

審査の結果の要旨

論文提出者氏名：佐渡 夏紀

日常動作などの最大下努力の身体運動とは異なり、競技スポーツなどで行われる最大努力の移動運動は自身の身体機能を駆使して遂行される。そのため、全力移動運動の遂行メカニズムにはヒト身体機能の特徴が表出する。従来、走るなどの全力移動運動を対象とした多くの先行研究では主に下肢の働きが明らかにされてきたが、この両下肢を連結する骨盤の動作制御もまた移動運動に多大な影響を及ぼすと推察される。また、各種身体運動において、骨盤周辺の力発揮は受動的な作用を相殺することで骨盤の動作を抑制するスタビライザーと捉えられてきた。

骨盤周りには大きな筋が存在しており、大きな力発揮能力を有していることが推察される。また、ヒト全力移動運動が遂行される片脚支持という状況下では、骨盤自体が3次的に動くという特徴があり、運動学的方法によって移動運動中の骨盤の動きが観察・記述されてきた。このような背景から「骨盤周りの力発揮は、能動的に骨盤を動かすことで移動運動に貢献する」という可能性が考えられた。しかし、骨盤の動きが生じる力学的機序とその影響は明らかではなかった。

本論文は、ヒト全力移動運動における骨盤周りの動力学的な挙動とその役割に関する機序の解明を目的に行われたものである。

移動運動の研究に先立ち、3次的な力学的仕事の算出手法の検討と、力学的仕事によって引き起こされた個々の身体部分の回転に由来する身体重心の移動に有効なエネルギー変化の定量分析の提案が行われ、それぞれ妥当性検証実験が行われた(3章)。4~6章では、前方・上方・側方への基礎的な全力移動運動として、全力疾走の最高速度疾走局面・助走からの片脚踏切とその場からの片脚踏切・方向転換動作の分析がそれぞれ行われた。7章では、全力疾走のクラウチングスタート・加速疾走動作を取り上げ、前方速度獲得動作の研究が行われた。8章では、垂直・水平距離を目的とした跳躍と曲線助走を利用した片脚踏切における条件変化が踏切に及ぼす影響が検討された。

以上の研究から明らかになった各方向への全力移動運動において共通する骨盤周りの動力学的な役割は次のようにまとめられる。

1. 矢状面では、全力移動運動で共通して腰仙関節伸展トルクが発揮されていた。腰仙関節伸展トルクは、股関節伸展トルクの骨盤後傾作用を相殺することで骨盤を固定していた。その結果として、股関節伸展仕事によって生成された力学的エネルギーを大腿の回転に作用させていた。大腿の前回転は、前方・上方・側方全ての全力移動運動での速度獲得の約半分を担っていた。従って、骨盤を固定する矢状面の力発揮は、大腿の回転を促進することで各方向への身体重心移動を促進することが明らかになった。
2. 前額面では、全力疾走と方向転換の研究により、腰仙関節側屈・股関節外転の力発揮には動力学的な相補関係が存在し、協働的に骨盤の挙動を制御していることが示された。身体重心高の獲得を目的とする片脚踏切では、これらの力発揮を強めることで遊脚側の骨盤を能動的に挙上させ、力学的エネルギーを生成していた。跳躍動作で惹起された骨盤の挙上は、身体重心高を上昇させる作用を持つことが定量的に示された。さらに、骨盤挙上による身体重心高を獲得する作用は、全力疾走でも下肢が前に倒れることで身体重心高を低下させようとする走速度獲得局面では同様に生じていた。従って、骨盤の挙上を制御する前額面の力発揮は、身体重心高の調節機構の一端を担うことが明らかになった。
3. 横断面では、素早い支持脚の回復動作が求められる全力疾走・方向転換で、腰仙関節捻転トルクが離地に先行して骨盤を遊脚方向(支持脚股関節を前に移動させる方向)へ回旋させていた。この離地に先行したタイミングで骨盤が支持脚を前方へ牽引する力が増大していた。従って、横断面の力発揮は、次の素早いステップが必要な動作で離地に先行した骨盤の回旋を先導することにより、離地後の支持脚の素早い回復動作を先導する役割を担うことが明らかになった。

4. ヒトの骨盤には、縦に短く幅が広いという形態的特性が存在する。骨盤周りの力発揮が能動的に生み出す骨盤の回転は「求められる並進運動の方向と骨盤の長軸から形成される平面」での回転という共通点があった。従って、移動運動において能動的に生じさせる骨盤の回転は、骨盤の形態的特性に即し、求められる並進運動を生み出していることが明らかになった。

本研究で考案された方法論は、従来の方法論に存在した「関節周りの力発揮によって生じた力学的エネルギーがどの方向への身体重心の移動に有効であるかが不明である」という方法論的限界を打破し、身体重心移動に対する個々の身体部分の貢献を定量することを可能とした。この方法を用いることで、科学的な知見が得られてこなかった骨盤周りの動力学の挙動とその意義を示した。特に、定説では様々な身体運動で骨盤を固定することが推奨されてきた骨盤周りについて、能動的に骨盤を動かすことで身体重心高の調節や下肢の動作の先導といった役割を持つことを定量的かつ客観的に明らかにしたことは特筆すべき成果である。さらに、能動的に骨盤の動作を引き起こす意義について、ヒト身体がもつ形態的特徴を背景として解説した。

本博士論文では、様々な方向への全力移動運動を網羅的に調べることで骨盤周りの力学的な働きを示した。ヒト身体を理解するという基礎科学的な観点から本研究の価値は高い。本博士論文で得られた成果は、身体運動科学の分野を大きく発展させるものと評価でき、本審査委員会は本論文提出者に博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。