

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

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 : 股関節こぎ, 膝関節こぎ, 荷重, クランクトルク, 呼吸ガス

【要 旨】

自転車競技の熟練者1名を対象に, 2種類の運動意識(AとB)でペダリングを行った際の, 動作, 回転踏力, 生理的応答, および機械的効率の違いについて比較検討した. 運動意識 A はペダル荷重をしながら股関節主動でこぐもの, B はサドル荷重をしながら膝関節主動でこぐもので, 後者は自転車競技の未熟練者に多くみられるこぎ方である. A と B とで多段階のペダリング運動を行った結果, A の方がオールアウト時間が 36 秒(4%)長かった. A は B と比べて, 負荷の増加に伴い骨盤を前傾させており, 足部や大腿部の動作範囲は小さく, 効率に優れた動作と考えられた. また, ロード競技の代表的な速度とされる 35km/h に相当する運動強度(250W)での回転踏力を分析したところ, A は B よりも変動が小さく, クランクに対してより有効に踏力を与えていると考えられた. 酸素摂取量は A の方が各負荷において約8%(1MET 相当)低く, 機械的効率は A が 24.5%, B が 22.7%で, A の方が 1.9%高値を示した. 以上のことから, 運動意識 A はバイオメカニクスのにも生理的にも効率に優れ, 特にロード競技においてはこの意識を活用することで高いパフォーマンスを発揮できると考えられた.

スポーツパフォーマンス研究, 11, 59-72, 2019 年, 受付日: 2018年8月 6 日, 受理日: 2019 年 2 月 8 日

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

* * * * *

Influence of the bicyclist's movement awareness when pedaling on motion, pedaling power, physical response, and mechanical efficiency: Examination with one bicyclist.

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

Key words: pedaling load on hip joint, pedaling load on knee joint, pedal load, crank torque, oxygen intake

[Abstract]

The present study examined differences in motion, pedaling power, physical response, and mechanical efficiency when pedaling when the bicyclist used one of two kinds of movement awareness. The participant was an expert bicycling racer. In movement awareness A, he put the pedaling load on his hip joint, whereas in movement awareness B, he kept his knee joint active while putting the load on the saddle. The latter movement is the typical pedaling method of bicycling beginners. After the participant performed various stages of pedaling motion, movement awareness A was found to have a 36-second longer all-out time (4%). In movement awareness A, compared to movement awareness B, his pelvis was bent farther forward, the range of movement of his legs and femoral region was smaller, and his motion efficiency was considered to be higher. An analysis of pedaling power at the motion intensity of 250 W, corresponding to 35 km/hr, showed that the variability of movement awareness A was smaller than that of movement awareness B, which indicated that power was transferred more effectively to the crank.

The participant's oxygen intake in movement awareness A was 8% (equivalent to 1MET) lower at each load. His mechanical efficiency was 24.5% in movement awareness A, and 22.7% in movement awareness B, i.e., his mechanical efficiency was 1.9% higher in movement awareness A. These results suggest that movement awareness A may be superior to movement awareness B biomechanically and physically, and might produce higher performance in road racing..

I. 研究目的

筆者は大学3年次から自転車競技を開始し、試行錯誤を繰り返しながらも、大学4年次には全日本学生対抗選手権で入賞することができた。このような短期間で著しい競技パフォーマンスの向上が得られた要因として、ペダリング時の運動意識を、競技開始時の大腿前面(主に大腿四頭筋)の使用感が強い「膝関節こぎ」から大腿後面(主に臀部)の使用感が強い「股関節こぎ」へと変更し、それを体得したことが大きな要因であると考えた。そこでその過程について、筆者自身を対象とした事例研究として本誌等に報告した(山口ほか, 2015a, 2015b)。

さらに、このような運動意識の違いがペダリング時の動作、および主観にどのように反映するのかを、8名の大学自転車競技者を対象として検討した。そこでは、大腿前面の疲労感を少なくする運動意識(以下、運動意識 A)を習得するために、①サドルやハンドルに乗りがちな体重をよりペダルの方に荷重すること、②股関節主動でペダルをこぐこと、の2点を意識させるような補助運動を行わせた。その結果、足関節や膝関節の動作範囲が有意に小さくなるなど、効率のよいとされる動作フォームに移行した。選手の内省でも「ペダルに対する体重のかけ方が変わり、以前はペダルが真下に来た時に踏んでいたが、高い位置から踏み込めるようになった」「ペダルを踏む感覚ではなく、体重を落としているだけの感覚になった」など、運動をより楽に実施できることを伺わせる回答を得た(山口ほか, 2017)。

以上の先行研究を考慮すると、ペダルに荷重の重点を置きつつ、股関節主動でペダリングを行う運動意識 A は、運動効率を高めている可能性が考えられる。しかし、これが生理的応答にどのように反映しているのかについては検証できていない。そこで本研究では、前記の研究を発展させることを目的として、筆者自身が運動意識 A と、競技開始時に用いていた意識(以下、運動意識 B)との2種類で、多段階負荷法によるペダリング運動を行った。そして、先行研究と同じく動作や回転踏力の比較検討を行うとともに、新たに生理応答も測定することにより、バイオメカニクスのおよび生理的な両面から効率の違いを検討することとした。

II. 研究方法

1. 対象者

対象者は、先行研究(山口ほか, 2015, 2017)と同じであり、男子の自転車競技経験者1名(筆者自身)である。対象者の年齢は 26 歳、身長は 170cm、体重は 73.2kg 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. ペダリング運動の方法

空気抵抗式の自転車エルゴメーター(Watt bike pro, 日本サイクス社)を用いて、日を改めて2つの異なるこぎ方の運動意識で、多段階のペダリング運動をオールアウトまで実施した。ウォーミングアップは、80W で3分間、100W で3分間のペダリング運動を行うとともに、準備体操も行わせた。

本番の運動では、1ステージを1分間として、150W から各ステージにつき 20W ずつ漸増させるように空気抵抗のレバーを操作した。対象者はできる限り、各ステージに定められるパワー発揮を行うように注意しながらペダリ

ング運動を行った。回転数は、常に 90rpm を維持するように指示した。オールアウトの定義は、90rpm の回転数が維持できなくなることに加え、指定の運動強度を維持できなくなった時点とした。

2種類の運動意識は、これまでの筆者らの報告(山口ほか, 2015, 2017)、および筆者の競技者と指導者の経験を基に、「ペダルへの荷重意識」と「脚の使い方」に着目して、以下のような2種類のこぎ方で行うこととした。このうち意識 A は、筆者が自転車競技の熟練過程で習得した効率がよいと考えているこぎ方である。また意識 B は、筆者が初心者期に用いていたこぎ方であるが、筆者だけではなく自転車競技の初心者や未熟練者にしばしばみられるものである。

運動意識 A: 「ペダル荷重×股関節主動」の運動意識 (動画1)

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」(以後、荷重と表記する)で記述した運動意識を用いて実施した。具体的には図1の上に示すように、ペダルの負荷が増加するとともにペダルへの荷重を増加させることや、脚の使い方として股関節の伸展屈曲を意識してこぐことが特徴である。

【こぎ方の運動意識】 = [ペダルへの荷重] × [脚の使い方]

運動意識A = × 股関節主動



負荷の変化に対応しペダル荷重

運動意識B = × 膝関節主動



サドルやハンドルに多く荷重

図1. 運動意識AとBのペダリング方法の違い (山口ほか, 2015, 2017)をもとに作成)

Aは筆者が体得した良いこぎ方, Bは筆者を含めて初心者に多くみられるこぎ方

運動意識 B: 「ハンドル・サドル荷重×膝関節主動」の運動意識 (動画2)

山口ほか(2015)の先行研究における「無知・がむしゃら期」で記述した運動意識を再現して実施した。図 1 の下に示すように、ペダルへの荷重が少なく、ハンドルやサドルにより荷重の重点を置いていることや、脚の使い方としては膝関節の伸展を意識してこぐことが特徴である。

3. 測定項目

ペダリング動作, 回転踏力

ペダリング動作は、モーションセンサーデバイス(Type-R, Leomo 社)を用いて、対象者の仙骨、左右の大腿部、左右の足部の身体5カ所にセンサーを取り付けた。各ステージにおけるペダリング動作では各変数を対象に、1ステージ(1分間)毎に分析した。サンプリング周波数は1Hzであった。分析は左右について行ったが、両者ともに似た傾向を示したため、結果では右脚のみのデータを示すこととした。図2は、Leomo 社の HP を参考に(<https://www.leomo.io>)、モーションセンサーデバイスより得られるデータ項目の定義を示した。分析対象となった各変数は、骨盤の前傾角度、大腿動作範囲、足部動作範囲であった。

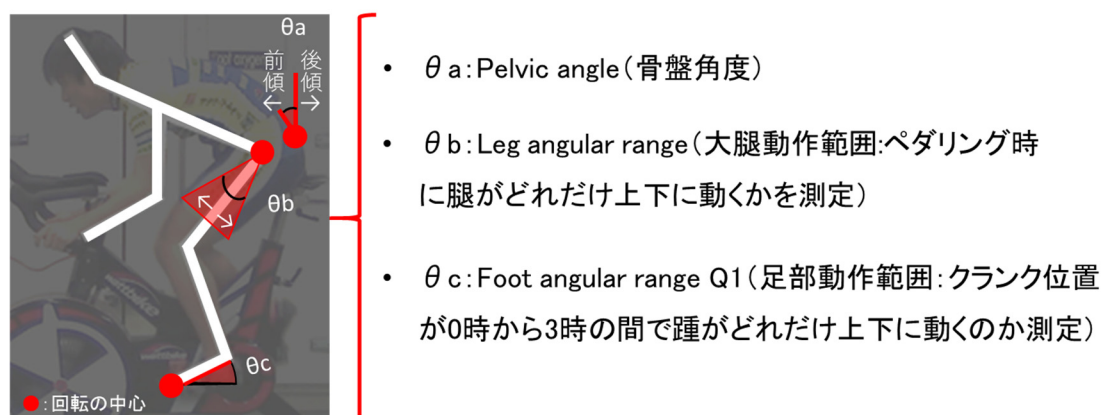


図2. モーションセンサーデバイスによるデータ項目の定義

回転踏力は、自転車エルゴメーターソフト(Watt bike export)により左右半回転分(ペダル位置 0-180deg)のデータを得ることが出来る。分析は、250W 時の1ステージ(1分間)中の回転数が安定した 10 回転分を採用した。なお 250W というパワーは、主にロードレースで利用される代表的な負荷であることから選んだものである(柿木, 2012)。分析はペダリング動作と同様に左右について行ったが、両者とも似た傾向を示したため、結果では右脚のみのデータを示すこととした。

生理的応答

運動中の心拍数(HR)を、サイクルコンピューター(Edge 520J, ガーミン社)を用いて1分毎に確認した。血中乳酸値(La)は、乳酸分析器(ラクテートプロ, アークレイ社)を用いて運動開始前と運動終了直後に収集した。

運動中の呼気ガスを、呼気ガス分析装置(エアロモニタ, ミナト医科学)を用いて breath by breath 法を用いて 20 秒毎に収集した。得られたデータは、1ステージ(1分間)毎に平均し比較した。分析対象とした変数は、酸素摂取量($\dot{V}O_2$)、呼吸数(RR)、換気量($\dot{V}E$)、呼吸商(RQ)であった。また $\dot{V}O_2$ の最高値を最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)とした。 $\dot{V}O_{2max}$ の出現時には、 $\dot{V}O_2$ がレベルオフしており、山地(1992)が示した $\dot{V}O_{2max}$ 出現の基準である、① HR は 194bpm 以上、② La は 10mmol/l 以上、③ 主観的運動強度(RPE)は 19 以上、④ RQ は 1.0~1.5 を参考にしたが、本研究では①, ②, ④を満たしていた。

機械的効率の定義と求め方

機械的効率は, $\text{Gross efficiency (GE)} = \text{外的な仕事量(Kcal)} / \text{エネルギー消費量(Kcal)}$ を求め, 1分毎に比較した(浅見ほか, 1976). 外的な仕事量は, 運動意識AとBの各ステージ毎に発揮パワーを基に, $1\text{ワット(W)} = 0.01433\text{Kcal/分}$ の式を用いて求めた. エネルギー消費量は, $\text{酸素摂取量(ml/kg}\cdot\text{min)} \times \text{体重(kg)} \times 1\text{L}$ の摂取量あたりの Kcal 値を用いて求めた(Katch et al, 2017).

4. 統計

運動意識AとBの各変数を比較する際, パフォーマンスおよびペダリング動作は, 1ステージ(1分間)毎に得られたデータを採用した. 回転踏力は, 250W 時の回転数が安定した 10 回転分を採用した. 平均値(Mean)と標準偏差(SD)を求めた上で, 対応のない t 検定を用いて検討した. 有意水準は5%未満とした. 生理応答については, 20 秒毎に得られたデータを1ステージ1分ごとの値に換算した上で比較した.

III. 結果

1. パフォーマンスの比較

多段階負荷のペダリング運動を行った際のオールアウト時間(時間)は, A が 10 分 36 秒, B は 10 分 00 秒で, A の方が 36 秒間(+4%)長く運動を遂行できた.

2. 動作の比較

図3a は, 運動意識 A と B の各ステージ毎の骨盤の角度を示したものである. 運動強度が低い領域(150-170W)では, A は B と比べて有意に骨盤角度を後傾していたが, 強度が上がるにつれて逆転し, 高強度の領域(250-290W)では有意に前傾していた. その結果として, 全ステージでの平均値を比べた場合には有意差はみられなかった.

図3b は同様に, 各ステージでのペダル 1 回転中(0-360deg)の大腿の動作範囲を, 右脚について示したものである. A は B よりも動作範囲が小さく, 全ステージの平均値でも A の方は動作範囲が有意に小さかった.

図3c は, 各ステージでのペダル 1/4 回転中(0-90deg)の足部動作範囲を, 右足について示したものである. A は B と比較して, オールアウト時(330W)を除く全ステージで有意に底屈していた. 加えて A の方が動作範囲は小さかった. 全ステージの平均値で比較しても, A の方が動作範囲は有意に小さかった.

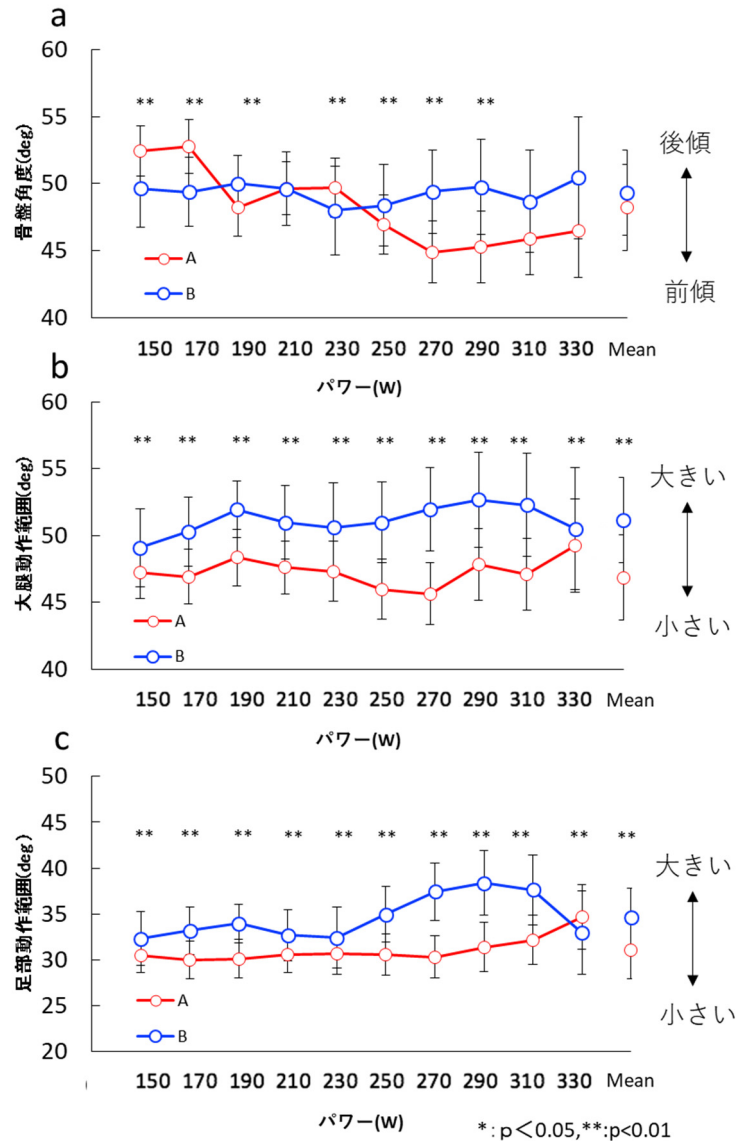


図3. 運動意識 A と B のペダリング動作の比較
大腿および足部動作範囲はいずれも右脚の値を示している

3. 回転踏力の比較

図4は、6ステージ目 (250W 時) における運動意識 A と B の回転踏力を比較したものである。A では約 0-32deg と 168-176deg で有意に高値を示したが、64-104deg では逆に有意に低値を示し、A の方が回転踏力の変動幅が小さかった。A の回転踏力は、平均踏力トルクと最小踏力との差が小さかった。ただし、全領域の平均踏力を算出してみると、A と B で有意差は見られなかった。加えて、A と B の回転踏力の最大値と最小値(矢印の部分)についても求めたところ、最大値については $B > A$ 、最小値については $A > B$ という関係が見られ、いずれにも有意差が認められた。

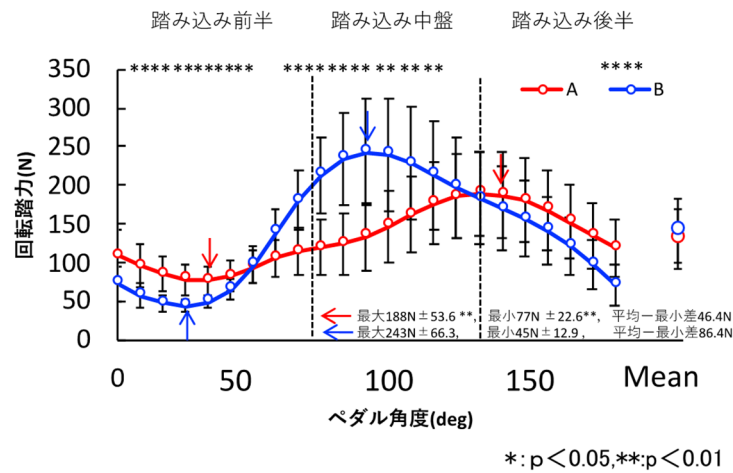
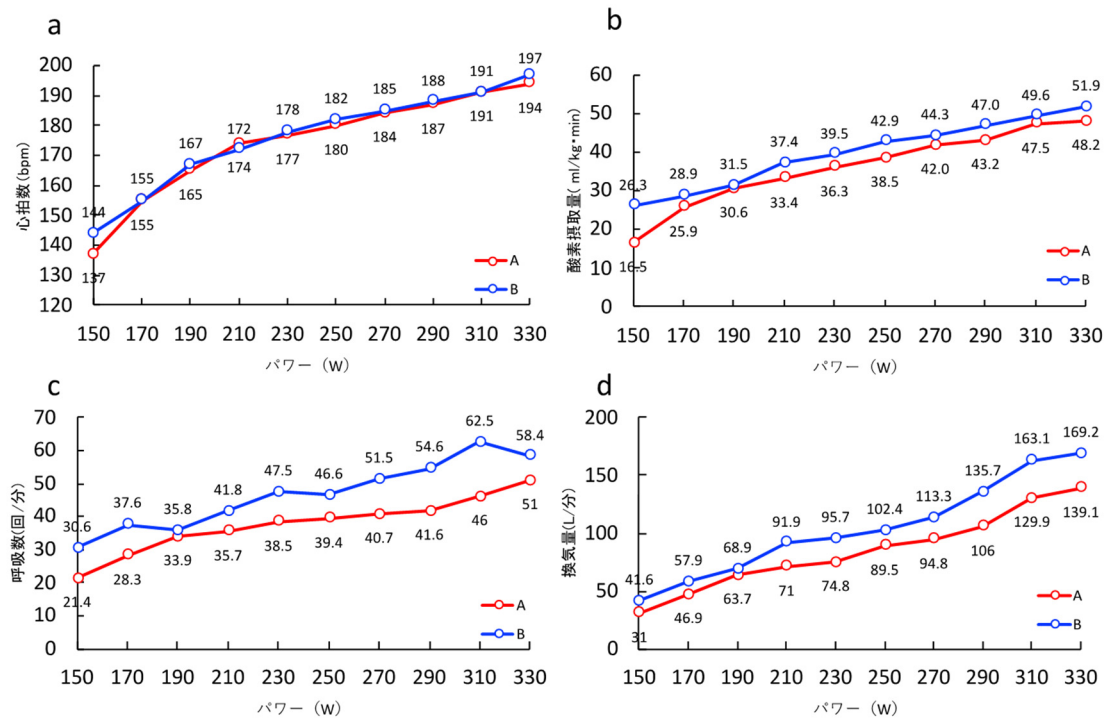


図4. 6ステージ目(250W)における運動意識AとBの回転踏力の比較
左右で類似した傾向を示したため、右脚のデータを採用した

4. 生理応答および機械的効率の比較

図5は、各ステージでの HR, $\dot{V}O_2$, RR, $\dot{V}E$ を比較したものである。HR については(a), A と B の差は 150W 時を除くと3拍以内であり、ほぼ同等の値を示した。 $\dot{V}O_2$ (b), RR(c), $\dot{V}E$ (d)については、全ステージを通して A の方が低値を示した。210W 以上の負荷での平均値を求めると、 $\dot{V}O_2$ では 3.4ml(8%)程度, RR では 10 回/分(19%), $\dot{V}E$ では 24L/分(19%)A の方が低値を示した。



※図中の数値データについては、○は下○は上に表記

図5. 運動意識AとBでペダリングを行った際の生理応答の比較

なお図には示していないが、 $\dot{V}O_2\max$ は A が 51.0ml/kg・min, B が 51.9ml/kg・min であり、その差は小さかった。RQ についても、ほぼ全ステージで A と B の差は 0.05 以内であり、大きな差は認められなかった。運動後の La は、A が 16.8mM, B が 15.6mM であり、A の方がやや高値を示した。

図6は、機械的効率を示したものである。A の方が全ステージを通じて高かった。1ステージ目の A の値は、外れ値と判断し2-10ステージの値を比較した。ステージ毎の平均を比較すると、A が 24.5%, B が 22.7%であり、A の方が 1.9%高値を示した。

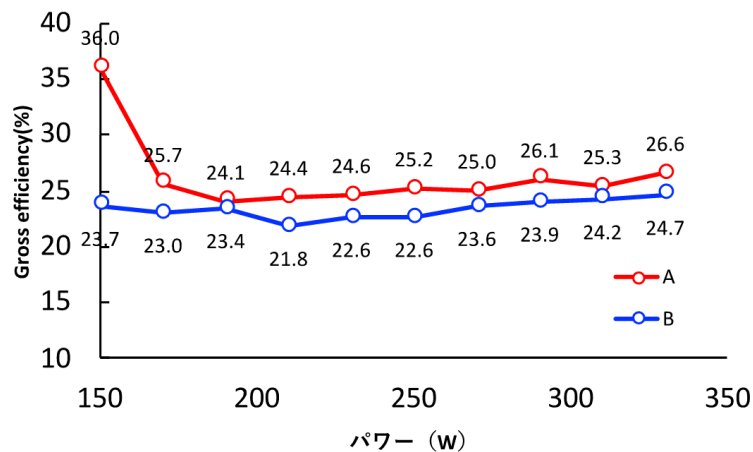


図6．運動意識 A と B でペダリングをした際の機械的効率の比較

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、熟練の過程で習得した効率のよいと考えられるこぎ方(運動意識 A:ペダルに荷重しながら股関節主動でこぐ意識)と、競技開始時に用いていた効率の悪いと考えられるこぎ方(運動意識 B:サドルに荷重しながら膝関節主動でこぐ意識)とで、多段階のペダリング運動を行った。そしてパフォーマンス、ペダリング動作、回転踏力、生理応答、機械的効率を比較した結果、いずれにも差が見られた。

1. パフォーマンスの比較

運動意識 A のオールアウト時間は B よりも 36 秒間(+4%)長かった。したがって、本対象者が競技者として熟練していく過程で身につけた A というペダリングの運動意識(山口ほか, 2015a)は、高いパフォーマンスを引き出せることが数値で確認できた。

筆者らの先行研究(2017)では、自転車競技の短、中、長距離を専門とする男子選手8名を対象に、対象者が普段行っているオリジナルのこぎ方と、運動意識 A のこぎ方に近づけるための補助運動を介入した後について 300W の運動強度で比較検討した。この強度は、時速 40-45km/h を出すために必要とされるパワーで、対象者の普段のトレーニングでよく利用されていた負荷である。その結果、介入後には各対象者とも運動意識 A に近いこぎ方ができるようになったが、オリジナルのこぎ方よりも下肢関節の動作範囲が小さくなっていた。クランク長で足

の軌道が制限されているペダリング運動においては、下肢の動作範囲が小さいことは内的仕事量が小さく、運動効率を良くする要因になると考えられた。

一方、本研究では 150W から 330W までの幅広い領域で、多段階負荷のペダリング運動を行ったが、運動意識 A の方が下肢関節の動作範囲や、回転踏力の変動が小さいことが確認できた。これは山口ほか(2017)と同様に、A の方が効率のよい動作を行っていることを示唆する結果といえる。加えて本研究では、全ステージを通じて酸素摂取量が少ないことや、機械的効率が高いという結果も得られた。これらのことを考えると、A のこぎ方では運動の強度にかかわらず機械的効率が高く、その結果としてオールアウト時間も長くなると説明できる。

また本研究では、効率のよいペダリング運動を長時間持続しなければならないロード競技を想定し、その代表的な負荷とされる 230-270W の範囲の平均値である 250W の様相について比較検討した(表1)。これは、自転車競技ロードレースにおいて頻繁に発揮される範囲のパワーであることから(柿木, 2012)採用した。その結果、各変数の値は A の方が効率がよいことを窺わせる結果であり、機械的な効率も A の方が高かった。したがって A という運動意識は、ロード種目のパフォーマンス向上に有益であると考えられる。以下に、A と B の機械的効率やパフォーマンスの違いが、どのような要因によって生じているのかを考察する。

表1. 250W 付近の運動強度における各変数の比較
230W, 250W, および 270W の3ステージの平均値で表示している

	変数	運動意識A	運動意識B	A-B(差)	A-B(%)
ペダリング動作	骨盤角度(deg)	47 ± 2	49 ± 1**	-1.4	-3
	足部動作範囲(deg)	31 ± 2	35 ± 3**	-4.4	-13
	大腿動作範囲(deg)	46 ± 2	46 ± 2**	-4.9	-10
回転踏力	最大値(N)	204 ± 58	247 ± 70**	-41.6	-17
	最小値(N)	74 ± 22	38 ± 12**	36.2	95
	平均値(N)	138 ± 39	142 ± 42 n.s.	-3.7	-3
生理応答	心拍数(bpm)	180 ± 4	182 ± 4	-1.4	-1
	酸素摂取量(ml/kg/分)	39 ± 3	42 ± 2	-4.7	-8
	呼吸数(回/分)	40 ± 1	49 ± 3	-9	-11
	換気量(L/分)	86 ± 10	104 ± 9	-17.4	-17
運動効率	Gross efficiency(%)	24.9 ± 0.3	22.9 ± 0.6	2	9

*:p<0.05,**:p<0.01,n.s.:有意差なし

2. ペダリング動作の比較

図3aを見ると、運動強度が低い領域では骨盤角度は運動意識 A の方が B よりも大きく、骨盤を後傾させていた。しかし、運動強度が上がるにつれてこの関係は逆転し、運動後半では A の方が B よりも骨盤を前傾させていた。したがって A では、運動強度の上昇と共に骨盤(上半身)を徐々に前傾させていくことが特徴といえる。このことは動画2からも窺える。その際の対象者(筆者自身)の意識としては、運動強度の増加に伴い、自身の体重をペダルにより多く乗せる(荷重する)ために、上半身をより前傾するように心がけていた。

図3bを見ると、大腿部の動作範囲は全ステージで A の方が小さかった。ペダリング運動では、ペダルとシューズが固定され、ボトムブラケットを中心にペダルの円運動が行われる。A のように大腿の動作範囲が小さいこ

とは、シューズの固定によって足の軌道が決められている運動の中では、脚の動きの無駄が小さいと考えられる。一方で、B のように動作範囲が大きいことは、ペダリング運動を行う上で必要以上の動きを行っていることになると考えられる。

図3cを見ると、オールアウト時の運動強度(330W)を除く全ステージにおいて、A は B よりも足関節の動作範囲が小さかった。赤羽ほか(2004)は、足部を底屈位にすることで RPE が小さくなると報告している。赤羽ほか(2003)はまた、足関節を固定することで股関節の伸展角速度が増加し、股関節による仕事が増加傾向を示したとも報告している。

以上を考慮すると、ペダルの位置 0-90deg の間で動作範囲が小さい A は、B よりも足関節をより固定させており、より大きな底屈位を保ちながらペダリング運動を実施していることが窺えた。その結果として、A は股関節をより大きな割合で利用することになり、主観的な努力度をより低い状態に保って運動ができると考えられた。

3. 回転踏力の比較

図4は、自転車競技のロードレースにおいて、レースの代表的な時速とされる 35km/h に相当する運動強度である 250W 時における回転踏力について比較したものである。運動意識 A は B に対して、踏み込み期前半では有意に高値を、中盤では低値を、そして後半では再び高値を示した。そして A の回転踏力は、平均踏力トルクと最小踏力との差が小さかった。

レベルの高い競技者の回転踏力について検討した Leirdal et al(2011)の報告では、平均踏力トルクと最小踏力との差が小さいことを指摘し、そのようなこぎ方はエネルギー効率が高いことを示唆している。この知見を踏まえると、A は B と比較すると、レベルの高い競技者のこぎ方に類似していると考えられる。

4. 生理的応答および機械的効率の比較

図5a を見ると、HR については運動強度によらず、運動意識 A と B との間ではほとんど差が見られなかった。一方、図5b の 210W 以上の運動強度での $\dot{V}O_2$ を見ると、A の方が平均で 3.4ml(8%) 低い値で運動を行っていた。これはほぼ 1MET の差に相当する。たとえば 250W 時の酸素摂取量について見ると、A が 38.5ml(11METS)、B が 42.9(12.2METS)であった。図5a のデータから求めた回帰式を基に同等の酸素摂取量時のパワーを算出すると、運動意識 A の回帰式は $y=0.16x-2.11(r=0.97)$ 、B の回帰式は $y=0.15x-5.24(r=0.99)$ であったことから、両試技間の差は 27.6W(150-330W の全ステージの平均値は 18.5W)となる。したがって、A は B に比べて運動効率が高いこぎ方といえる。

図5c,d の結果を見ても、全てのステージを通して A は B よりも低値を示しており、運動効率がよいことが窺える。B において RR や $\dot{V}E$ がより高値を示した要因として、対象者(筆者)の内省感覚では速くて浅いあえぎ呼吸となっており、ガス交換に有効な換気量が減少していると考えられた(勝田ほか, 2015)。

機械的効率については、1ステージ目の A の値は外れ値と判断し、2-10 ステージの値の平均値と比較すると、A が 24.5%、B が 22.7%であり、A の方が 1.9%高値を示した(図6)。先行研究を見ると、Dickinson(1929)は自転車エルゴメーターを用いてペダリングの速度や負荷を様々に変えた時の機械的効率を求め、最大で 21.5%という値を報告している。また korff et al(2007)は、①選手が普段から行っているこぎ方(Preferred)、②円を描く意識を

強調したこぎ方(Circling), ③引き上げる意識を強調したこぎ方(Pulling), ④踏み込む意識を強調したこぎ方(Pushing)の4種類について, 力の伝達効率(index of force effectiveness:IFE)と機械的効率について報告している。その結果, ③では IFE は高くなるが機械的効率は約 19%と最も低値を示すことや, 機械的な効率が最も高かったのは①で約 20.5%を示したと報告している。

これら2つの先行研究では, 自転車エルゴメーターを用いた機械的効率は 19-22%程度の範囲と報告していることになる。一方, 本研究では B が 22.7%, A が 24.5%であった。したがって, B の値は先行研究の値に比較的近いが, A はかなり大きな値を示しているといえ, 効率の高い運動が行われていたことが窺える。

本研究で用いた運動意識 A は, 下肢関節の動作範囲が小さくペダリング動作を行う上では無駄のないものであったことに加えて, 酸素摂取量は低く, 機械的効率が高かった。前述の先行研究と, 本研究との間にみられる違いについての説明としては, 以下のように考えられる。

korff et al(2007)の先行研究では, 脚を引き上げる意識は持っているものの, ペダルに対して荷重を強調する意識はない。このため, 引き上げ動作によって IFE は高まる反面で, エネルギー消費が大きくなり, 疲労感が高くなっている可能性がある。本研究では, 脚の引き上げについては特に意識はしていないが, ペダルに荷重する意識を重視することで, 効率を高めている可能性がある。

以上のことを受けて, 下肢関節の動作範囲を小さく無駄のないペダリングをしながら, 酸素摂取量を低く抑え, 機械的効率を高める条件として, 対象者(筆者自身)の内省感覚も踏まえて言うと, ①運動強度の増加に応じてペダルへの荷重を徐々に増加させていくこと, ②ペダルが下降する局面では, 体重を活用しながらペダルに荷重をすること, ③ペダルが上昇する局面では, 脚の引き上げはそれほど強調する必要はないが, ペダルの上昇を阻害しないように脚を自然に屈曲すること, の3点を意識することが重要と考えられる。

5. 今後の課題

以上をまとめると, 本対象者が競技力を向上させる過程で身につけた運動意識 A は, 競技開始時に用いていた B の意識と比較して, 下肢関節の動作範囲が小さく, 無駄の少ないペダリング動作であると考えられた。その結果として, 酸素摂取量が小さくなるとともに機械的効率が高まり, オールアウト時間も増大すると考えられた。表1に示したように, 250W というロード競技における代表的な運動強度でかなり明瞭な差が見られることから, 運動意識 A はロード競技で高いパフォーマンスを発揮する上で有効活用できると考えられる。

今後の課題としては, 以下の諸点があげられる。A という運動意識のポイントとして, 脚の使い方に加えてペダルへの「荷重」も重要であることが本研究から示唆された。しかし, 本研究ではこの点については検討を行っていないので, 今後の検討が必要である。また, A と B とで心拍数はほぼ同等であったが, 酸素摂取量は A の方が小さかった(図5, 図6, 表1)。一般的に, 同じ対象者が同じ運動を行った場合には心拍数と酸素摂取量とはほぼ同じ値を示すとされてきたが(山地, 1981), 本研究の場合にはこの関係が成立していない。この要因は A と B の動作の違いに起因すると考えられるが, その生理的な背景については不明であり今後の検討が必要である。

また本研究は1名の事例による検証である。したがって今後は, 他の複数の競技者がこの運動意識を習得した場合に, 本研究と同様の効果が得られるのかを検証することが必要である。その際に, 本対象者が得た A と

いう運動意識を, 各競技者が自身のコツやカンとして習得できるような指導のポイント(金子, 2015)を提示できるようにする必要もある. これらを明らかにしていくことで, 本対象者の一事例から発展させて, 他の競技者が高度な運動意識のこぎ方を習得するための実践知や指導法を, エビデンスに基づいて提案できると考えられる.

V. まとめ

自転車競技に熟練した1名の競技者が, 熟練の過程で身につけた効率のよいと考えられるこぎ方(運動意識 A)と, 競技開始時に用いていた効率の悪いと考えられるこぎ方(運動意識 B)という, 2つの異なるこぎ方で多段階のペダリング運動を行った. そして運動パフォーマンス, ペダリング動作, 回転踏力, 生理応答, 機械的効率にどのような差が見られるかを検証した.

その結果, オールアウト時間は A の方が4%(36 秒)長かった. また A の動作は B と比べて, 運動強度の増加に伴い骨盤を前傾させていく様子が窺え, 大腿部や足部の動作範囲は小さかった. ロード競技の代表的な速度とされる 35m/h に相当する運動強度(250W)での回転踏力を比べたところ, A の方が変動の範囲が小さかった. 生理応答について見ると, 同じ運動強度での酸素摂取量は A の方が8%(1MET)程度少なく, 機械的効率は A の方が 1.9%高かった.

以上の結果から, 運動意識 A は B と比べてバイオメカニクスのにも生理的にも効率に優れ, 特にロード競技におけるパフォーマンス向上に寄与できる可能性が考えられた.

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.

文献

- ・ 赤羽秀徳, 青木和夫, 星川秀利(2003)ペダリング動作時の足関節固定が下肢の運動機能に及ぼす影響. 人間工学, 39:169-179.
- ・ 赤羽秀徳, 青木和夫, 星川秀利(2004)ペダリング動作時の足関節底屈・背屈運動の違いが自覚的運動強度に及ぼす影響. 人間工学, 40:115-124.
- ・ 浅見俊雄, 石井喜八, 宮下充正, 浅見高明, 小林寛道(1976)身体運動学概論. 大修館書店, 東京, pp 309-311.
- ・ Dickinson S(1929) The efficiency of bicycle pedalling as affected by speed and load. J. Physiol, 67:242-255.
- ・ 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の評価. バイオメカニズム学会誌, 17:173-182.
- ・ 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, 東京, pp 38-41.
- ・ 金子明友(2015)運動感覚の深層. 明和出版, 東京, pp 48-49.
- ・ 勝田茂, 征矢英昭(2015)運動生理学 20 講第(3版). 朝倉書店, 東京, p 58.

- Koff T, Romer LM, Mayhew I and Martin JC (2007) Effect of pedaling technique on mechanical effectiveness and efficiency in cyclist. *Med Sci Sports Exerc*, 39:991-996.
- Leiedal S and Ettema G (2011) Pedaling technique and energy cost in cycling. *Med Sci Sports Exerc*, 43:701-705.
- Katch V, Mcardle W and Katch F (2017) 運動生理学大事典. 西村書店, 東京, pp 216-225.
- 山地啓司 (1981) 心拍数の科学. 大修館書店, 東京, p 72.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 東京, p 15.
- 山口大貴, 黒川剛, 荒木就平, 金高宏文 (2015a) 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, 黒川剛, 金高宏文 (2015b) 自転車競技のペダリングにおける運動意識の違いはペダリング動作及び簡易的ペダル踏力にどのような影響を及ぼすか: ある大学自転車競技者が行った膝関節漕ぎと股関節漕ぎを意識した試技を手がかりに. 第1回日本スポーツパフォーマンス学会大会, 東京.
- 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.