に自転車競技中のペダリング意識について尋ねてみた。その結果, 全員に共通して引き上げ動作に何らかの意識は見られたものの, ロード選手では「しっかりと」引き上げるという表現が目立ったのに対し, トラック選手では「引き上げ時にペダルに体重がかからないように, ペダルの動きに沿って足や脚を動かす」「意識としてはやはり踏み込みの方が強い」といった内省報告であった。これらの内容は, おおむね前述の予想を支持するものと考えられる。

Ave.F, Max.F, および Min.F の CV に関しては, ロード選手では 5%程度であり, トラック選手や未経験者よりも低い傾向にあった(図 7)。これらの値は, ペダル 1 回転のチェーンにかかる力の動態を特徴づける要素であり, それらの CV はペダリングの安定性の指標となりうると考えられる。したがって, この値が小さかったロード選手は他の被験者に比べて, より安定したペダリング動作ができていると考えられる。

中でも Min.F の CV(⑨)において 3 群間の差が顕著に現れたことから, Min.F が最もペダリングの技術のよしあしを表す要素である可能性が考えられる。またロード選手の CV をみると, ⑦では 3%程度, ⑧では 5%程度と小さいが, ⑨については 5~10%とより大きい。このことはペダリング技術に優れるロード選手でも, ばらつきを小さくすることが難しいことを示唆している。このことも Min.F がペダリング技術を評価する指標として感度が良いことを意味するかもしれない。

ロード選手のトレーニングでは, 1 日で 200km 以上の走行をすることもあり, 中級者や初心者にとってまず課題となるのが, 上級者に追従して完走することである。そのため, できるだけ引き上げ動作を意識して最大踏力を抑え, 緩急の小さいペダリングを安定して維持することで, 体力をなるべく温存するような意識で練習が行われる。このために, ロード選手には引き上げ動作を使ったペダリングを維持する技術が備わっていくと考えられる。

以上のことから, Max.F に対する Min.F の割合(⑥)や, Ave.F(⑦), Max.F(⑧), および Min.F(⑨)の CV を用いて, ロード選手において効率のよいペダリング技術を有しているかを評価する指標として利

用できると考えられる。

図 6, 図 7 を見ると, これらの指標は仕事率によって変化せず, 横ばいの値を示していた。したがって, それぞれの指標について, ペダリング技術に優れることを示す定数として, 目標値を示せる可能性もある。図 8 ではこのような観点で, Max.F に対する Min.F の割合や Max.F, Min.F の CV について, 全ての負荷ステージを通しての平均値を示したものである。最もペダリング技術に優れると考えられたロード選手 3 名の平均値は, Max.F に対する Min.F の割合の平均値(⑩)が 32%, Max.F の CV の平均値(⑪)が 5%, Min.F の CV の平均値(⑫)が 8%程度であった。本研究では被験者が 3 名と少ないが, 今後は優れたロード選手の被験者数を増やし, 改めてこの値を求めることにより, ロード選手に必要なペダリング技術の目標値を示すことができる可能性があるといえる。

2. トラック選手の特徴

本研究では, ロード選手が有する力の無駄の少ないペダリング技術を評価するため, ロード選手が実際の競技で多用する 95rpm という回転数を用いて研究を行った。したがって, トラック選手の結果がロード選手のそれに比べて劣ることは当然ともいえる結果である。トラック選手におけるペダリング技術に関しては, 別途, トラック選手の特異性に応じた実験条件を設定して評価を行う必要がある(後述)。

なお D 選手は現在ではトラック選手であるが, ジュニア時代にはロードレースにおいても全国大会入賞の成績を持つ選手であり, ロード選手に並ぶペダリング技術を有する選手である。図 8-⑪, 8-⑫をみると, Max.F や Min.F の CV における平均値では, D 選手はロード選手と同程度の値を示しており, ロード領域でのペダリング技術にもある程度優れていることが窺える。ただし図 8-⑩を見ると, Max.F に対する Min.F の割合ではロード選手よりも低い値であり, 現役のロード選手に比べると技術は及ばないことも窺える。

3. 未経験者の特徴

未経験者の特徴として, Max.F はロード選手に比べて高く, Min.F はロード選手やトラック選手よりも低いという傾向がみられた(図 5)。このことは, 未経験者はペダリングの際にチェーンにかかる力の差が大きく, むらの大きいペダリングをしていることを示している。

また, Ave.F, Max.F, Min.F の CV について見ると, Min.F においては D 選手を除いたトラック選手と同程度であったが, Ave.F や Max.F においては他の被験者よりも高い傾向を示した(図 7)。Ave.F や Max.F の CV が大きいということは, ペダル 1 回転ごとのチェーンにかかる力にばらつきがあることを示しており, 未経験者は他の被験者よりも不安定な動きをしているといえる。

4. トレーニング現場への示唆

本研究により, ロード選手に必要とされるペダリング技術として, チェーンにかかる力の緩急を小さくすること(i), Max.F や Min.F のばらつきを抑えること(ii), の 2 つがあげられた。競技現場では, (i) の鍵となるのは, 引き脚の意識であるとされている。また(ii)を達成するには, そのような動作を反復して, 慣れることが重要であるとされている。

以上のことを考慮すると, Wattbike の Polar View でチェーンにかかる力の動態を観察しながら, 引

き脚を意識したペダリングをし、無意識でもペダリングを維持できるようになるまで繰り返していくような取り組みと、それに加えて、そのばらつきを小さくしていくような取り組みをすることが、ロード競技で求められるペダリング技術の習得のためには効果的と考えられる。

本研究で検討した Max.F に対する Min.F の割合、Max.F の CV、Min.F の CV は、仕事率の大小によっては変化しなかった(図 6-⑥, 図 7-⑧, 図 7-⑨)。すなわちこれらの指標は、各個人が持つペダリング技術のレベルを表す定数として捉えることも可能と考えられる(図 8)。したがって、上記の取り組みをする際には、Max.F に対する Min.F の割合や、Max.F や Min.F の CV を算出し、目標値を定めたり、個人間や個人内での値を観察することで、現状と目標とのギャップや、トレーニング効果などを数値で評価でき、技術改善を目指した取り組みに示唆が得られると考えられる。

たとえば E 選手がロード選手を目指すのであれば、Polar View を用いて今よりも 10%程度図形のくびれをなくすようにペダリングをすることや、Max.F の CV を 3%程度、Min.F の CV を 5%程度の値に改善できるように反復していくこと、といった具体的な指示を与えることができると考えられる。

5. 今後の検討課題

本研究では、ロード選手が有する力の無駄の少ないペダリング技術を評価するため、ロード選手が実際の競技で多用する 95rpm という回転数を用いて研究を行った。一方で、トラック選手においてもやはり、トラック選手としての独自のペダリング技術が重要になることは言うまでもない。

トラック競技では 110rpm から上の回転数で行われることが多い。回転数が高くなると 1 回転あたりにペダルに力を加えられる時間も短くなるので、短時間かつ速い速度で大きな力を発揮することが求められる。したがって、トラック選手にとっての優れた Polar View の形は、ロード選手とは異なる可能性もある。今後の課題として、トラック選手が競技場面で用いる 110rpm 以上の領域で検討することがあげられる。

また競技現場では、ロード・トラック選手によらず、円を描くような意識でのペダリングも経験的に重要視されている。したがってペダリング技術を検討する上で、前述の Korff et al. (2007)の先行研究で検討されている IFE も、重要な指標の 1 つと考えられる。この指標は本研究で用いた Wattbike では測定できないため、今後は同時に検討できる工夫をすることが課題である。また、長時間にわたり膨大なエネルギーを消費するロード選手にとっては、力学的な意味で効率の良いペダリング技術や、エネルギー消費から見た効率も重要である。今後はこれらも視野に入れて検討する必要がある。

また本研究では、被験者としたロード選手は 3 名と少なく、これら 3 名の間ではペダリング技術には目立った差は認められなかった。今後はロード選手の被験者をさらに増やし、ロードを専門とする選手の間でも、相対的にペダリング技術に優れる者とそうでない者との間で、Polar View の形のの違いについて比較検討していく必要もある。

図 4 の 8 の字図形を見ると、B 選手や E 選手、F 選手では左右差があることがわかる。また D 選手と E 選手を比べると、8 の字の傾きにも個人差がある。本被験者の間では、このような 8 の字図形の左右差や傾きと、ペダリング技術や競技力との間には特定の関連がなかったため、検討を行わなかった。

しかし、左右のどちら側でより大きな力を発揮しているのかや、どの程度のペダル角度で高い力を発揮しているかといった点は、個人のペダリングを特徴づける重要な指標と考えられる。今後は被験者を

増やして、このような視点からも検討することで、より多様な視点でペダリング技術を定量的に評価できると考えられる。

V. まとめ

自転車競技選手(ロード・トラック), および自転車競技の未経験者を対象として、チェーンにかかる力の動態を定量的に測定できる自転車エルゴメーターを用いて、回転数を 95rpm に固定して多段階負荷運動を行い、得られた各種指標の特性からペダリング技術を評価することを試みた。

その結果、ペダル 1 回転中のチェーンにかかる力の最大値や最小値が、3 群間で異なる特徴を示した。すなわち、力の無駄が少ないという意味でのペダリング技術に優れるロード選手では、トラック選手や未経験者に比べて、同一仕事率の運動でのチェーンにかかる力の最大値は低く、最小値は高く、そして両者の割合(最小値/最大値)は高値を示した。さらに、力の最大値や最小値の変動係数でも、ロード選手の値は他の群よりも小さかった。

以上のことから、ロード選手はペダリングを行う際に、ペダルに対して発揮する力にむらがなく、安定したペダリングを行っていることが示唆された。そして本研究の知見を利用することで、ロード選手のペダリング技術のよしあしを定量的に評価したり、その評価結果をもとにペダリング技術の改善を図るためのトレーニングにも活用できると考えられた。

VI. 参考文献

- Kell, D. T. and B. K. Greer (2016) Use of the Wattbike cycle ergometer for attenuation of bilateral pedaling asymmetry in trained cyclists. *J. Strength Cond.* 31: 468-473.
- 木梨公介, 安田好文, 河村庄造, 田畑昭秀 (2013) ペダリング技術が自転車運動の力の伝達効率, 筋電図および機械的効率に及ぼす影響. *スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*. “222-1” - “222-8”
- Korff, T. , L. M. Romer, I. Mayhew, and J. C. Martin (2007) Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39: 991-996.
- Mornieux, G. , B. Stapelfeldt, A. Gollhofer and A. Belli (2008) Effects of pedal type and pull-up action during cycling. *Int. J. Sports Med.* 29: 817-822.
- 小野寺孝一, 宮下充正 (1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性—Rating of perceived exertion の観点から. *体育学研究*. 21:191 - 203