

フリップジャンプの回転数が膝関節と股関節の 角度変位に与える影響

山下 篤央、久米 雅、右近 直子、森井 秀樹

女子フィギュアスケート選手1名を被験者（全国大会上位入賞者）に、回転数の違うフリップジャンプの動作を解析し、左膝関節と左股関節の角度変位の特徴を検討した。その結果、回転数の多いジャンプでは、膝・股関節の動作範囲が大きく、速い角速度を示した。従って、回転数の多いジャンプでは、膝・股関節の大きい動作範囲と角速度が速いことが明らかになった。

キーワード：女子フィギュアスケート選手、動作範囲、角速度、変動係数

1. はじめに

フィギュアスケートは採点競技である。この競技におけるジャンプでは、回転数が増えるとともに難易度が上がり、獲得する得点も増す。つまり、ジャンプの成否は、総合採点に大きな影響を及ぼすことになる¹⁾。従って、試合において難易度の高いジャンプを成功するために、ジャンプ動作を分析、理解し、それを氷上および氷上外トレーニングに反映することは必要不可欠である。

本研究では、2回転と3回転フリップジャンプにおける take-off 直前までの左膝関節と左股関節角度の変化を動作解析し、難易度の高いジャンプにおいて、これらの関節の角度変位の特徴を明らかにする。

2. 方法

a) 被験者

被験者は年齢15歳、競技歴12年の女子フィギュアスケート選手1名とした。被験者の競技成績は全国大会で上位入賞（7級）するレベルである。被験者には、ヘルシンキ宣言に基づき、事前に測定内容および手順について説明を行い、

同意を得た上で測定に参加させた。また、被験者には測定の途中で辞退可能な事を伝えた。

b) 測定および解析方法

本研究における動作の解析対象は、2回転および3回転のフリップジャンプとした。被験者には、各ジャンプの試技間に十分な休息時間を与え、ジャンプ動作の繰り返しによる筋疲労を最小限にした。

被験者には関節角度測定のために、身体両側面の手関節・肩関節・肘関節・大転子・膝関節・足関節の12箇所にマーカーを貼付し、2回転および3回転のフリップジャンプをそれぞれ5回実施させた。ジャンプの成功・失敗は専門家が判断し、成功と判断された動画から無作為に解析対象を抽出した。

ジャンプの撮影には、1秒間に30フレーム撮影できる一般的なデジタルビデオカメラを用いた。撮影した映像は0.033秒間隔で静止画に分割し、画像解析ソフト Image-J 1.46r にて大転子、膝関節、足関節の3点から膝関節角度（内角）と肩関節、大転子、膝関節から股関節角度（内角）を算出した。膝および股関節角度の算出区間は3

点のマーカが目視可能となった画像から左脚がリンクから離れる直前 (Fig.1, 2の最終フレーム) までとしたが、図示したのは最終フレームから数えて7フレームとした。また、算出した関節角度から角加速度 ($\omega = \theta_i - \theta_{i+1} / \Delta T$, deg/sec) を算出した (Fig.3, 4)。さらに、ジャンプ動作時に屈曲と伸展を繰り返す傾向が見られたので、膝・股関節角度のバラつきを解析するために変化量 (時間経過の早い値から時間経過の遅い値を引いたもの) の平均値と標準偏差を算出し、その標準偏差を平均値で除した変動係数を算出した (Fig.5)。Fig.6には膝・股関節角度 (Fig.1, 2) における6フレームから7フレームの変化量を示した。なお、本研究では、膝完全伸展時の角度を 0° とした。

3. 結果

Fig.1にはフリップジャンプ2・3回転時における膝関節角度の推移を示した。2・3回転ともに1フレームから6フレーム (2回転 $73.3^\circ \sim 59.4^\circ$ 、3回転 $82.0^\circ \sim 70.0^\circ$) までは同程度の低下を見せるが、3回転における6フレームから7フレーム ($70.0^\circ \sim 19.6^\circ$) では2回転よりも大きい伸展動作が見られた。

Fig.2にはフリップジャンプ2・3回転時における股関節角度の推移を示した。2回転では急激に伸展 ($88.2^\circ \sim 47.4^\circ$) する場面は見られなかったが、3回転における3～7フレーム ($94.6^\circ \sim 25.7^\circ$) で 70° 程度の急激な伸展動作が見られた。

Fig.3にはフリップジャンプ2・3回転時における膝関節角速度の推移を示した。2回転では2～4フレーム、3回転では2～5フレームで一度上昇してから低下する場面が見られた。その後は2・3回転ともに上昇するが、その程度は異なり2回転 ($24.3 \sim 154.9^\circ/\text{sec}$) よりも3回転 ($18.8 \sim 1525.8^\circ/\text{sec}$) の方が高い値を示した。

Fig.4にはフリップジャンプ2・3回転時における股関節角速度の推移を示した。2～4フレームで3回転は急激 ($51.5 \sim 508.7^\circ/\text{sec}$) な上昇を示し $302.8^\circ/\text{sec}$ へ低下した。その後は再度上昇 ($302.8 \sim 751.0^\circ/\text{sec}$) し、2回転よりも高い値で推移した。

Fig.5にはフリップジャンプ2・3回転時における膝・股関節角度の変動係数を示した。変動係数は膝・股関節ともに2回転よりも3回転の方が大きい値を示した。

Fig.6にはフリップジャンプ2・3回転時における6フレームから7フレームの膝・股関節角度の変化量を示した。変化量は膝・股関節ともに2回転よりも3回転の方が大きい値を示した。

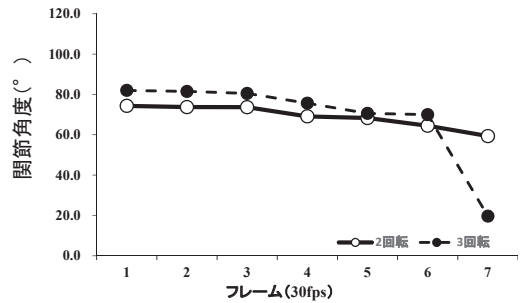


Fig.1 フリップジャンプ2・3回転時における膝関節角度の推移

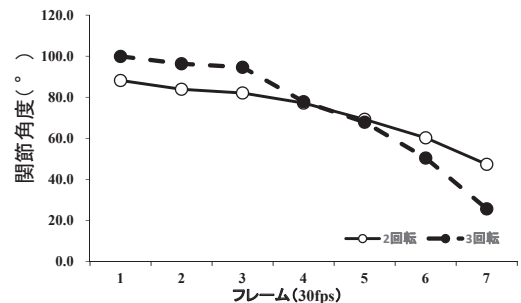


Fig.2 フリップジャンプ2・3回転時における股関節角度の推移

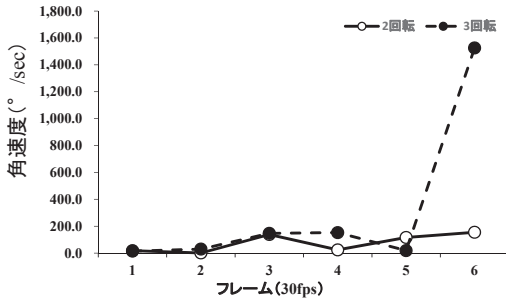


Fig.3 フリップジャンプ 2・3回転時における膝関節角速度の推移

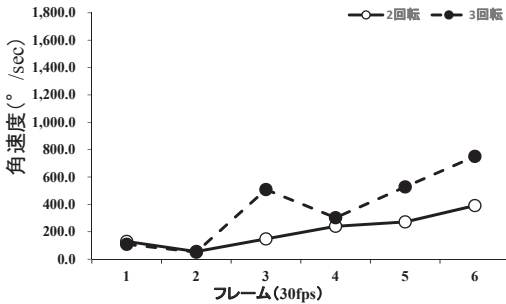


Fig.4 フリップジャンプ 2・3回転時における股関節角速度の推移

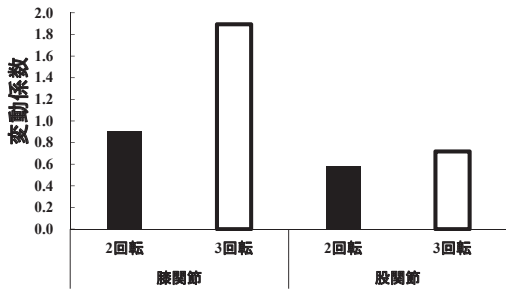


Fig.5 フリップジャンプ 2・3回転時における膝・股関節角度の変動係数

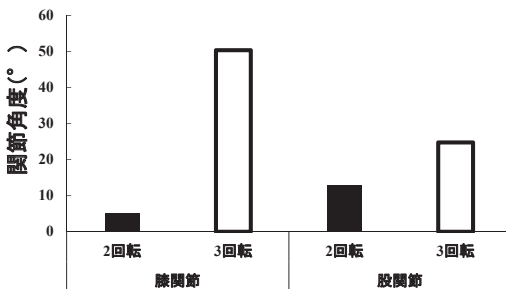


Fig.6 フリップジャンプ 2・3回転時における膝・股関節角度の変化量

4. 考察

a) 膝関節の動作範囲、角速度と跳躍高の関連性

3回転フリップジャンプを動作解析した研究はほとんどないため、跳躍動作が類似している3回転ルッツジャンプを参考に重心の垂直運動方向への移動について検討する。

ルッツジャンプの動作解析では、速い垂直運動が跳躍高の増加に繋がるのが挙げられ、その発生起因は、左膝関節の伸展と右脚の toe pick による重心の垂直移動であると報告している²⁾。この結果をスクワットジャンプやバーティカルジャンプの垂直運動の研究結果を参考に検討すると、ルッツジャンプの動作解析の結果は、下肢の動作が垂直運動に影響することが原因である研究と類似することが分かる³⁾。加えて、身体の垂直運動における各関節の役割に焦点を当てた研究により、膝関節のトルクの大きさが垂直運動の増加に繋がることが明らかにされている⁴⁸⁾。このことから、速い垂直運動を行うには、大きな膝関節の仕事量が必要であると考えることができる。

本研究では、2回転ジャンプと比べ3回転ジャンプにおける膝関節の動作範囲が大きいことを示した。また、3回転ジャンプでは、take-off直前に膝関節70°の地点から急激に膝関節を伸展している (Fig.1)。これは、膝を伸展する内側広筋と外側広筋が活発化する最適な角度40°～60°に近い値である⁹⁾。このことから、この角度は、大きな膝伸展力を発揮するための最適な角度と言える。また、我々の先行研究の結果¹⁰⁾においては、この角度は stretch-shortening cycle (SSC) を発揮する至適長であり、この角度から膝伸展力が増すことを示唆している。加えて、本研究では、この角度からの膝伸展角速度は、高速値を示した (Fig.3)。以上のことから3回転ジャンプにおいては、膝関節の大きい動作範囲と速い

角速度の関連から、膝関節の仕事量が増加していることが示唆される。そして、我々の他の先行研究である2回転、3回転フリップジャンプの動作解析の結果¹¹⁾において、2回転ジャンプと比べ3回転ジャンプでは、跳躍高の増加が明らかになっている。従って、跳躍高を得るためには、膝関節の大きい動作範囲と速い角速度が必要であると同時に、大きな伸展力を生むための関節角度とSSCを利用するための関節角度が関連していると考えられることができる。

b) 股関節の動作範囲と角速度の関連性

股関節の動作範囲が垂直方向の跳躍高に影響を及ぼすことは、先行研究によって報告されている^{3,12)}。それは、股関節の動作範囲を大きくすることによって、跳躍高の増加が得られることである。この結果は、本研究の結果と類似する。2回転ジャンプと比べ3回転ジャンプでは、股関節に大きい動作範囲が示された (Fig.2)。また、3回転ジャンプにおける角速度も速い値を示した。これら動作範囲の増加と速い角速度の関連から、3回転ジャンプを行うためには大きな仕事量が必要であることが考えられる。従って、3回転ジャンプを成功させるためには、前述の先行研究の¹¹⁾が示したように、跳躍高の増加が必要であり、その増加は、股関節の動作範囲を大きくすることによると考えられる。

c) 2回転・3回転ジャンプに至るまでの膝・股関節の関節角度の変動

2回転ジャンプと3回転ジャンプの膝関節と股関節角度の変動係数を比較すると、3回転ジャンプの変動係数が大きいことがわかる (Fig.5)。これは、3回転ジャンプに必要な跳躍高を得る¹¹⁾ための膝・股関節の大きい動作範囲の結果による。また、3回転ジャンプにおける膝関節角度の

推移 (Fig.1) の6フレームまでは、膝関節の角度変動は小さいことがわかる。3回転ジャンプの股関節角度の推移 (Fig.2) においても、3フレームからの伸展動作では、角度変動が小さい。このことから、ジャンプに至るまでの動作で、膝関節と股関節の屈曲・伸展動作の振幅を小さくすることが必要であると言える。池上¹³⁾は、フィギュアスケートのジャンプは、その場で垂直に跳び上がるのではなく、ある方向から滑走してきた状態で踏み切り、跳び上がるとしている。つまり、ある方向から滑走している間は、膝・股関節伸展筋群に伸張性収縮を起こし、跳躍に必要な伸展力を蓄積していることが示唆される。言い換えれば、この区間で膝・股関節の振幅が大きい場合、蓄えられている伸展力を逃すことになり、高い跳躍に繋がらないと言える。従って、跳び上がるまでの滑走間に、膝関節と股関節の関節角度変位を小さくすることと筋の伸張性収縮による伸展力の蓄積が、効率良く垂直に跳び上がる力を身体に伝えることの要素になると考えられる。

5. まとめ

本研究では、2回転と3回転フリップジャンプのtake-off直前までの左膝関節と左股関節角度の変位の動作解析を行った。その結果、2回転ジャンプと比べ3回転ジャンプでは、膝関節と股関節の動作範囲が大きいことと角速度が速いことを示した。また、take-offに至るまでの時間において、膝関節と股関節の角度変動が小さいことを示した。従って、ジャンプを成功するためには、膝関節と股関節の大きい動作範囲と速い角速度が必要であるとともに、ジャンプに至るまでの動作では、屈曲・伸展動作の振幅を小さくすることが必要であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 公益財団法人日本スケート連盟HP. <http://skatingjapan.or.jp/>
- 2) United States Figure Skating Association. Skating, 78 (10), pp.48-49, 2001
- 3) 原 樹子, 立 正伸, 横沢 俊治, 平野 裕一. スクワットジャンプの股関節初期角度の違いがパフォーマンスに与える影響, Japanese Journal of Elite Sports Support, 1, pp.21-31, 2008
- 4) Robertson, D.G.E. and Winter, D.A. Mechanical energy generation, absorption and transfer amongst segments during walking, J. Biomechanics, 13, pp.845-854, 1980
- 5) Cappozo, A., Figure, F., Marchetti, M., and Pedotti, A. The interplay of muscular and external forces in human ambulation, J. Biomechanics, 9, pp.35-43, 1976
- 6) 桜井 伸二, 池上 康男, 矢部 京之助. 垂直跳びの踏み切り動作における下肢関節の役割, 第8回日本バイオメカニクス学会論集, pp.98-101, 1987
- 7) Hubley, C.L. and Wells, R.P. A work-energy approach to determine individual joint contributions to vertical jump, Eur. J. Appl. Physiology, 50, pp.247-254, 1983
- 8) 鳥海 清司, 大島 徹, 熊本 水頼. 関節トルクからみたヒトの跳躍方向の調節, バイオメカニズム, 16, pp.243-252, 2002
- 9) Ellenbecker, T. S., and Davies, G.J. Closed kinetic chain exercise; a comprehensive guide to multiple-joint exercise, Human Kinetics, p.15, 2001
- 10) 山下 篤央, 久米 雅, 森井 秀樹. 膝関節角度の変化から見たフリップジャンプの特徴について, 京都文教短期大学 研究紀要 第52集, pp.123-128, 2013
- 11) 山下 篤央, 久米 雅, 森井 秀樹. フィギュアスケートにおける2回転と3回転フリップジャンプの動作解析, 京都文教短期大学 研究紀要 第51集, pp.87-91, 2012
- 12) 船渡 和男, 袴田 智子, 柏木 悠, 加賀田 直樹, 山内 亮. 脚伸展パワーと跳躍高の関係からみた垂直跳びの動作, 体力科学 57 (6), p.908, 2008
- 13) 池上 康男. 滑る運動の姿勢保持とベストパフォーマンス-フィギュアスケート: ジャンプ技術の解析と特性-, 日本体育学会大会号 (52), p.113, 2001

