

# 論文の和文概要

氏名 山口 雄大

## (博士論文の題目)

自転車ペダリング運動のスキルに関するバイオメカニクス的研究

## (博士論文の概要)

### 緒言

自転車ペダリング運動を用いた体力評価は、トレーニング科学から予防医学的観点まで幅広い分野から検討されている。これらの研究は、人が発揮したパワーおよび仕事を機械的クランクパワーによって定量化しているが、この方法では人が発揮したパワーおよび仕事を反映しきれないことが指摘されており、データ評価・分析における解釈に誤解を与える可能性がある。また、動作に個人差が少ないと考えられている自転車ペダリング運動であってもスキル差が存在し、これによって生理学的変数に影響を与えることも分かっている。ペダリングスキルはペダルに加えた力を如何にしてクランクの駆動力へ作用させたか、その比率によって表されることが多く、その改善方法について検討されてきた。代表的なペダリングスキルの改善方法として、下肢の引き上げを強調するペダリング運動が挙げられるが、力学的効率は改善されるものの、生理学的効率の改善はみられないことが報告されており、その要因は明らかにされていない。クランク一回転を4象限に分けてみれば第1象限では前下方向への踏み込み、第2象限では後下方向への踏み込み、第3象限では後上方への引き上げ、そして第4象限では前上方向への引き上げのペダル踏力発揮が要求される。これらのことを考慮すると、下肢の引き上げ動作のみではなく、クランク一回転を包括的に検討する必要がある。そこで本研究は、ペダリング運動を用いた体力評価をより正しくすることを目指して、ペダリングスキルをスポーツバイオメカニクスの視点から検討し、スキルの優れたペダリング運動の力学的特徴を明らかにするとともに、それら特徴を基にペダリングスキルを考慮した体力評価の検討方法に一助となる知見を提供することを目的とした。

### 研究課題1: ペダリングスキルが一定ケイデンスを用いた持久系能力評価値に与える影響の定量化

課題1では、自転車競技選手を対象に漸増負荷テストによる持久系能力の評価を行った。ペダリング運動中の左右クランクパワーを計測し、左右クランクパワーを合算した機械的クランクパワー ( $P_{\text{Mechanical}}$ )、左右クランクそれぞれの正パワー合算値である正味のクランクパワー ( $P_{\text{Net}}$ ) を用いてそれぞれで持久系能力の定量化を行った。その結果、 $P_{\text{Net}}$  は  $P_{\text{Mechanical}}$  に対して一様に高い値を示し、低強度運動では約57%、高強度運動でも9%過小評価される

## 様式 3 号

ことが明らかとなった。P<sub>Net</sub> と P<sub>Mechanical</sub> の差分 (P<sub>Excess</sub>) には個人差があり、それはペダリングスキルに関係する可能性が示唆された。P<sub>Excess</sub> は負のクランクパワー成分に依存する指標であるため、負の成分を抑えたペダリング運動の特徴についての検討を課題 2 で行った。

### 研究課題 2 : ペダリング運動における優れたスキルの力学的特徴の検討

課題 2 では、自転車競技選手を対象に 80%VO<sub>2peak</sub> 相当の運動負荷を 90rpm で定常ペダリング運動を行わせ、優れたペダリングスキルの特徴について検討した。その結果、クランク角 40–100°付近で股関節伸展モーメントを大きく発揮することで、踏み込み局面中盤での膝関節伸展モーメントの抑制および膝関節屈曲モーメントの生成が助長され、結果的に引き上げ局面 (180–360°) で観られるクランクの回転を妨げる力 (T<sub>NEF</sub>) が抑えられることが観察された。この結果から、ペダリングスキルに改善において従来では引き上げ動作の強調が焦点づけられていたが、本研究の結果から、ペダル踏み込み時の力発揮も重要であることが明らかとなった。

### 研究課題 3 : ペダリングスキルを簡易的に評価する方法の検討

課題 1, 2 によって、ペダリングスキルの重要性とその特徴が明らかとなった。一方で、ペダリングスキルの評価には高価な機材と専門的知識が求められるため、評価できる環境が限られる。そのため、課題 3 では、ペダリングスキルを簡易的に評価できる方法について検討した。サイクリストを含む一般成人男性 28 名を対象に、本研究で作成した高ケイデンステストにより定量化された安定して維持できる最高ケイデンス (C<sub>max</sub>) と通常条件におけるペダリングスキル (IFE) を比較した。その結果、C<sub>max</sub> と IFE の間に中程度の相関関係が観察され、非サイクリストのみを対象としても同様に中程度の相関関係が観察された。一方で、サイクリストのみを対象とした場合、相関関係は観察されなかった。

### まとめ

本研究では、自転車ペダリング運動による体力評価を行う際、機械的クランクパワーを用いることで、人が発揮したパワーを過小評価することを示し、その大きさはペダリングスキルに関係することを示した。また、優れたペダリングスキルを有したサイクリストは、踏み込み局面であるクランク角 40–100°で股関節伸展モーメント、クランク角 60–310°で膝関節屈曲モーメントを発揮することがクランクの回転を妨げる負の力を抑えたペダリング運動の特徴であることが示された。そして、安定して維持できる最高ケイデンスを測ることで、簡易的にペダリングスキルを推定することが可能であり、ペダリングスキルの縦断的な評価に有効な手段であると考えられる。本研究で示された結果によって、新たなペダリングスキルに関連する力学的特徴が示されたことに加え、ペダリングスキルを考慮した体力評価方法に関する具体的な分析方法が提案された。