



博士（人間科学）学位論文 概要書

自転車エルゴメータにおけるペダリング

運動のバイオメカニクス的研究

A biomechanical study of pedaling

exercise on the bicycle ergometer

2003年7月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

星川 秀利

Hidetoshi, Hoshikawa

自転車エルゴメータのペダリング運動において、ペダル踏力や下肢関節の関節モーメントの量およびパターンなどのバイオメカニクスの変量が定量化できれば、下肢筋による運動生成のメカニズムの解明や、筋・関節への負担の定量に有用であると考えられる。これらを詳細に分析することで、ペダリング運動のスキル評価や、サイクリストの好みの回転数とエネルギー的に経済的な回転数が一致しないという問題点の解明、またサドル高の低下に伴う下肢関節への力学的な負担の定量化などが可能となるものと思われる。これらが明確になれば、競技力向上、生理学的に未解決な問題における新たな視点の提供、さらには整形外科的な障害の予防、などについて重要な知見が提供されるものと期待される。

そこで本論文では、ペダル踏力および下肢関節の関節モーメントが計測可能な自転車エルゴメータ・システムを構築し、以下に述べるスキル評価、ペダル回転数の選択、およびサドル高の低下の影響に関する研究課題を実施し詳細に検討することで、ペダリング運動におけるバイオメカニクスの解析の有効性を示すことを目的とした。

ペダリング運動のスキル評価の指標として、力効率指数（IE；ペダル踏力の内のクランクの接線方向成分力の割合）が提案されているが、その妥当性に関しては一致した見解が得られていない。本研究では、明らかにスキルレベルが異なると思われるグループ間においてIEを比較したが、統計的な差は認められなかった。しかし、IEは負荷に依存して増加することが示された。このことは、IEの比較に際しては、負荷の影響を考慮する必要があることを示唆するものである。一方、ペダル踏力のピーク値が、サイクリスト群で非サイクリスト群よりも低値を示していた。ペダル踏力のピーク値を減少させることは、筋への負担を軽減させパフォーマンスを改善する上で重要なスキルであると思われる。ここには、up phase（下死点から上死点）付近での脚の引き上げ動作や神経筋の調節能力の差が関与していると考えられた。以上のことから、ペダリング運動のスキルはIEではなく、低いペダル踏力により反映されると考えられた。

サイクリストは競技中90～110rpmという限られた範囲のペダル回転数を好んで選択しているが、これらはエネルギー消費的に経済的なペダル回転数とは一致しない。そこで、一定仕事率でのペダリング運動中における足・膝・股関節の平均モーメントを算出し、回転数の影響を検討した。その結果、股関節の平均伸展トルクが回転数の増加に伴って減少し、サイクリストでは90rpmで最小値を示した。このことより、サイクリストが好む回転数では発揮筋力量が減少し筋疲労を軽減することが示唆された。さらに、好みの回転数が低い非サイクリストでは、90rpm以上の回転数を用いても筋の負担が軽減できないことが示され、

神経筋の調節能やペダリング運動のスキルが、好みのペダル回転数に影響を及ぼしている可能性が考えられた。

自転車（エルゴメータ）に乗車する際、サドルは乗り手が各自で調節しなければならないが、極端に低いサドル高を用いている利用者も少なからず存在する。そこで、一定仕事率でのペダリング運動中の膝関節における関節モーメントおよび関節間に作用する力を算出し、サドル高の低下が膝関節に及ぼす影響を検討した。その結果、膝関節でリンク間に作用している力及び伸展モーメントの最大値は、サドル高が低下しても変化しなかったが、これらの出現時の関節角度は有意に屈曲位に移動していた。このことは、大腿脛骨および大腿膝蓋骨における関節面の接触力を増加させるものと考えられる。したがって、低いサドル高でのペダリング運動は、膝関節に過度の負担を及ぼし障害をもたらす可能性が示唆された。

以上、本研究で構築した自転車エルゴメータ・システムを用いてペダリング運動をバイオメカニクスの解析することで、ペダル踏力を用いてスキルの抽出が可能なこと、ペダル回転数の選択に筋への力学的な負担度が重要な要因となること、そして、低いサドル高により膝関節に障害をもたらす可能性があることを明らかにすることができた。これらのことより、本システムの有用性およびペダリング運動のバイオメカニクスの解析の重要性が示された。