

<研究論文>

# 自転車競技選手が登坂走行を想定した室内ローラー練習を行った際のペダリング動作の特性

成海大地<sup>1)</sup>, 山口大貴<sup>2)</sup>, 山本正嘉<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>鹿屋体育大学体育学部

<sup>2)</sup>鹿屋体育大学大学院

<sup>3)</sup>鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

## I. 研究目的

自転車競技選手がトレーニングを行う場合、天候や交通状況の都合などから、戸外でのロード走行の代わりに室内で、ローラー台と呼ばれるトレーニング機器を用いて行うことがある。一般的には水平な状態にセットして、平地を想定したトレーニングを行うが、選手によっては登坂走行を意識し、ローラー台に勾配をつけて練習を行うことで、生理的な負担度が増すと考えて実施している者もいる。

ローラー台に関する研究として、谷本ら<sup>4)</sup>は、異なるタイプのローラー台を用いた室内走行と戸外での実走とを比較した結果、下肢3関節のペダリング動作に有意差は見受けられたが、筋放電量は同等であったと報告している。ただし、この研究は平地での走行を想定したものであり、ローラー台に勾配をつけて使用した際に、生理応答や動作がどのような特性を示すかについて検討した研究は見られない。

そこで本研究では、ローラー台を用いて、①平坦、②緩斜面、③急斜面の3条件で多段階負荷運動を行った。また戸外でも、①、②、③の3条件で登坂走行を行った。そしてこれら6条件を比較して、どのような特性があるかを検討することとした。なお、あらかじめ行った予備実験の結果から、ローラー台に勾配をつけた場合でも、生理的な負担度については影響を受けないことが確認されたため、本研究ではペダリング動作への影響に主眼を置いて研究を行った。

## II. 研究方法

### A) 予備実験

予備実験として、長距離種目を専門とする大学男子自転車競技者1名(競技歴10年)が、ローラー台を用いて平坦、緩斜面(勾配7%)、急斜面(勾配14%)の3条件で勾配を設定し、1ステージを3分間とした多段階漸増負荷運動を行い、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )、呼吸数(RR)、換気量( $\dot{V}E$ )、呼吸商(RQ)、心拍数(HR)、血中乳酸濃度(La)、脚と心肺での主観的運動強度(RPE)を測定した(図1)。

図2は $\dot{V}O_2$ の結果について示したものである。3条件間で値はほぼ同等か、もしくは勾配をつけた条件の方がやや低値を示した。図には示さないが、その他の指標についても同様の傾向であり、上り勾配をつけることで生理的な負担度が大きくなるという傾向は認められなかった。この結果を受けて、本研究では生理的な負担度ではなく、ペダリング動作に主眼を置き、勾配をつけた条件と平らな条件とで、その特性を比較することとした。



図1. 予備実験の様子

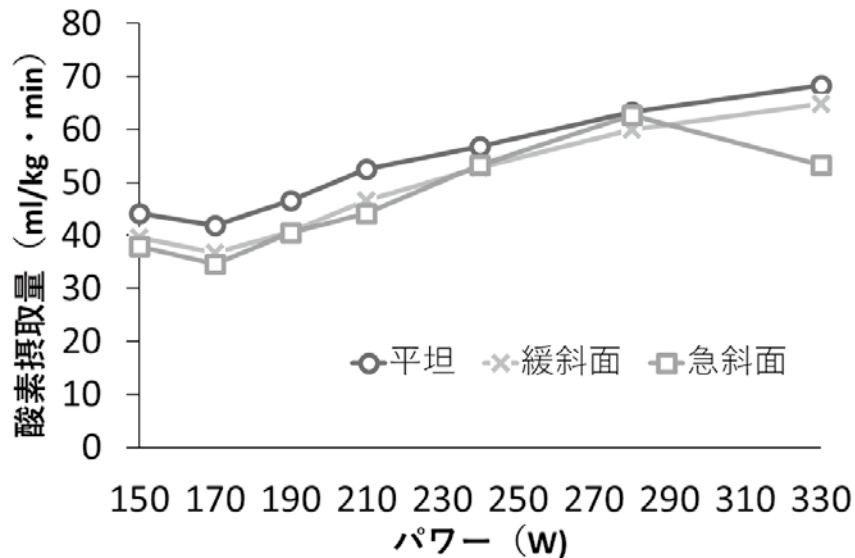


図2. 室内条件で3種類の傾斜で多段階運動を行った際の酸素摂取量  
1名の対象者のデータを示している

## B) 対象者

対象者は、長距離種目を専門とする大学男子自転車競技者7名（身長 $170.5 \pm 6.5$ 、体重 $62.5 \text{kg} \pm 5.5$ ）で、競技歴は $9 \pm 6$ 年であった。対象者にはあらかじめ研究の目的、方法、実験に伴う危険性を説明し、参加への同意を得た。

## C) 実験手順

室内と実走それぞれについて、①平坦、②緩斜面（勾配7%）、③急斜面（勾配14%）の3条件で測定を行い比較検討した。室内条件では、前輪を取り外してフォークを固定するタイプのローラー台（GT-Roller Flex3, Growtac社）を使用した。実走条件では、上記に記述した3条件に類似した一般公道で実施した。

ローラー台で勾配を付けるために、その前脚部に高さ10cmの台を敷いた。勾配の角度の算出は、自転車の前輪車軸と後輪車軸を一直線に結んだ線を基底面とし、生じる前輪車軸の高さを三角関数にて算出した。1ステージを1分とし、ローラー台と自転車のギア比に基づいて、150Wから210Wまでは各ステージにつき20Wずつ、210W以降は+30W、+40Wと漸増させ、7ステージ目の330Wに達するまで

各段階での測定を行った。分析区間は1分間の試技の内、回転数の安定した30秒間とした。

実走実験では、室内条件と対応するよう、①平坦、②緩斜面（平均勾配7%）、③急斜面（平均勾配14%）のコースを設定し、各条件で1分間の反復走行を7試技ずつ計21試技を行った。その際、パワーを室内条件と統一するため、対象者毎にギア比を選択した。分析区間は室内同様、1分間走行した際の回転数が安定した30秒間とした。

室内と実走の両条件の回転数は、電子音に合わせて70rpmを維持するよう指示した。実走条件の低負荷時（150–210W）では、指定した回転数よりも低い値を示した場合、自転車のギア比を落とし、指定されたパワーに近づけるように指示した。

## D) 測定項目

室内ローラーおよび実走のペダリング動作は、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、左右の足部の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）の内、回転数が安定した30秒毎に分析した。サンプリング周波数は1 Hzであった。

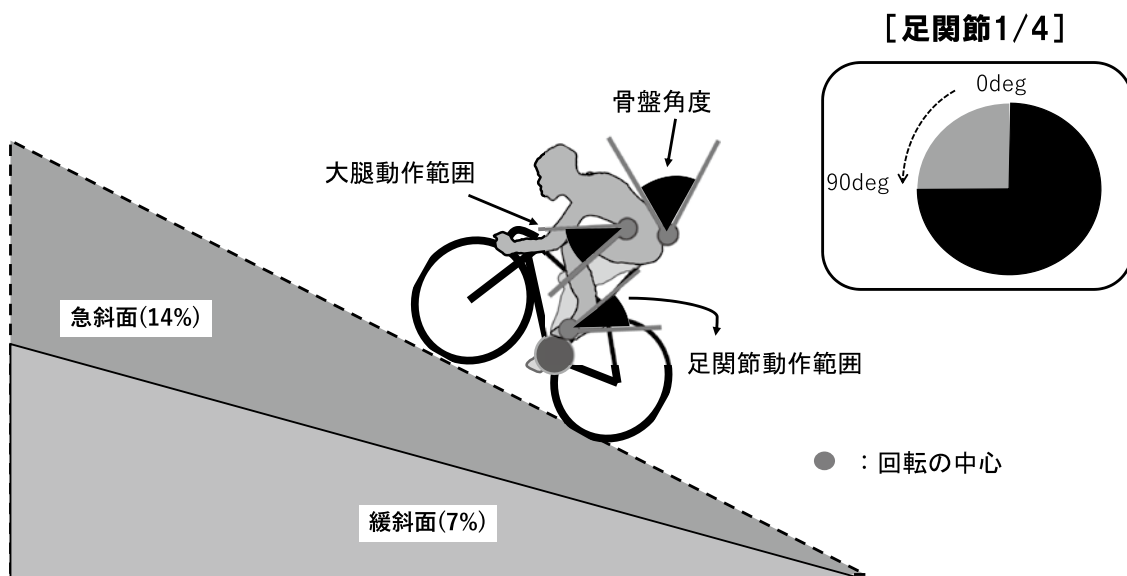


図3. データの分析項目

表1. 室内および実走で3種類の傾斜で運動を行った際のパワーと回転数

平坦 パワー (W)								平坦 回転数 (rpm)							
室内				実走				室内				実走			
W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差	W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差
150	153.3	5.8		153.0	10.9	0.96	n.s.	150	70.0	1.7		71.0	2.0	0.07	n.s.
170	172.7	3.0		167.4	6.8	0.21	n.s.	170	69.9	1.8		70.7	2.8	0.48	n.s.
190	190.9	2.1		186.6	5.9	0.17	n.s.	190	69.0	1.8		71.0	2.4	0.26	n.s.
210	211.5	1.5		206.4	10.3	0.33	n.s.	210	67.9	2.1		70.8	1.5	0.05	n.s.
240	241.7	1.4		242.1	5.3	0.86	n.s.	240	67.7	2.2		72.6	4.3	0.11	n.s.
280	281.0	3.8		271.8	11.4	0.10	n.s.	280	68.6	1.3		72.3	4.5	0.13	n.s.
330	326.0	12.1		329.5	4.4	0.33	n.s.	330	69.8	0.8		70.5	2.4	0.51	n.s.
緩斜面 パワー (W)								緩斜面 回転数 (rpm)							
室内				実走				室内				実走			
W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差	W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差
150	150.7	4.4		152.9	4.2	0.62	n.s.	150	69.8	1.9		52.8	15.7	0.04	*
170	171.0	1.4		170.0	5.2	0.30	n.s.	170	70.3	1.6		55.7	12.0	0.02	*
190	189.8	3.1		190.6	3.4	0.40	n.s.	190	68.9	1.0		61.4	11.6	0.15	n.s.
210	212.0	3.6		210.5	0.8	0.33	n.s.	210	67.9	2.3		66.4	6.9	0.51	n.s.
240	240.9	0.8		240.3	3.4	0.56	n.s.	240	67.3	2.9		68.3	4.1	0.42	n.s.
280	280.8	2.3		278.8	5.8	0.16	n.s.	280	68.6	1.7		69.9	1.5	0.22	n.s.
330	329.6	10.0		329.1	6.9	0.99	n.s.	330	69.8	0.9		70.4	2.7	0.51	n.s.
急斜面 パワー (W)								急斜面 回転数 (rpm)							
室内				実走				室内				実走			
W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差	W	平均	標準偏差		平均	標準偏差	P値	有意差
150	150.1	6.0		153.3	6.0	0.43	n.s.	150	69.3	1.8		34.3	4.5	0.00	**
170	170.9	4.1		170.4	1.9	0.82	n.s.	170	69.7	1.3		38.6	6.6	0.00	**
190	191.2	4.0		190.8	1.3	0.82	n.s.	190	69.1	1.8		42.4	6.3	0.00	**
210	212.1	3.1		211.1	1.9	0.39	n.s.	210	68.3	2.7		46.7	5.4	0.00	**
240	241.1	3.2		239.8	1.9	0.42	n.s.	240	67.4	3.5		51.4	5.6	0.00	**
280	282.2	2.0		280.2	7.6	0.54	n.s.	280	68.1	2.5		60.3	6.3	0.03	*
330	330.0	7.0		331.0	4.5	0.30	n.s.	330	70.0	1.2		66.3	5.5	0.16	n.s.

分析は左右について行ったが、両者ともに類似傾向を示したため、結果では左脚のみのデータを示すこととした。データ項目の定義は、Leomo社のHP (<https://www.leomo.io>) を参考に示した(図3)。分析対象となった各変数は、骨盤角度、大腿動作範囲、足関節動作範囲、足関節動作範囲1/4であった。

### E) 分析と統計

室内条件と実走条件のパワー及び回転数を比較する際には、対応のないt検定を用いて検討した。3条件(平坦、緩斜面、急斜面)の比較にあたっては、1元配置分散分析により統計分析した。分析ソフトはSPSS ver25を用いた。室内と実走のペダリング動作はピアソンの積率相関係数を用いて行いた。有意水準はいずれも5%未満とした。

## Ⅲ. 結果

### A) 室内条件と実走条件でのパワーおよび回転数の関係

表1は、室内条件と実走条件の3条件において、対象者が発揮した実際のパワー(W)と回転数

(rpm)の平均値と標準偏差を示したものである。パワー値を見ると、各条件ともに設定通りに発揮され、有意差は認められなかった。回転数については、平坦において有意な差は認められなかったが、実走における勾配条件では緩斜面の150-170W、急斜面の150-280Wにおいて有意差が認められた。

以後の分析においては、平坦、緩斜面において、対象者が発揮した実際のパワーおよび回転数が室内と実走の両条件で近似した240-330Wの範囲を対象に分析を行った。この領域は、登坂走行を競うヒルクライムレースにおいて、アウトプットされている代表的な強度である<sup>8)</sup>。

### B) 3条件間(平坦、緩斜面、急斜面)のペダリング動作の比較

図4は、上述の分析領域(240-330W)での3条件間のペダリング動作を、室内条件の場合について示したものである。また図5は、同様に実走条件について示したものである。

2つの図を見ると、各変数の特性は室内・実走条件とも同様の傾向を示した。すなわち骨盤の角度は、3条件間で有意な差が認められた(図4a、図

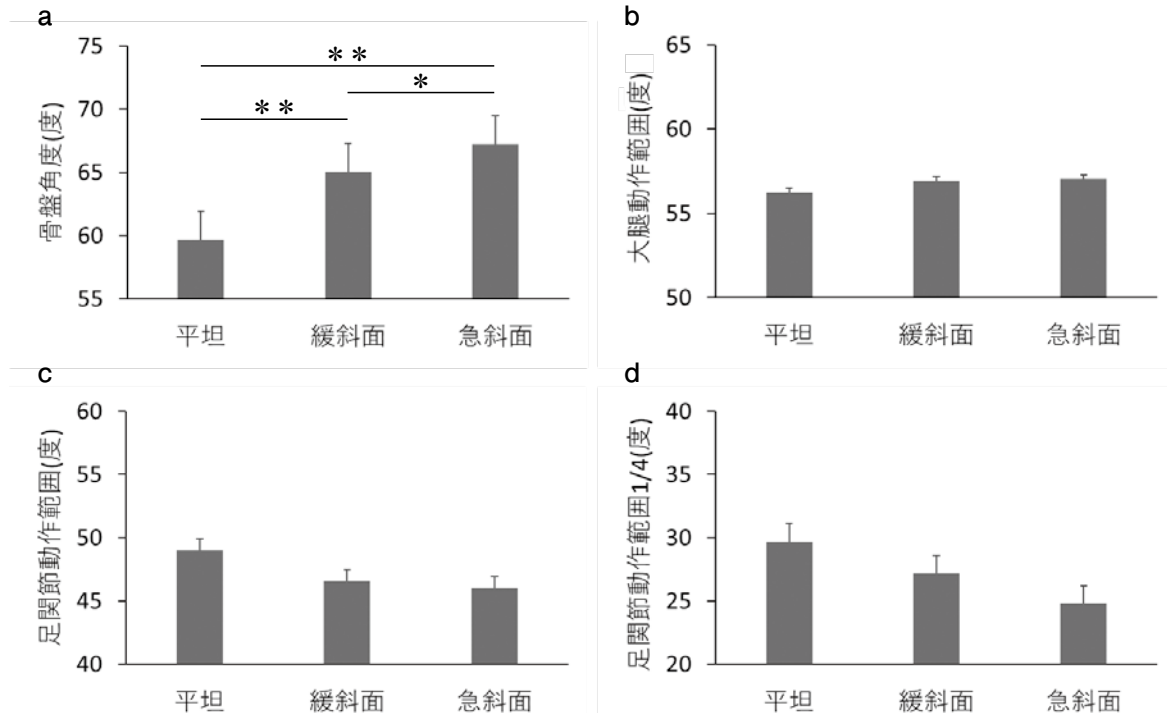


図4. 室内条件において3種類の傾斜で運動を行った際の動作の比較  
240-330Wの領域について分析している

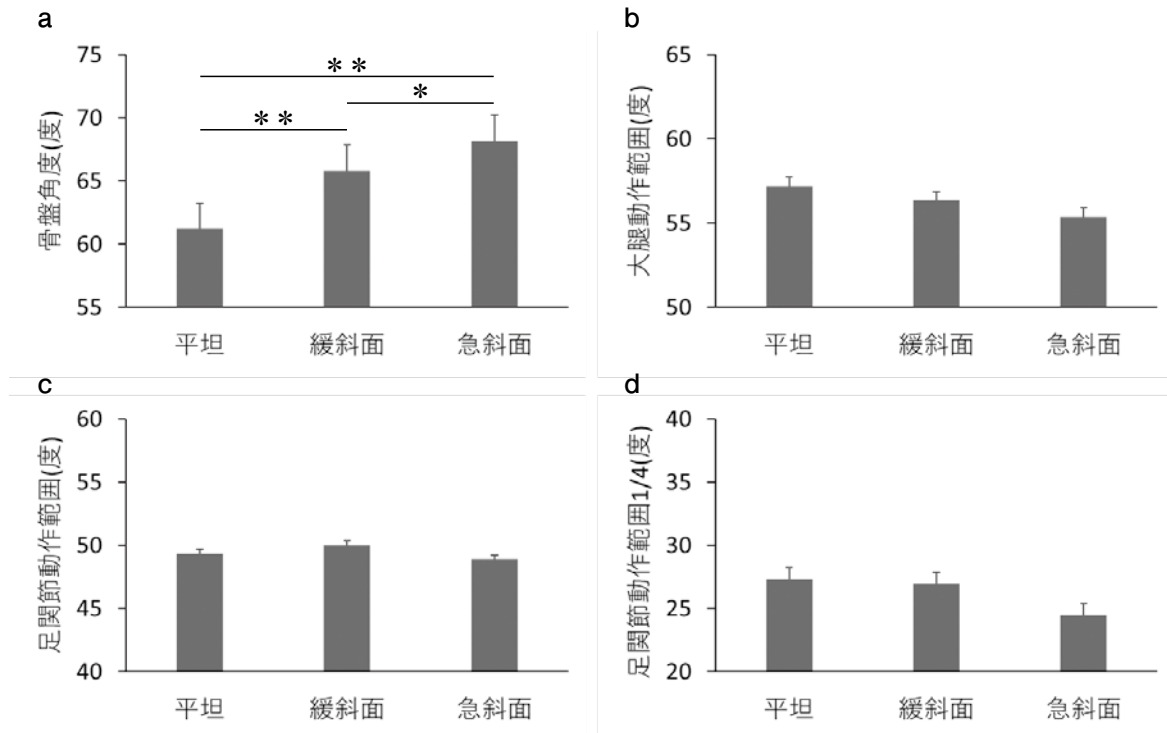


図5. 実走条件において3種類の傾斜で運動を行った際の動作の比較

図4と同様，240–330Wの高強度領域について分析している

5 a)。一方で，大腿動作範囲，足関節動作範囲，足関節動作範囲1/4においては，有意な差が認められなかった（それぞれ図4 bと図5 b，図4 cと図5 c，図4 dと図5 d）。

### C) 室内条件と実走条件の関係

図6は，分析領域（240–330W）における室内条件と実走条件との関係性を示したものである。骨盤角度（a）には有意な相関が認められただけでなく（ $r = 0.97$ ），回帰直線がほぼアイデンティティライン上に位置していた。大腿動作範囲（b）には有意な相関は認められなかった（ $r = 0.19$ ）。足関節動作範囲（c）には有意な相関が認められたが（ $r = 0.66$ ），回帰直線はアイデンティティライン上には位置していなかった。足関節動作範囲1/4（d）についても有意な相関が認められたが（ $r = 0.81$ ），回帰直線はアイデンティティライン上には位置していなかった。

## IV. 考察

### A) 室内条件と実走条件でのパワーおよび回転数の関係

室内条件と実走条件とで，対象者が実際に発揮したパワーを比較してみると，平坦，緩斜面，急斜面のそれぞれで値に有意差はみられなかった（表1）。したがって，本研究で設定した負荷に対して，室内条件および実走条件の両試技とも同様のパワー発揮が行われていたことが確認できた。

一方で回転数は，緩斜面で低強度領域（150–190W），急斜面では330W時以外の各段階で，室内条件が実走条件と比較して有意に低値を示した（表1）。これは，身体の質量を上昇させるために路面抵抗をかけて推進力に変えている実走は，一定の場所に留まって勾配角度だけを変化させる室内条件とは異なることが原因だと考えられた。

### B) 3条件間（平坦，緩斜面，急斜面）でのペダリング動作の比較

図4と図5はそれぞれ，本研究で分析領域とした240–330Wにおいて，3つの傾斜条件時のペダリン

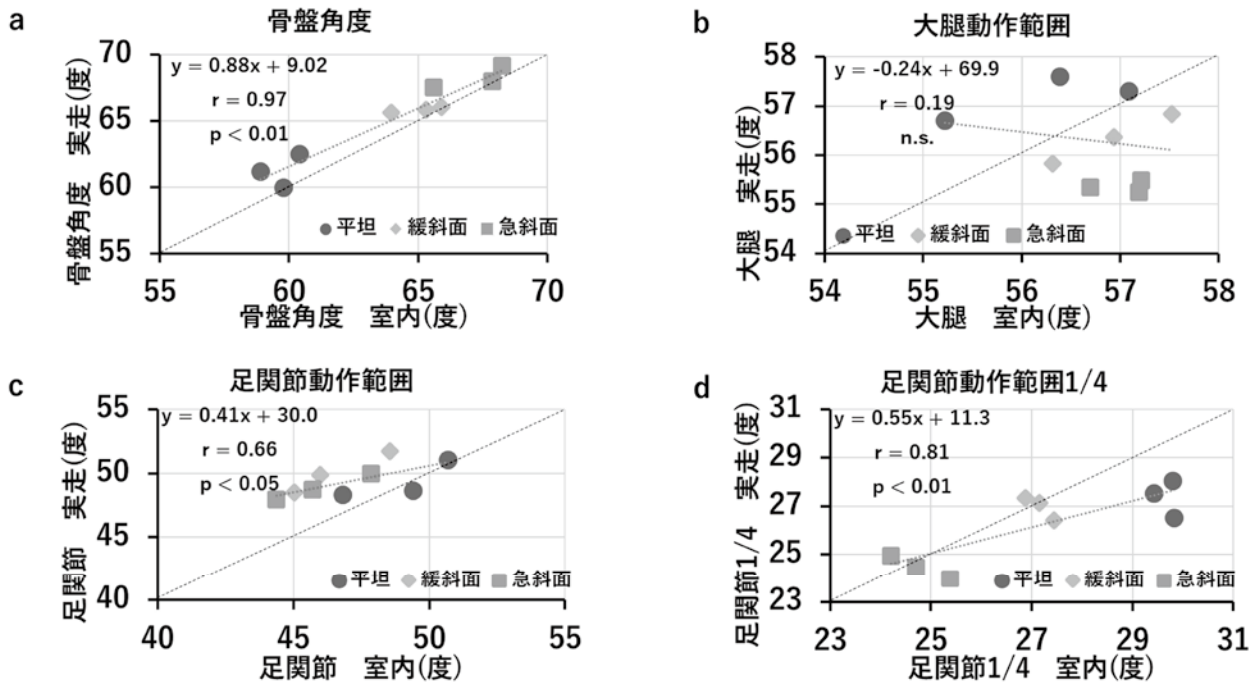


図6. 室内条件と実走条件での各変数の相関関係

図4, 図5と同様, 240–330Wの高強度領域について分析している

グ動作を室内条件と実走条件とで示したものである。240–330Wとは, 本研究の対象者の競技レベルを考慮すると, ロードレースにおいて約1時間, 疲労せずに準定常状態で維持可能なパワー, もしくはそれよりもやや低値に位置し, 実際のレースでも中盤–終盤で多く発揮されるパワーである<sup>6)</sup>。

骨盤角度は, 室内および実走条件において, 3条件間で有意な差が認められた(図4 a, 図5 a)。各条件間の平均値を比較すると, 勾配の増大とともに骨盤の角度は後傾していることが確認できた(図4 a, 図5 a)。これは, 勾配角度が上昇するにつれ車体が傾き, 乗車姿勢の変化に伴う骨盤の後傾の影響によるものと考えられた。

大腿動作範囲は, 室内および実走条件において有意差が見られなかったことから(図4 b, 図5 b), 傾斜を変化させても動作範囲は影響を受けないことが明らかとなった。この理由として, 座位姿勢のみで行った今回の実験においては, 大腿の動作範囲は比較的自由度が低く, 腿の上下運動のみに制限されてしまうため, 大きな差が確認できなかったものと考えられた。

足関節動作範囲は, 室内条件において平坦よりも緩斜面, 急斜面が低値を示したが, 統計的な有意差は認められなかった(図4 c)。

足関節動作範囲1/4は, 室内条件において平坦よりも緩斜面, 急斜面が低値を示したが, 統計的な有意差は認められなかった(図5 c)。また, 実走条件では足関節, 足関節動作範囲1/4ともに3条件間で有意な差は認められなかった。(図4 d, 図5 d)これらの結果は, 足関節が下肢関節の中で特に自由度の高いものであることが要因と考えられた<sup>3)</sup>。

ただし, 足関節の固定が股関節の活動を高めること, 引き上げ時における関節運動パターンの習得に有効であるという先行研究<sup>1,2)</sup>があることから, 勾配角度の増加に伴って, 足関節および足関節動作範囲1/4が狭くなった室内条件での運動は, 実走時のペダリング修正に有効である可能性が考えられる。

### C) 室内条件と実走条件の関係

図6は, 分析領域(240–330W)での室内条件と実走条件における各変数の相関関係を示したものである。骨盤角度(a)に関しては有意な相関が認め

られた ( $r=0.97$ ) ことに加え、回帰直線がほぼアイデンティティライン上に位置していた。このことから骨盤角度については、室内条件であっても勾配の変化と共に、実走条件に類似した骨盤周りの姿勢変化を再現することができていると考えられる。

大腿動作範囲 (b) には有意な相関が認められなかった ( $r=0.19$ )。これについては動作範囲が室内、実走ともに3度未満で小さいことから、両条件間での動きに有意な差が確認できなかったものと考えられた。

足関節動作範囲 (c) には有意な相関が認められた ( $r=0.66$ ) が、回帰直線はアイデンティティラインの傾きとは異なるものであった。足関節動作範囲1/4 (d) についても同様に、有意な相関 ( $r=0.81$ ) が認められたが、回帰直線はアイデンティティライン上に配置していなかった。これらの結果から、足関節動作範囲については室内条件で傾斜を付けても、実走条件でのペダリング動作を再現することは困難であると考えられる。

ただし足関節動作範囲1/4においては、勾配角度の増加に伴って動作範囲が狭くなる傾向が見られた (d)。実践現場においては経験的に、足関節の角度を一定にしたペダリングが理想的だとされている<sup>5,7)</sup>。さらに、足関節のアンクラリング(踵が下がることによる動作範囲の拡大)は踏力をロスする原因であると報告されている<sup>9)</sup>。以上のことを考慮すると、室内ローラーに傾斜を付けてトレーニングすることで、足関節の底屈による動作範囲の狭小を図るという面で、有用なトレーニングになる可能性も考えられる。

## V. 実践現場への示唆と今後の課題

本実験の結果から、室内ローラーで勾配をつけたペダリングを行うことで、実走時のペダリング動作をシミュレーションできる部分と、できない部分とがあることが明らかとなった。したがってこのようなトレーニングを行う場合、本研究で明らかとなった特徴を認識した上で行えば有益である可能性が考えられる。予備実験の結果も加味して、ローラー台に勾配をつけてトレーニングすることの意義や留意

点をまとめると、以下のようになる。

- ① 勾配の変化に伴う生理応答の変化は見られなかったことから、生理的な負担度を大きくするような効果はない。
- ② 勾配の変化に伴う骨盤の角度は、勾配の上昇とともに後傾することから、姿勢作りに有効である。
- ③ 骨盤の変化に伴う大腿動作範囲は影響を受けない。
- ④ 骨盤の変化に伴う足関節の動作は、勾配の上昇とともに狭小することから、望ましいとされるペダリング技術の習得に有益である可能性がある。

今後の課題として、以下の点があげられる。本実験では、室内と実走の回転数とギア比を考慮した負荷設定ができなかった。今後は室内条件と実走条件とで回転数を統一し、変化する勾配に対して適切な負荷設定を行うことに配慮した検討が必要と考えられる。

## VI. まとめ

室内ローラー台に勾配をつけて練習することの意義を検討するために、男子大学自転車競技選手7名を対象に、室内ローラーと実走のペダリング動作を①平坦、②緩斜面、③急斜面という3条件で行い比較検討した。

その結果、勾配を付けた室内ローラー練習は、実走をシミュレーションできる部分とできない部分とがあることが明らかとなった。たとえば骨盤角度については、勾配を変化させることで後傾することが室内・実走の両条件で確認できたことから、実走のシミュレーショントレーニングになることが示唆された。また、足関節動作範囲については、踏み込み局面で用いられる1/4回転中 (0-90deg) の動作範囲が傾斜をつけることで小さくなることから、望ましいとされるペダリング技術の習得に有益であることも示唆された。

予備実験の結果もふまえてまとめると、ローラー台に勾配をつけて練習を行うことで生理的な負担度が増すことはないが、ペダリング動作に関しては実走をシミュレーションできる部分とできない部分とがあることを認識した上でトレーニングすること

で, 有益である可能性が考えられた。

## 引用文献

- 1) 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.
- 2) 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・背屈運動の違いが下肢の関節ダイナミクスおよびクランクトルクに及ぼす影響. 体力科学, 53 : 221-234.
- 3) 今中大介 (1999) 今中大介のロードバイクテクニック&トレーニングマニュアル. 榎出版社, 東京, pp. 28-29.
- 4) 谷本道哉, 高田佑輔, 栗原俊之, 村出真一郎, 柳谷登志雄, 形本静夫 (2010) フリーローラーと固定ローラーにおける自転車運動の動作および筋活動の比較. Mem. Faculty. B. O. S.T.Kinki University, 26 : 63-78.
- 5) 土井雪広 (2016) 効率アップで上るヒルクライム. これで速くなる! ロードバイクスキルアップ教本. 榎出版社, 東京, pp. 92-93.
- 6) ハンター・アレン, アンドリュー・コーガン (2011) パワー・トレーニング・バイブル. Overlander, 東京, p. 396.
- 7) 福田昌弘 (2017) スクワット型ペダリングをマスターする. バイシクルクラブ編集部編, ロードバイクライディング強化本. 榎出版社, 東京, pp. 96-97.
- 8) 藤井徳明 (2015) そうだったのか! 明解にして実用! ロードバイクの科学. スキージャーナル, 東京, p. 132.
- 9) 藤野智一 (2019) Mt. 富士ヒルクライムにむけて - 走行編 / 長いヒルクライムでペースを保つ走り方. [http://funride.jp/feature/mt-fujhillclimb\\_contents-33](http://funride.jp/feature/mt-fujhillclimb_contents-33). 2019年2月12日閲覧