

スポーツ用の自転車におけるペダリング技能の客観的な可視化方法の開発： 荷重と脚の使い方に着目して

山口大貴¹⁾, 金高宏文²⁾, 山本正嘉²⁾

¹⁾鹿屋体育大学大学院

²⁾鹿屋体育大学

キーワード： 自転車競技, 荷重, 足底圧力, 技術, ロードレース

【要旨】

自転車競技者であった筆者は、ペダリング運動中の荷重と脚の使い方を工夫することで、高いパフォーマンスを発揮できるこぎ方 B (ペダル荷重×脚を踏み替える意識) を体得した。このこぎ方 B が機械的効率に優れることは、すでに本誌で報告した。本研究では、フォースプレートとインソールセンサーを用いることで、こぎ方 B と、それよりも効率の低い 2 つのこぎ方 (A: ハンドル荷重×脚で踏みつける意識, C: サドル荷重×脚で踏みつける意識) との違いを可視化できるか、筆者 1 名を対象に検討した。荷重の様相については、自転車の前後車軸が 2 枚のフォースプレート上に乗るようにローラー台を設置し、前後の車軸に対して均等に荷重された場合にそれぞれ 50% の値となるように設定した上で「荷重合成割合」を算出した。脚の使い方は、バイクシューズにインソールセンサーを装着し、足底圧力を算出することで可視化した。その結果、荷重合成割合の分布は、A が 47% (前寄り)、B が 56%、C では 63% (後寄り) の所に最頻値があり、分布の尖度は B が最も高かった。足底圧力は、A は 353N、B が 165N、C では 351N で、B が他に比べて著しく小さかった。以上の結果から、荷重の仕方および脚の使い方の違いによって生じるペダリング技能の優劣を、客観的な指標で可視化できることが示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 12, 287-301, 2020 年, 受付日: 2020 年 1 月 16 日, 受理日: 2020 年 5 月 19 日

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

Objective visualization of pedaling technique in sport cycling: Comparison of techniques of loading and using the legs

Hiroki Yamaguchi¹⁾, Hirofumi Kintaka²⁾, Masayoshi Yamamoto²⁾

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

²⁾National Institute of Fitness and Sports in Kanoya.

Keywords: cycling race, load, sole pressure, technique, road race

【Abstract】

The first author, who had been a bicycle racer, had developed a high performance using pedaling technique B (pedal loading x awareness of changing the pedaling leg) by improving how he loaded and used his legs while pedaling. The mechanical superiority of pedaling technique B has already been reported. The present study examined how to enable a cyclist to visualize differences between pedaling technique B and two less effective pedaling techniques, A (handle loading x awareness of stepping on the pedal with the feet) and C (saddle loading x awareness of stepping on the pedal with the feet). The participant was the first author. The differences of his results using the three techniques were measured with force plates and insole sensors. In order to calculate the load composite rate, a roller stand was installed in which the front and rear axles of a bicycle were supported by two force plates, and the weight was distributed equally to the front and rear axles. The cyclist was able to visualize how he used his legs and feet as a result of the installation of insole sensors in his shoes. With those sensors, the pressure on the soles of his feet could be calculated. The maximum frequency of the load composite rate was 47% (close to the side) with A technique, 56% with B, and 63% (close to the rear) with C. The highest kurtosis of the distribution was observed with B technique. The sole pressure was 353N with A technique, 165N with B, and 351N with C. In other words, the values observed with B technique were much smaller than with the other two techniques. These results suggest the possibility of using objective visualization of pedaling techniques with different loading methods and different ways that cyclists use their legs.

I. 研究の背景及び目的

自転車の走行は、人が発揮した力をペダル→チェーン→タイヤの系に伝達し、地面に対して仕事を行うという特徴がある(星川, 1993). そのため、ペダルにどのように力を加えるかといった「こぎ方」が重要になる. さらに、自転車の空気抵抗は速度の2乗に比例して大きくなるので(淵本, 2004), 高い速度で走行するスポーツ用の自転車においては、発生する空気抵抗を小さくするペダリング時の「姿勢」も重要になる. つまり、スポーツ用の自転車でのパフォーマンス発揮には、ペダルに上手に力を伝えるこぎ方と、空気抵抗を小さくする姿勢という、2つの意味での「ペダリング技能」が求められる.

筆者は自らの競技実践を通じてペダリングの技能の改善に取り組んだ結果、脚の疲労を抑えて高い走行速度を達成するこぎ方を会得し、競技開始1年半で全国入賞、4年目には全日本選手権で優勝した. そこでの技能の改善は、①大腿前面が疲労しサドルに体重が乗るこぎ方から、②大腿後面の使用感を感じながらペダルに体重をかけるこぎ方へと変更するものであった(山口ほか, 2015; 2017). また①と②の生理的応答の比較から、①のこぎ方は酸素摂取量が8%低く、外的な仕事量(Kcal)をエネルギー消費量(Kcal)で除して求めた機械的効率(Gross efficiency)では1.9%高値であることを事例的に確認した(山口ほか, 2019).

しかし、自転車のパフォーマンス発揮の改善に寄与したと考えられるペダリング時の「体重のかけ方(以後、荷重)」や「脚の使い方」は、現在のところ筆者自身の主観的把握に留まっている. また機械的効率が低いことについては客観的なデータで可視化することができたものの、これは全身が利用したエネルギーの総量を表した指標であり、荷重や脚の使い方といった部分的な身体の扱い方の良し悪しを捉えることはできないという限界がある.

一方、筆者が会得したこのこぎ方を他者に指導しようとする場合、荷重や脚の使い方の様相に焦点を当て、それぞれの良し悪しを可視化し、対象者に即時的にフィードバックする指標を見つけることができれば、指導の効果も著しく高まると考えられる.

そこで本研究では、スポーツ用の自転車におけるペダリング技能を「荷重」と「脚の使い方」を手がかりに定量し、客観的に可視化できるかについて検討することを目的とした. そのために、荷重と脚の使い方が異なる3つのこぎ方について比較し、ペダリング技能の客観的な可視化の可能性を検討した.

II. 研究方法

1. 対象者

対象者は、男子自転車競技経験者1名(筆者自身)であった. 対象者の年齢は27歳、身長は170cm、体重は77.5kgであった. 競技歴は4年間で、主な戦績は全日本選手権自転車競技大会トラックレースチームスプリント優勝、全日本学生対抗選手権自転車競技大会タンデムスプリント優勝経験者であった.

2. 実験試技

実験試技は、スポーツ用の自転車(Super six evo, キャンンデール社製)を用いて、ローラー台(GT-Roller, Growtac 社製)上でのペダリング運動を行った. スポーツ用の自転車のペダリング技能を自転車への「荷重」と「脚の使い方」を手がかりに定量し、客観的に可視化できるかについて、3つのこぎ方を比較した. こぎ方は、A(ハンドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける意識)、B(ペダル荷重×踏み込

み脚と引き上げ脚とを踏み替える意識), C(サドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける意識)というように, それぞれ運動における意識が異なるものであった(注).

このうちの B が, 筆者が競技の熟練過程で習得した, 最もよいと考えているこぎ方である. このこぎ方は, 脚の疲労を抑えて高い走行速度を達成できることや(山口ほか, 2015), 生理的応答の比較から機械的効率に優れること(山口ほか, 2019)をすでに確認している. 一方で A と C は, 筆者が自転車競技開始時に用いた経験のあるこぎ方である. このこぎ方は, 筆者だけではなく自転車競技未熟練者にしばしばみられるものである. 以下では, それぞれのこぎ方について説明する(図 1).

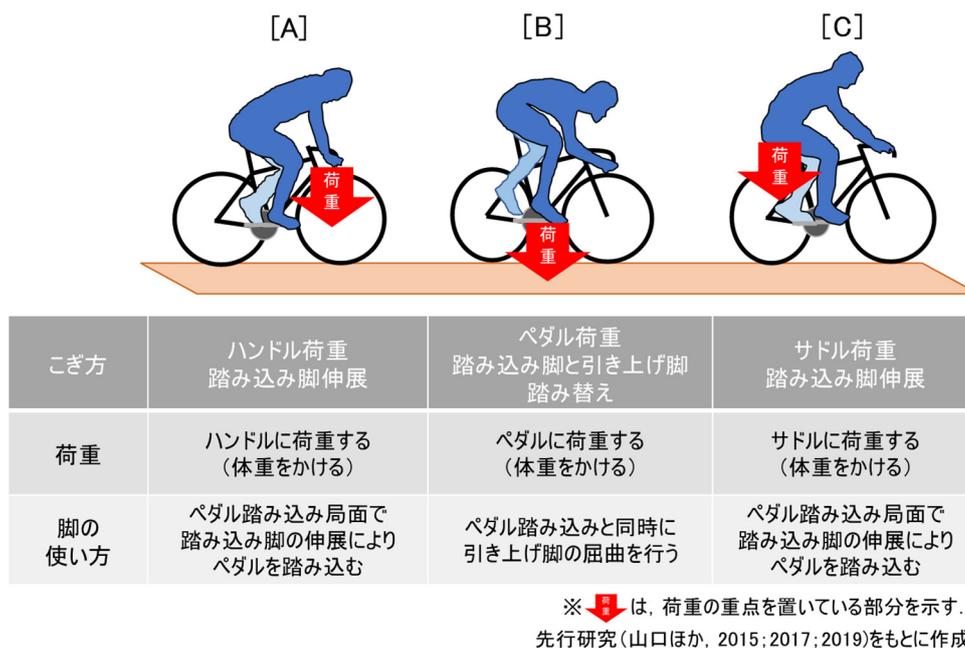


図1. 実験試技における3つのこぎ方の違い

A と C は競技開始時の筆者や自転車競技未熟練者に多く用いられるこぎ方.

B は筆者が競技の熟練過程で習得したこぎ方.

A: 「ハンドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける」こぎ方(動画 1 左)

山口ほか(2015)の先行研究における「無知・がむしゃら期」で記述したこぎ方を再現して実施した. 図 1 左に示すように, ハンドルにより荷重の重点を置くもので, 長時間の乗車をする際には, 腕や肩へ痛みや痺れが生じる場合がある. 脚の使い方は, ペダルが上死点から下死点(0-180 度)へ下降する踏み込む局面(以下「踏み込み局面」と略す)において, 踏み込み脚の伸展動作が行われている時に, ペダルを踏みつけることを強調している. ペダルが下死点から上死点(180-360 度)へ上昇する引き上げる局面(以下「引き上げ局面」と略す)では, ペダルからの反作用を受けて骨盤が必要以上に動いてしまう(上下・前後・左右)場合がある.

B: 「ペダル荷重×踏み込み脚と引き上げ脚を踏み替える」のこぎ方(動画 1 中)

山口ほか(2015)の先行研究における「臀部使用ペダリング発生期 II」と, 山口ほか(2017)の「股関節こぎにおける体重の移動(荷重)」と, 山口ほか(2019)の「運動意識 A (運動意識 B より酸素摂取量が 8%低

い)で記述したこぎ方を用いて実施した。具体的には図 1 中に示すように、ペダルにより荷重の重点を置いている。脚の使い方は、踏み込み局面において、踏み込み脚が伸展するタイミングで、ペダルに対して荷重を行う。引き上げ局面では、ペダルの上昇を妨げないように、股関節の屈曲を強調している(踏み込み脚は股関節の伸展, 引き上げ脚は股関節屈曲:以下「踏み替え」と略す)。

C: 「サドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける」のこぎ方(動画 1 右)

山口ほか(2015)の先行研究における「無知・がむしゃら期」と山口ほか(2019)の「運動意識 B (運動意識 A より酸素摂取量が 8%高い)」で記述したこぎ方を再現して実施した。図 1 右に示すように、サドルにより荷重の重点を置いている。長時間の乗車をする際には、臀部へ痛みや痺れが生じる場合がある。脚の使い方は、前述で記述した A のこぎ方と同様である。

3. 測定項目

1) ペダリングパワー(W)とペダル回転数(rpm)

本研究では、自転車競技ロードレースにおいて頻繁に発揮されるパワー(柿木, 2012)とされる 250W を採用して各試技を行った。試技は A, B, C の順序で行った。全ての試技は 1 日のうちに行われたが、疲労による影響を最小限とするために、休憩を 30 分とり、本人の意思が確認された上で次の試技に移った。

ペダリングパワー及びペダル回転数は、サイクルコンピューター(Edge 520J, ガーミン社製)とペダル型パワーメーター(Vector2, ガーミン社製)を用いて算出した。サンプリング周波数は 1Hz であった。測定は、180bpm のメトロノーム(デジタルメトロノーム DM51, Seiko 社製)音を聞きながら、音に合わせようようにペダリング運動を行うこととした。サンプリングのタイミングは、ペダルをこぎ始めてからペダル回転数が 90rpm で安定した 10 秒間を採用した。

2) 荷重の定量化: 荷重合成割合と荷重合成圧力中心(荷重合成 COP)の求め方

荷重は、自転車の前後の車軸が 2 枚のフォースプレート(TF-90100, テック技販社製)上に乗るようにローラー台(GT-Roller, Growtac 社製)を設置して(図 2 上段), 地面反力(Ground Reaction Force)を参考に荷重合成割合(図 2 下段左)と, 荷重合成 COP(図 2 下段右)を算出した。データの取得は, 1)で示したように, ペダル回転数が 90rpm で安定した 4 秒間を採用した。サンプリング周波数は 1000Hz であった。以下にそれぞれの変数の算出方法について説明した。

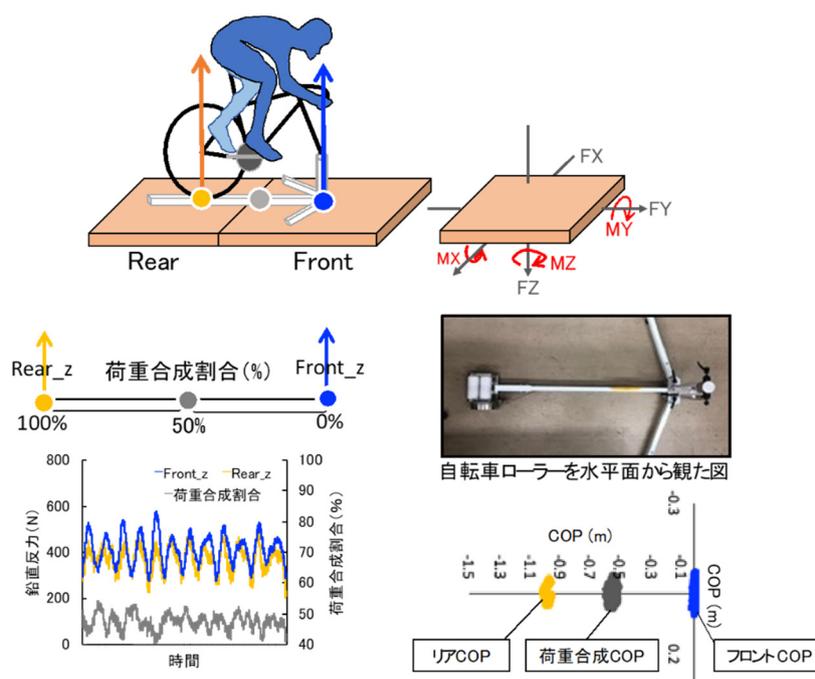


図 2. 荷重特性の可視化方法
 上段に自転車ローラー台設置状況, 下段左に荷重特性割合,
 下段右に圧力中心をモデルで示している

荷重合成割合 (%) を算出するために、設置したローラー台の前後の車軸に作用した鉛直反力値 (Fz) を参考に以下のようにして求めた。この値は、50% の値よりも大きい場合リア荷重、小さい場合はフロント荷重になっていることを示している。

$$\text{荷重合成割合 (\%)} = \text{Rear_Fz} / (\text{Front_Fz} + \text{Rear_Fz}) * 100 \dots \dots \dots \text{①}$$

荷重合成 COP は、前輪側の車軸に作用したフロント COP と後輪側の車軸に作用したリア COP の内分比によって求められる荷重合成 COP の 3 種類を算出した。位置座標は、3 次元の反力値 $F = [F_x, F_y, F_z]$ とモーメント $M = [M_x, M_y, M_z]$ を参考に以下のようにして求めた。

$$\text{フロント COP} = (F_x, F_y) \dots \dots \dots \text{②}$$

$$F_x = M_y / \text{Front_Fz}$$

$$F_y = M_x / \text{Front_Fz}$$

$$M_x = \text{Front_Mx} + \text{Front_Fy} * 0.095 (\text{フォースプレートの高さ mm})$$

$$M_y = \text{Front_My} + \text{Front_Fx} * 0.095 (\text{フォースプレートの高さ mm})$$

$$\text{リア COP} = (R_x, R_y) \dots \dots \dots \text{③}$$

$$R_x = M_y' / \text{Rear_Fz}$$

$$R_y = M_x' / \text{Rear_Fz}$$

$$MX' = \text{Rear_Mx} + \text{Rear_Fy} * 0.095 (\text{フォースプレートの高さ mm})$$

$$MY' = \text{Rear_My} + \text{Rear_Fx} * 0.095 (\text{フォースプレートの高さ mm})$$

荷重合成 COP = (CX, CY)④

$$CX = Fx * (1 - \text{①}) + Rx * \text{①}$$

$$CY = Fy * (1 - \text{①}) + Ry * \text{①}$$

3) 脚の使い方の定量化: 足底圧力の求め方

脚の使い方を定量化するために、左右のバイクシューズ中にインソールセンサー (Moticon Science insole2, Moticon 社製) を装着し、足底圧力を算出した。本研究で使用したインソールセンサーでは、センサーの表面に対して鉛直に作用した力のみが検出されるものである。なお、本研究では左右のインソールより算出された平均値を採用した。サンプリング周波数は 50Hz であった (図 3)。

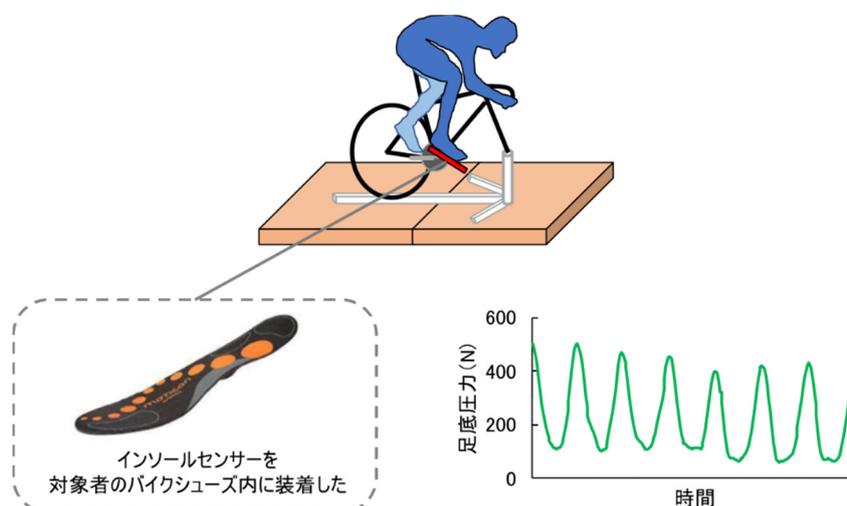


図 3. 脚の使い方の可視化方法

上段と下段左にインソールセンサーの装着状況, 下段右に算出した足底圧力を示している

4) 実験試技における対象者の内省報告

本研究で算出した変数と対象者の主観情報との関係を確認するために、各試技の終了後、対象者からペダリング運動中の実施感を聴取した。

4. 統計分析

A, B, Cのこぎ方を比較する際、ペダリングパワー及び回転数、荷重合成割合及び足底圧力は、250W 時の回転数が安定した8回転分を採用した。平均値 (Mean) と標準偏差 (SD) を求めた上で、統計解析ソフト (SPSS Statistics Ver25, IBM社製) 一元配置の分散分析を用いて検討した。有意水準は5%未満とした。なお、本研究の測定項目であるペダリングパワーおよび回転数については、それぞれの試技で同様の条

件で実施されているかを確認するために、効果量d(水本, 2010)を求めた。荷重合成割合の分布を定量するために、尖度も算出して比較した。

III. 結果

1. ペダリングパワー(W)とペダル回転数(rpm)の比較

ペダリングパワーは、Aが $256 \pm 23W$ 、Bが $254 \pm 6W$ 、Cが $255 \pm 30W$ であり、それぞれの試技間で有意な差はみられなかった(図4a)。回転数は、Aが $90 \pm 1rpm$ 、Bが $93 \pm 6rpm$ 、Cが $91 \pm 2rpm$ であり、ABとBCの試技間で有意な差がみられた。ABの効果量dは0.09、BCの効果量dは0.05であった(図4b)。

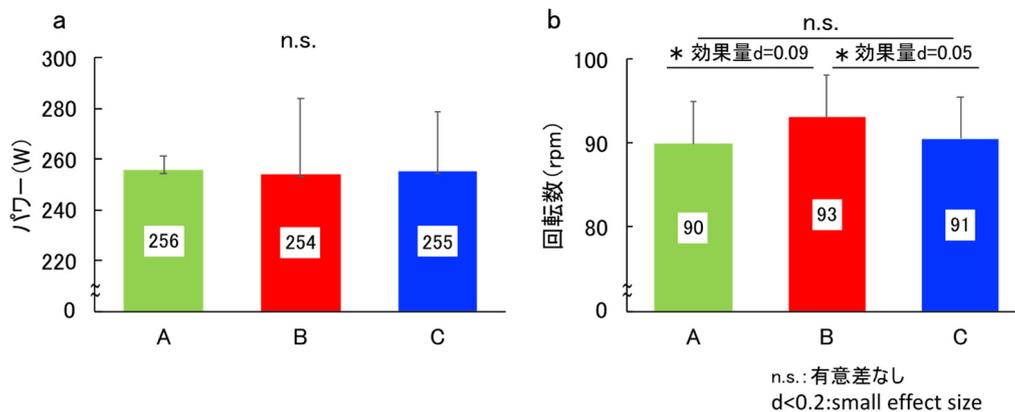


図4. 3つのこぎ方のペダリングパワー(W)と回転数(rpm)の比較

2. 荷重合成割合と荷重合成圧力中心(荷重合成 COP)の比較

図5a, b, cはA, B, Cの試技の鉛直反力値と荷重合成割合を示し、図5dは、3条件間におけるペダリング運動中の荷重特性割合を比較したものである。Aは $47 \pm 3\%$ 、Bが $56 \pm 2\%$ 、Cでは $63 \pm 5\%$ でありそれぞれの試技間において有意差が認められた。

図6は、3条件間におけるペダリング運動中の荷重合成COPを示したものである。荷重合成COPの平均値は、自転車のボトムブラケット位置に対して、Aは前方に13cm、Bが前方に4cm、Cでは後方に3cmの位置にあることが確認出来た。

図7は、3条件間における荷重合成割合の分布を示したものである。Aは44~56%、Bは53~62%、Cは53~74%の位置にあることが確認できた。また荷重合成割合の尖度は、Aは3.2、Bが4.0、Cでは-1.6であり、ABの分布は平均値付近に集中し、Cでは扁平な分布であることが明らかとなった。

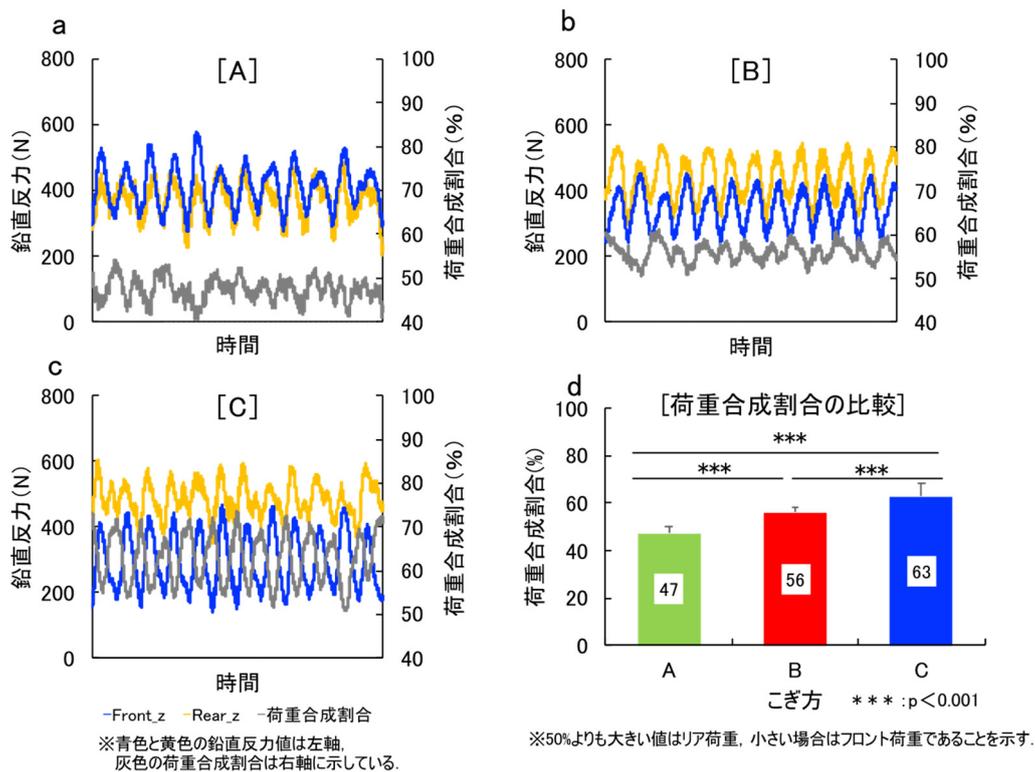


図 5. 3つのござ方の荷重合成割合の比較

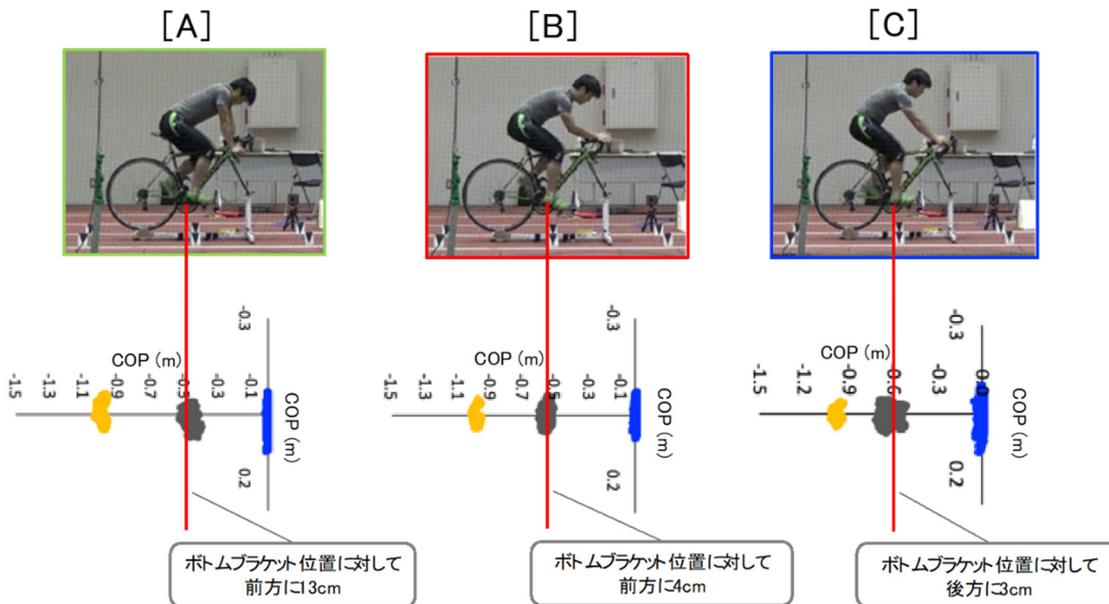


図 6. 3つのござ方の荷重合成 COP の比較

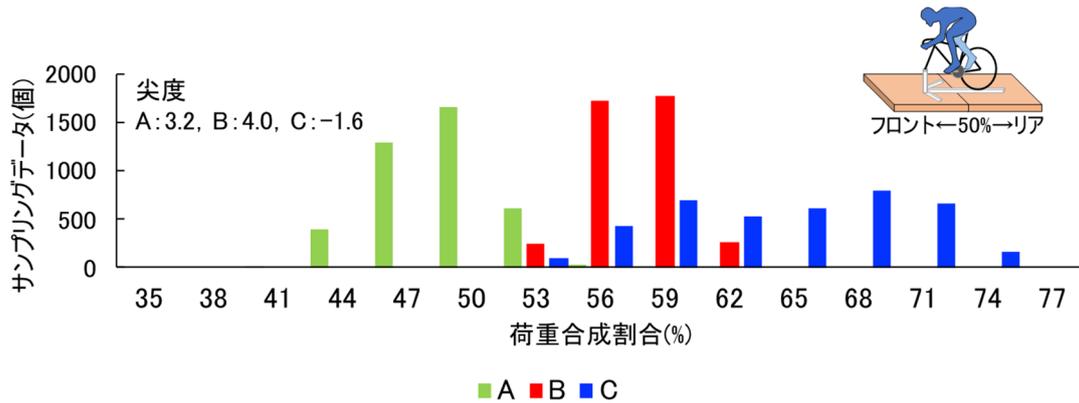


図7. 3つのこぎ方の荷重合成割合の分布比較

3. 足底圧力の比較

図 8a は, 3 条件間におけるペダリング運動中の足底圧力の最大値を示したものである. A は $465 \pm 49\text{N}$, B が $248 \pm 16\text{N}$, C では $469 \pm 20\text{N}$ であり, AB 間では B が有意に低値を示し, BC 間でも B が小さい値を示した. AC 間では有意な差が認められなかった. 図 8b は, 3 条件間におけるペダリング運動中の足底圧力の最小値を示したものである. A は $278 \pm 61\text{N}$, B が $125 \pm 16\text{N}$, C では $204 \pm 77\text{N}$ であり, 全ての条件間において有意な差が確認できた. 図 8c は, 3 条件間におけるペダリング運動中の足底圧力の平均値を示したものである. A は $353 \pm 85\text{N}$, B が $165 \pm 63\text{N}$, C では $352 \pm 96\text{N}$ であり, AB 間では B が有意に低値を示し, BC 間でも B が小さい値を示した. AC 間では有意な差が認められなかった.

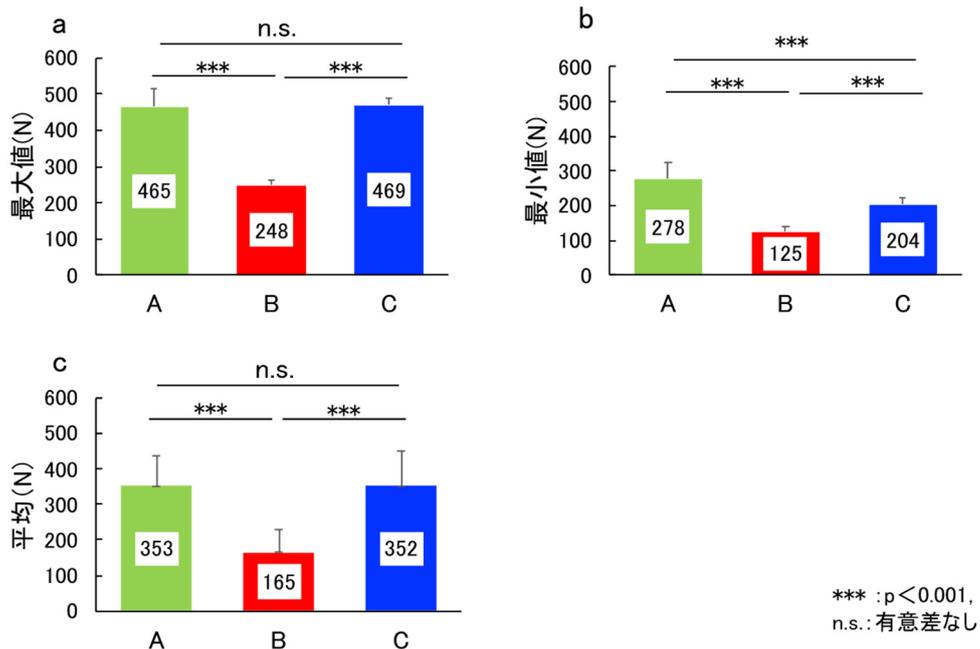


図 8. 3つのこぎ方のペダリング運動中の足底圧力の比較

4. 各試技における内省報告の比較

各試技の終了後に、対象者が報告した内省感覚は以下のようなものであった。

Aのこぎ方では、ハンドルにより荷重の重点を置いたことによって、手のひらに圧を強く感じていた。踏み込み脚の伸展時には、ペダルを踏みつけるようにしたことによって、足裏の圧力を強く感じた。この感覚はCと類似していた。脚の疲労感は、大腿の前面で強く感じた。また、ペダルの上昇局面において、骨盤が動いている(挙上・下制・回旋している)感じがしていた。ペダリング運動中の自転車の振る舞いは、Bと比較すると左右にブレているような感覚があった。

Bのこぎ方では、ペダルにより荷重の重点を置いていた。AやCと比較して、手のひらや臀部に感じた圧力は小さかった。踏み込み脚が伸展するタイミングで、ペダルに対して荷重を行い、引き上げ局面では、ペダルの上昇を妨げないように、股関節の屈曲を強調していた(脚の踏み替え)。AやCと比較して、足裏の圧力を強く感じることはなかった。脚の疲労については、局所的に強く感じる部位はなかった。ペダリング運動中の自転車の振る舞いは、AやCと比較すると前後左右にブレるような感覚はなく安定していた。

Cのこぎ方では、サドルにより荷重の重点を置いたことによって、臀部に圧を強く感じていた。踏み込み脚の伸展時には、ペダルを踏みつけるようにしたことによって、足裏の圧力を強く感じた。この感覚はAと類似していた。脚の疲労は、臀部で強く感じた。また、ペダルの上昇局面において、骨盤が動いている(挙上・下制・回旋している)感じがしていた。ペダリング運動中の自転車の振る舞いは、Bと比較すると前後にブレているような感覚があった。

IV. 考察

本研究では、自転車競技に熟練した1名の競技者(筆者自身)を対象に、スポーツ用の自転車におけるペダリング技能を、自転車への「荷重」と「脚の使い方」を手がかりに定量し、客観的に可視化できるかについて、3つのこぎ方を比較することで検討した。先行研究(山口, 2015;2019)から、効率の悪いとされているこぎ方A(ハンドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける意識)やC(サドル荷重×踏み込み脚でペダルを踏みつける意識)に対して、脚の疲労を抑えて高い走行速度を達成できると同時に生理学的にも効率がよいこぎ方B(ペダル荷重×踏み込み脚と引き上げ脚とを踏み替える意識)を比較した。

3つのこぎ方の間でペダリングパワーには有意な差は確認されなかった。回転数ではAとB, BとCの試技間で有意な差がみられたが、効果量はsmall effect sizeでいうと「取るに足りない差」であった。このことは、3つのこぎ方がほぼ同じ運動負荷で実施されていたことを示し、各変数の定量的な違いは荷重や脚の使い方を反映しているものと考えられる(図4)。

1. 荷重の客観的な可視化の可能性

ここでは、ペダリング技能における「荷重」を手がかりに定量し、客観的に可視化できるかについて検討する(図5)。ハンドルに荷重の重点を置いているAの荷重合成割合は $47 \pm 3\%$ 、ペダルに荷重の重点を置いているBが $56 \pm 2\%$ 、サドルに荷重の重点を置いているCでは $63 \pm 5\%$ であった。荷重合成割合では、それぞれの試技間において有意な差が認められた(図5d)。また、荷重合成COPを比較すると、自転車のボトムブラケット位置に対して、Aは前方に13cm, Bが前方に4cm, Cでは後方に3cmの位置にあることが確認できた(図6)。これは、Aがフロント側に、Cがリア側に多くの荷重が行われており、BはAとC

の間にあることを可視化している。つまり、ペダリング技能における荷重は、荷重合成割合や荷重合成 COP を手がかりに定量化して客観的に可視化できる可能性を示している。

次に荷重合成割合の分布を観ると、A は 44~56%, B は 53~62%, C は 53~74% にあった(図 7)。また荷重合成割合の尖度は、A は 3.2, B が 4.0, C では -1.6 であり、A と B の分布は平均値付近に集中し、C では扁平な分布であることが明らかとなった(図 7)。特に尖度は、ペダリング運動中の荷重合成割合の移動性(ブレ)の状況を客観的に可視化しているものと考えられる。A や B は荷重合成割合がペダリング運動中に前後に移動せず、C では前後に移動し、ブレていることを示しているということもできよう。

以上のことから、ペダリング技能は、荷重に着目すると、荷重合成割合、荷重合成 COP、荷重合成割合の分布や尖度を用いて定量化でき、その違いを客観的に可視化できる可能性があると考えられる。

2. 脚の使い方の客観的な可視化の可能性

ここでは、ペダリング技能における「脚の使い方」を手がかりに定量し、客観的に可視化できるかについて検討する(図 8)。ペダルを踏みつける意識で行う A と C は、脚を踏み替える B よりも、足底圧力の最大値(図 8a)、最小値(図 8b)、平均値(図 8c)において有意に高値を示した。これは、各試技の脚の使い方の違いが、足底圧力として反映されていることを意味するものと考えられ、ペダルを踏みつけるこぎ方では高値、脚の踏み替えをするこぎ方では低値として、客観的に可視化できているものと考えられた。

なお、本研究で算出した足底圧力とは、用いたインソールセンサーの性質上、その表面に対して鉛直に作用した力である。実際には、鉛直成分以外の力もかかっていることが考えられるが、それらの力は鉛直成分の力に対してかなり小さなものであり、上記の大小関係が覆ることはないと考えられる。ただし今後は、ペダル角度やインソールセンサーの角度を考慮した検討も必要である。

3. 3つのこぎ方における脚の使い方の違い

図 9 では、1 と 2 の考察を受けて、前述のペダリング運動中の脚の使い方の違いについてモデル的に説明したものである。自転車の両ペダルはクランクの中心(ボトムブラケット)を挟んで、シーソーのような構造(管, 2018)になっていると考えられる(図 9 右)。

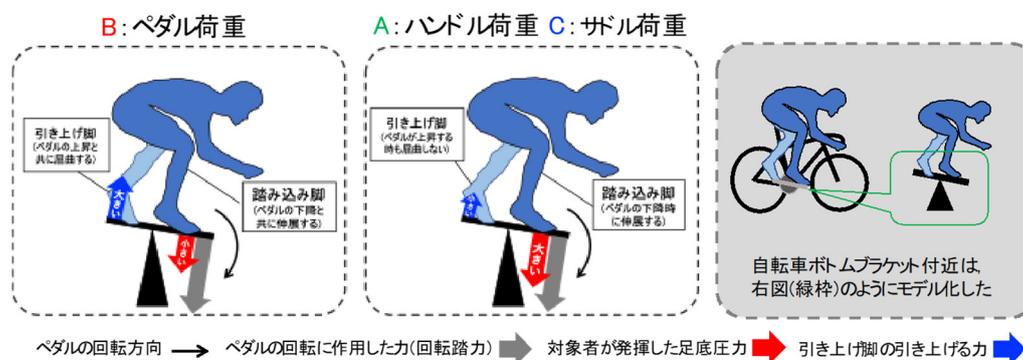


図 9. 3つのこぎ方における脚の使い方の違い

前記のように、最終的に出力された回転踏力を見た場合には、パワー及び回転数に違いが見受けられないことから、A、B、Cの外界への出力はほぼ同じである。ただしAとCのこぎ方では、ペダリング運動中に踏み込み脚でペダルの踏みつけを強調するものの、引き上げ脚の屈曲については意識することがないため、踏み込み脚の足底圧力がより高くなるような状態となっていると考えられる(図9中)。一方Bでは、踏み込み脚の伸展と同時に引き上げ脚の屈曲を意識しているため、踏み込み脚における足底圧力は軽減されたものと説明できる(図9左)。以上のことから、外界への出力パワーは同じであっても、Bの方がAやCに比べて無駄な出力が抑えられていることを可視化しているものと考えられる。

先行研究(Leirdal et al, 2011; 山口ほか, 2019)においても、Bのこぎ方で行うと、多段階運動において疲労困憊に達するまでの運動時間が長くなることや、最大下運動領域では酸素摂取量や機械的効率が高くなることを報告している。これらのことから、本研究のBのこぎ方はAやCと比べて、生理学的に負担の小さいこぎ方ができている可能性が考えられる。

V. 本研究の意義と今後の課題

本研究で実施した3つのこぎ方について、算出した4つの変数で表してみると、それぞれ異なる特徴を有していた。それらの特徴を図10にまとめると、Aでは、BやCと比較してフロントに多く荷重し、分布がBよりも幅広く、足底圧力が高いといえる。Bでは、AやCと比較して中央付近に荷重し、分布が最も狭く、足底圧力が小さいといえる。Cでは、AやBと比較してリアに多く荷重し、分布が最も幅広く、足底圧力が高いといえる。また対象者の内省報告と照合しても、本研究で客観的に可視化された変数は、荷重や脚の使い方、さらに自転車の振る舞いについて、対象者の主観情報とある程度の関連性を持っていることが窺えた。

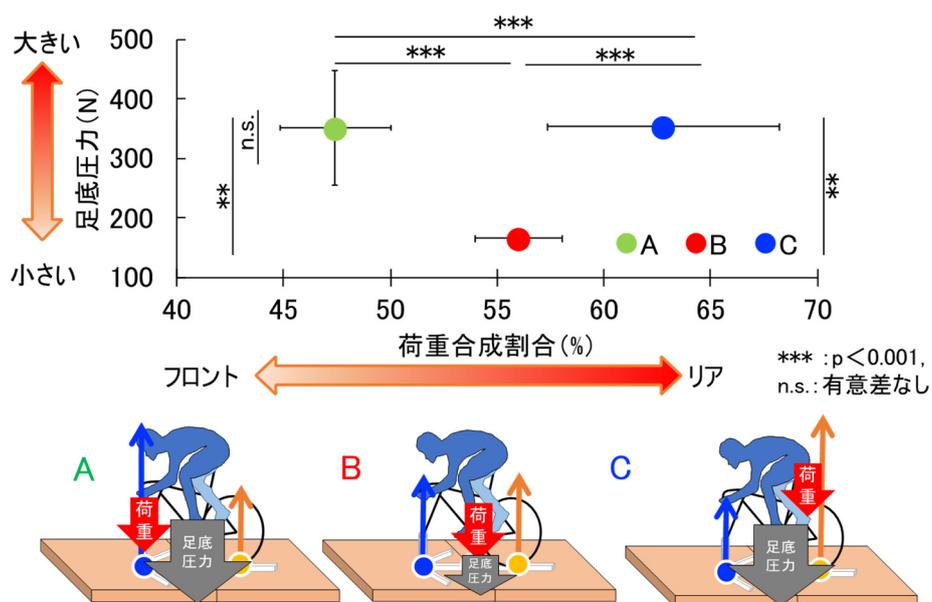


図10. 3つのこぎ方の特徴

上段に散布図、下段に概念図を示した

以上の結果をもとに指導現場での活用を考えると、次のことが言える。

上記の結果は、効率のよいこぎ方に関連する荷重と脚の使い方の違いを、客観的なデータで可視化できていることを示している。すなわち荷重については、荷重合成割合、荷重合成 COP、荷重合成割合や分布の尖度を定量化することで、こぎ方の違いを可視化できる。足底圧力については、最大値、最小値、平均値を定量化することで、こぎ方の違いを可視化できる。

このような性質を活用することで、指導者が対象者に効率のよいこぎ方を指導する際に、体重をペダル付近に荷重させて、ペダリング運動中の前後の移動性(ブレ)を抑えつつ、同様の運動強度においては、出来るだけ小さな足底圧力でペダリング運動をするように導くうえで有用な指標となる。すなわち、これらの指標を可視化してフィードバックしながら、指導者と競技者との間で客観的な情報を共有し、双方向型の意見交換をしながら改善に取り組むことができる。一方、全身運動の最終的な結果として得られる機械的効率を指標とする場合を考えると、このような指導は困難である。

今後の課題として以下の点があげられる。本研究では筆者 1 名のデータでの検討であったが、本稿で述べた内容が他の自転車競技者にも当てはまるかどうかの検証や、本研究で提案した可視化データを活用しながら、様々な競技者のこぎ方の改善につなげるための研究が必要である。また現在の所、本研究で用いた機材は競技現場において一般的なものではないが、本研究で用いた指標を評価できる簡易なツールが開発されれば、現場でも技能改善のための即時的なフィードバックが行えるようになること期待できる。なお本研究では、スポーツ用の自転車走行時の空気抵抗を考慮した「姿勢」についての検討はできなかったが、この視点からの検討も加えることで、より実走を想定したペダリング運動中の技能を評価できると考えられる。

VI. まとめ

スポーツ用の自転車における効率のよいペダリング技能を、自転車への「荷重」と「脚の使い方」を手がかりに、客観的な指標によって可視化できるかについて、自転車競技者 1 名を対象に検討した。こぎ方は 3 種類とし、最も効率のよいと考えられるこぎかた(B)と、それよりも効率の悪いと考えられる 2 種類のこぎかた(A, C)を比較検討した。その結果、荷重合成割合、荷重合成 COP、荷重合成割合の分布や尖度、足底圧力という 4 つの変数で表した場合に、3 つのこぎ方はそれぞれ異なる特徴を示すことが明らかとなった。したがって以上の変数を用いることで、効率のよいペダリング技能を客観的に可視化でき、技能改善のために活用できると考えられた。

注: 一般的な用語法では、「脚」は下肢(Leg)を、「足」は足部(Foot)を表す。ただし本研究で扱うペダリング運動では、ペダルを直接的に踏んでいるのは足部であるが、主要な力を発揮しているのは脚部であり、この部分の使い方の違いが足底圧力として可視化されていると考えられることから、「脚」という用語を用いて表現することとした。

付記: 本研究は、共同研究者 3 名で研究構想を練り、本論全体を責任著者 B(山本)の指導のもと筆頭著者 A(山口)がとりまとめた。筆者 C(金高)は研究法の検討と結果の論議(考察)に参加し、論文全体の推敲にも加わった。責任著者 B(山本)は、筆頭著者の研究指導を行うとともに、論文投稿に際して論文

全体に推敲を加え, さらに査読過程における論文修正に際しても総括及び編集委員との窓口として対応した. なお, 本研究の一部は第 30 回日本コーチング学会大会(2019 年: 東海大学)にて発表したものである.

文献

- ・ 淵本隆文(2004) 自転車競技における短距離選手の走行速度とパワー. バイオメカニクス研究, 8:52-55.
- ・ 星川秀利, 木村裕一, 玉木啓一, 藤本浩志, 中村好男, 村岡功(1993) ペダリング運動におけるスキル評価. バイオメカニクス学会誌, 17:173-182.
- ・ 水本篤, 竹内理(2010) 効果量と検定力分析入門-統計的検定を正しく使うために-. 2010 年度部会報告論集「より良い外国語教育のための方法」, pp 47-73.
- ・ 柿木克之(2012) 自転車競技のフィソロフィー. ベースボールマガジン社, pp 38-41.
- ・ Leiedal S and Ettema G (2011) Pedaling technique and energy cost in cycling. Med Sci Sports Exerc, 43: 701-705.
- ・ 管洋介(2018) 最強コーチが教えるロードバイクパワー&スキルアップ教本. 柊出版, pp 22-23.
- ・ 山口大貴, 黒川剛, 荒木就平, 金高宏文(2015) 自転車競技短距離種目において競技開始1年半で全国入賞した男子大学生の取り組み事例の分析: 自転車競技短距離種目の導入初期発達段階における技術戦術的トレーニングのポイントを探る. スポーツパフォーマンス研究, 7:300-319.
- ・ 山口大貴, 金高宏文, 黒川剛, 小森大輔, 永原隆, 近藤亮介(2017) 自転車競技における股関節漕ぎペダリングドリルの導入が一定パワー発揮時の実施感やペダリング動作及び回転踏力に及ぼす影響. スポーツパフォーマンス研究, 9:157-170.
- ・ 山口大貴, 金高宏文, 山本正嘉(2019) 自転車ペダリング運動における運動意識の違いが動作, 回転踏力, 生理応答および機械的効率に及ぼす影響-単一事例による検証-. スポーツパフォーマンス研究, 11:46-59.