

氏名(本籍)	高松潤二(神奈川県)		
学位の種類	博士(体育科学)		
学位記番号	博甲第1,952号		
学位授与年月日	平成10年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	体育科学研究科		
学位論文題目	棒高跳のポール支持局面の跳躍動作に関するバイオメカニクス的研究 —最大重心高増大のための技術的要因—		
主査	筑波大学教授	理学博士	岡田守彦
副査	筑波大学教授	医学博士	高松薫
副査	筑波大学助教授	教育学博士	阿江通良
副査	筑波大学助教授		中田英雄

論文の内容の要旨

1. 研究目的

棒高跳は、古代ギリシャ戦士の槍を使った戦技や、羊飼いたちが柵を飛び越える動作などが起源とされる。そして、跳躍に用いられる棒(ポール)も竹や金属というほとんど湾曲しないものからガラス繊維や炭素繊維などの素材による湾曲の大きなもの、すなわちグラスファイバーポールへと改良が加えられた。このことは、記録のみでなく、選手の跳躍技術にも顕著な変化をもたらした。しかし、棒高跳の跳躍動作や力学的メカニズムをバイオメカニクス的に検討した研究はほとんどなく、棒高跳の技術習得は選手やコーチの経験あるいはカンに頼っているのが現状である。また、棒高跳でしばしば発生する重大な事故は、棒高跳に関する基礎的知見が得られていないことが原因の一つと考えられる。

本研究の目的は、棒高跳における最大重心高を大きくするための技術的要因を3次元動作分析法を用いてバイオメカニクス的に明らかにし、棒高跳の技術トレーニングへの示唆を引き出すことである。

2. 研究課題

研究目的を達成するため、以下に示す4つの研究課題を設定した。

研究課題1：一流棒高跳選手の跳躍動作をkinematics的に分析し、重心高増大に関係するバイオメカニクスの要因を明らかにする。

研究課題2：棒高跳の跳躍動作をkinetics的に分析するため、大きな計測範囲に適用可能な3次元画像分析法、地面反力(ボックス反力)の測定法とその推定法を開発する。

研究課題3：棒高跳の跳躍動作をkinetics的に分析し、最大重心高を大きくするための技術的要因を明らかにする。

研究課題4：棒高跳の跳躍動作に関して得られた知見をもとに、棒高跳の技術トレーニングへの示唆を引き出す。

3. 一流棒高跳選手の跳躍動作のkinematics的分析(研究課題1)

一流棒高跳選手における跳躍の特徴や、最大重心高の増大に影響を及ぼすkinematics的要因を明らかにするため、公式競技会における一流選手の試技を、2次元あるいは3次元画像分析法により分析した。

その結果、一流選手では助走速度やポール伸張局面における最大鉛直速度が最大重心高と大きな相関を示し、最大重心高を大きくするためには最大鉛直速度を大きくすることが重要であることが明らかになった。また、一

流選手の跳躍タイプは、ポールが大きく湾曲し、ポール湾曲局面に対するポール伸展局面の鉛直速度が大きい「ポール反発型」と、ポールの湾曲は小さいが、ポール湾曲局面の鉛直速度が相対的に大きい「起こし回転型」に大別された。そして、ポール伸展局面の鉛直速度を大きくするためには、「ポール反発型」の跳躍が望ましいことがわかった。

4. パンニングDLT法およびボックス反力の測定法とその推定法の開発（研究課題2）

（1）大きな計測範囲のためのパンニングDLT法の開発

動作範囲の大きな対象を3次元的に分析するため、DLT（Direct Linear Transformation）法と呼ばれる3次元画像分析法を応用し、カメラを左右軸および鉛直軸回りに回転させて被写体を追従撮影できる3次元画像分析法、すなわち、パンニングDLT法を開発した。

計測精度は、 $2.5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ の計測範囲では従来のカメラ固定式DLT法とパンニングDLT法には顕著な違いは見られなかったが、 $2.5 \times 10 \times 5 \text{ m}^3$ の大きな計測範囲ではパンニングDLT法の方がより高い精度で3次元座標を算出できることがわかった。

（2）棒高跳におけるボックス反力の測定法とその推定法の開発

ポール下端に作用するボックス反力を測定し、ボックス反力と最大重心高との関係について検討した。また、画像分析法によって得られた身体重心の加速度からボックス反力を推定する方法を開発し、一流選手の競技会におけるボックス反力を推定した。

その結果、①前後方向のボックス反力はポール湾曲局面で顕著に大きい、②鉛直反力は最大ポール湾曲付近でピーク値を示し、ポールストレート後の突き放し局面では大きな値を示さない、③左右方向の反力はほとんど変化しないことなどがわかった。また、ポール伸展局面における鉛直力積、特に体重レベル以上のボックス反力から算出した有効鉛直力積が大きいほど最大重心高が大きいことが明らかになり、一流選手の推定ボックス反力においても同様の関係が見られた。

5. 最大重心高を大きくするための技術的要因（研究課題3）

（1）ポール弦反力から見た最大重心高増大のための技術的要因

跳躍中のポール弦反力やポールに作用する両手の力を算出し、最大重心高増大のための要因を跳躍者（ボルター）のポール操作技術と関係づけて検討した。

その結果、熟練した棒高跳選手は、ポール湾曲局面では下側の手（左手）でポールを押して、ポールに曲げモーメントを加え、ポール伸展局面では左手でポールを引いて、伸展モーメントを加えていることが明らかになった。さらに、ポール湾曲局面では左手を介してボルターからポールへ、ポール伸展局面では上側の手（右手）を介してポールからボルターへ力学的エネルギーの伝達が生じていることがわかった。

これらのことから、ポール湾曲局面では左手でポールを押し、積極的なスイング動作をすること、ポール伸展局面では左手でポールを引き、上側の腕をなるべく伸展することなどによって、ポール伸展局面における鉛直力積や力学的エネルギーが大きくなり、結果として最大重心高の増大につながることを示唆された。

（2）棒高跳の跳躍動作のkinetics的分析

3次元剛体リンクモデルにより、ポール支持局面におけるボルターの3次元関節トルク、関節トルクパワーなどを算出し、これらとポール弦反力やボルター・ポール系の力学的エネルギーなどの最大重心高の増大に影響を及ぼす要因との関係について検討した。

その結果、股関節および肩関節、特に左肩関節の伸展トルクが力学的エネルギーの増大に最も貢献していた。また、左肘および左肩関節トルクはポール弦反力や身体の動きをコントロールする上で重要な役割を果たしており、ポール湾曲局面では左肘および左肩の伸展トルクを、ポール伸展局面では左肘の屈曲トルクや左肩および両股関節の伸展トルクを大きくすることが力学的エネルギーを大きくするのに役立つことが明らかになった。さらに、踏切足離地直後の局面では、右肩関節や左股関節にトルク発揮が見られたが、これは踏切直後の姿勢保持の

ために働いていると考えられた。

6. 棒高跳の技術トレーニングへの示唆（研究課題4）

左腕によるポール操作技術として、ポール湾曲局面では、左肘関節の伸展トルクを発揮して左手でボールを押すことが、ポール伸展局面では、左肘の屈曲トルクを発揮して左手でボールを引くことが示唆された。そして、棒高跳の技術トレーニングでは、左腕によるポール操作およびスイング動作を意識して跳躍すること、専門的筋力トレーニングでは、左肘や肩、股関節の屈曲・伸展トルク発揮に関与する筋群を強化することなどが示唆された。

7. 結論

- ①最大重心高を大きくするためには、ポール伸展局面における最大鉛直速度、有効鉛直力積を大きくすることが重要で、そのためには「起こし回転型」よりも「ポール反発型」の跳躍が望ましい。
- ②「ポール反発型」の弦反力パターンは、ポール湾曲局面では下側の手でボールを押して曲げモーメントを、ポール伸展局面では下側の手でボールを引いて伸展モーメントを作用させることによって引き出すことができる。
- ③そのためには、ポール湾曲局面では左肘および左肩関節の伸展トルク、ポール伸展局面では左肘の屈曲トルク、両肩および両股関節の伸展トルクを発揮する必要がある。
- ④反発力の強いボールを使うには、左腕によるポール操作を意識した技術トレーニングを行うと共に、筋力トレーニングによって肘関節の屈筋群および伸筋群、肩関節の伸展筋群、特に左肩の伸展筋群の筋力を高めることが重要である。

審 査 の 結 果 の 要 旨

棒高跳は陸上競技の跳躍種目のなかで最も技術的に高度なものであるとされているにもかかわらず、研究例はほとんどない。これは、計測範囲が広い、グラスファイバー製ポールと跳躍者（ボルター）がともに複雑な3次元の動きを示す、ボルターとポール系が力学的閉ループを形成するため、解析が難しいなどの理由によると考えられる。しかし、棒高跳のバイオメカニクス的研究によって跳躍技術に関する理解が進めば、競技力の向上のみならず、大きな傷害を防ぐためにも役立つと考えられる。

本研究は、これらの観点から、公式競技会における一流棒高跳選手の跳躍動作を分析するとともに、パンニングDLT法などの新しい研究手法を開発し、さらに、これらを用いて実験試技におけるボルターの跳躍動作をバイオメカニクス的に詳細に研究し、その技術的要因を明らかにしたものである。特に、ボルターの両手を介してポールに作用する力をリンクモデルによって推定し、身体の主要な関節の3次元トルクを計算したこと、関節トルクの変化と動作を技能水準にも着目して比較・検討し、技術トレーニングへの示唆を引き出したことは極めて高く評価できる。

他方、動作や関節トルク発揮のタイミング、技術の学習あるいは習熟過程と跳躍タイプとの関係に関して十分に論じられていないこと、両手の力を推定するためのリンクモデルに改良の余地があることなどの問題点が指摘されたが、これらはいずれも本研究の意義を損なうものではなく、今後に残された課題とみなすことができる。

よって、著者は博士（体育科学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。