

記録水準の異なる男子棒高跳選手の 跳躍動作に関するバイオメカニクスの分析

武田 理¹⁾ 小山宏之¹⁾ 村木有也²⁾ 吉原 礼¹⁾ 阿江通良¹⁾
1) 筑波大学 2) 大阪体育大学

I. 緒言

棒高跳では、大きく湾曲させたポールと身体の動きを調和させるためのポール操作技術が必要で、一流選手のポール湾曲やポール操作に関する研究が多い。一方、記録水準の低い選手の動作に関する研究は少なく、記録水準の低い選手が記録を向上させるためのポール湾曲やポール操作に関する技術については明らかになっていない。したがって、棒高跳における記録水準の異なる選手の跳躍動作をバイオメカニクスの分析することで、棒高跳において重要なポールの挙動と選手の動作の関係を明らかにできれば、ポール操作技術に関する基礎的知見が得られると考えられる。

そこで、本研究の目的は、記録水準の異なる棒高跳選手の競技会における跳躍動作をバイオメカニクスの分析し、ポール湾曲に影響を及ぼす要因、特にポールの挙動と選手の動作との関係を明らかにし、棒高跳の技術やトレーニングに関する示唆を得ることとした。

II. 方法

1. 分析対象者

公認陸上競技会に出場した、国内外一流男子棒高跳選手、学生および高校生競技者の計44名(自己ベスト: 5.10±0.56m)であった。

2. VTR撮影およびデータ処理

2003年から2006年にかけて行われた公認陸上競技会をピット側方正面スタンドからデジタルビデオカメラ(SONY社製 VX-2000)を使用し、毎秒60フィールド、露出時間は1/1000秒で撮影した。得られた画像から2次元DLT法を用いて身体分析点23点および

ポール分析点の2次元座標を算出した。

平滑化した分析点の座標データから、身体重心高、重心水平および鉛直度、跳躍角、ポール湾曲率、ボックス反力、ポール弦反力、ポール弾性エネルギー、スウィング力などを算出した。なお、ボックス反力の推定には、高松(1997)の方法を用いた。

本研究では、棒高跳の技術的要因について検討するため、運動エネルギーの変換率の指標としてエネルギー変換率を以下の式で算出し、分析対象者の群分けを行った。

$$\text{エネルギー変換率} = \frac{PE_{\max.CGh}}{KE_{Toff}}$$

ここで、PE_{max.CGh}はボウルターの最大重心高獲得時の位置エネルギーを、KE_{Toff}は踏切離地時の運動エネルギーを示す。

時系列データは、各試技について踏切足離地からポールストレートを基準(100%)として規格化し平均した。なお、ポール弦反力およびスウィング力は各分析対象者の体重で除し規格化した。

各算出項目間の相関関係を調べるため、ピアソンの相関係数を算出した。また、エネルギー変換率の上位群と下位群の差を検定するため、対応のないt検定を行い、いずれも有意水準は5%以内とした。

III. 結果および考察

1. 身体重心速度および跳躍角

Table 1は、身体重心のキネマティクスパラメータを示したものである。重心水平速度は、踏切足接地時(8.63±0.67m/s)から踏切足離地時(7.00±0.58m/s)にかけて減少した。鉛直速度は、踏切足接地時(0.48±0.51m/s)から、踏切足離地時(2.58±0.33m/s)にかけて増加していた。重心速度と最大重心高との

Table 1 Kinematics of the whole body center of gravity

		Mean±S.D	Max. - Min.
Maximal CG height (m)		5.10±0.56	6.13-3.69
Horizontal CG velocity (m/s)	Touchdown	8.63±0.67	9.67-7.19
	Takeoff	7.00±0.58	8.13-5.80
Vertical CG velocity (m/s)	Touchdown	0.48±0.51	1.26 - -0.71
	Takeoff	2.58±0.33	3.32-1.95
Takeoff angle (deg)		20.5±2.8	27.6-15.7
Energy conversion ratio		1.35±0.08	1.49-1.18

関係を見ると、水平速度では踏切足接地時、離地時ともに有意な正の相関を示したが($r=0.84, p<0.001$; $r=0.86, p<0.001$)、鉛直速度では有意な相関は見られなかった。また、跳躍角と最大重心高の間には有意な負の相関が見られた($r=-0.66, p<0.01$)。

これらのことから、最大重心高を大きくするためには、大きな重心水平速度で低い跳び出しを行うことが重要であると言える。

2. エネルギー変換率

Fig.1は、エネルギー変換率と最大重心高との関係を示したものである。エネルギー変換率と最大重心高との間に有意な相関は見られなかったが、最大重心高の大きい選手は、エネルギー変換率の平均値(1.35)近くに多く見られた。また、踏切離地時の重心水平速度とエネルギー変換率との間にも有意な相関は見られなかった。一方、エネルギー変換率とポール最大湾曲率との間には有意な正の相関が見られた($r=0.46, p<0.05$)。

淵本ら(1994)は、世界一流競技者では、助走速度とエネルギー変換率との間に有意な負の相関が見られたことを報告している。淵本らは、世界記録保持者のS・ブブカ選手では非常に助走速度が大きかったが、エネルギー変換率は他の一流選手よりも小さかったと述べている。淵本らは、助走速度の大きさに比例してグリップ高が大きくなること、助走速度の増加によりポールがボックスにぶつかる際の衝撃が大きくなり運動エネルギーのロスが増大すること、助走速度の増加にともない、踏切離地後にポウルターが発揮したエネルギーが低下することなどをあげている。本研究と淵本らの結果を合わせると、最大重心高や記録が最も高い選手が必ずしもエネルギー変換率が良いわけではなく、逆に踏切離地時の重心水平速度は小さいがエネルギー変換率が高く、大きな最大重心高を得る選手がいると考えられる。また、本研究では、エネルギー変換率とポール

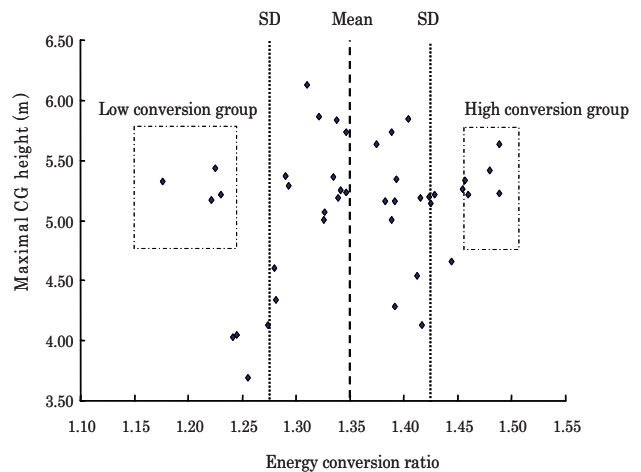


Fig.1 Relationship between energy conversion ratio and the maximal CG height

最大湾曲率との間に有意な正の相関が見られたことから、エネルギー変換率を大きくするには、ポールを操作して湾曲させる技術が必要であると考えられる。

3. ポールの湾曲および弦反力

ポールに関する各項目と他の項目との相関を見ると、ポール最大湾曲率、ポール弾性エネルギーと最大重心高との間には、いずれも有意な正の相関が見られた(ポール最大湾曲率, $r=0.54, p<0.01$; ポール弾性エネルギー, $r=0.78, p<0.001$)。また、踏切離地時のポール弦反力と最大重心高との間に有意な相関は見られなかったが、ポール最大湾曲時では強い正の相関が見られた($r=0.72, p<0.001$)。さらに、ポール最大湾曲時のポール弦反力とポール伸展局面の最大重心鉛直速度、最大重心鉛直速度と最大重心高との間にはそれぞれ強い正の相関が見られた($r=0.81, p<0.001$; $r=0.91, p<0.001$)。これらの結果は、踏切離地時よりもポール最大湾曲時にかけてポール弦反力を大きくすることで、ポール伸展局面でより大きな最大重心鉛直速度を獲得できることを示唆している。

4. エネルギー変換率上位群と下位群の比較

本研究では、エネルギー変換率が±標準偏差範囲外の選手のうち、同程度の記録水準の選手をエネルギー変換率上位群($n=5$, 変換率, 1.43以上, 最大重心高, $5.37 \pm 0.19m$)と下位群($n=5$, 変換率, 1.27以下, 最大重心高, $5.29 \pm 0.19m$)とした。

踏切足接地時、離地時の重心水平速度は上位群が下位群に比べ有意に小さかったが($p<0.001$)、鉛直速度、跳躍角には有意差は見られなかった。

ポール最大湾曲率は上位群(26.7±7.1%)が下位群(20.5±1.9%)より有意に大きかった(p<0.05)。ポール弦反力は踏切離地時では両群間に有意差は見られなかったが、ポール最大湾曲時では上位群(15.45±0.43 N/kg)が下位群(13.53±0.84 N/kg)より有意に大きかった(p<0.01)。また、ポール弾性エネルギーは上位群(13.9±3.9 J)が下位群(8.9±0.8 J)より有意に大きかった(p<0.05)。

これらのことから、上位群はポールを湾曲させる技術に優れており、重心速度が小さくてもエネルギー変換率が高いため、同程度の最大重心高を獲得していた、したがって、上位群は踏切離地後からポール最大湾曲時にかけてポール弦反力、ポール湾曲を大きくできるポール操作技術を有していたと考えられる。棒高跳では、踏切離地からポール最大湾曲時にかけて、スウィング動作を行うことから、両群間に見られたポール弦反力の変化の相違はスウィング動作によるものと考えられる。

5. 上位群と下位群のスウィング力の比較

Fig.2は両群の踏切離地からポール最大湾曲時までのスウィング力の変化を、Fig.3は踏切離地からポールストレートまでのポール弦反力の変化を平均値で示したものである。スウィング力は両群ともに踏切直後から大きな値を示し、その後急激に減少した後、再び増加し、最大湾曲時にかけて減少していく傾向が見られた。しかし、上位群は踏切直後の値が小さく、ピークは下位群より遅れて出現していた(約25%時)。一方、下位群は踏切直後に大きな値を示し、10%~20%にかけて上昇したが、ピーク値は上位群より小さく、35%時付近から急激に減少した。Fig.4は、両群の踏切離地からポール最大湾曲時までの回転(上)および伸縮(下)スウィング力を平均値で示したものである。回転スウィング力では、踏切離地直後は下位群が上位群より大きな値を示した。その後15%時にかけて両群ともに急激に減少し、その後、ポール最大湾曲時までほとんど変化はなかった。伸縮スウィング力(下)では、両群ともに踏切離地後に一度減少して10%時付近で負のピークを示した後、急激に上昇し、負から正に移行した。下位群では20%時付近でピーク値が出現し、上位群は25%時付近で出現していた。ピーク値の大きさは上位群が大きく、持続も長い傾向が見られた。ポール弦反力(Fig.3)とスウィング力の変化を関係づけて考えると、ポール弦反力の値に相違が現れる時点と、スウィング力の値に相違が現れる時点がほぼ一致しており(15%時付近)、スウィング力がポール弦反力に

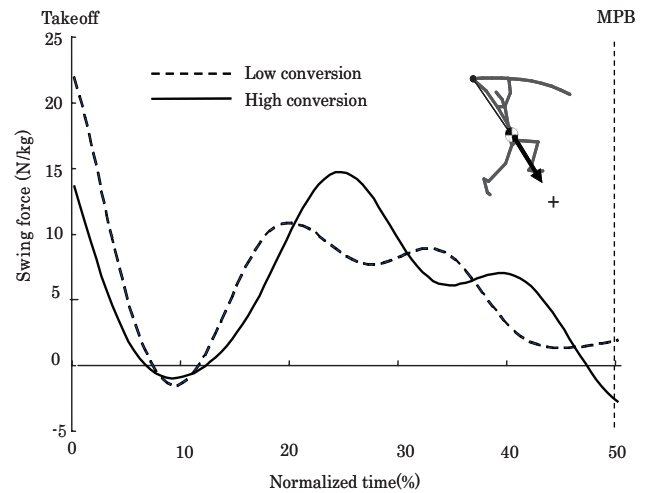


Fig.2 Changes in the swing force for High and Low conversion groups from the takeoff to the MPB

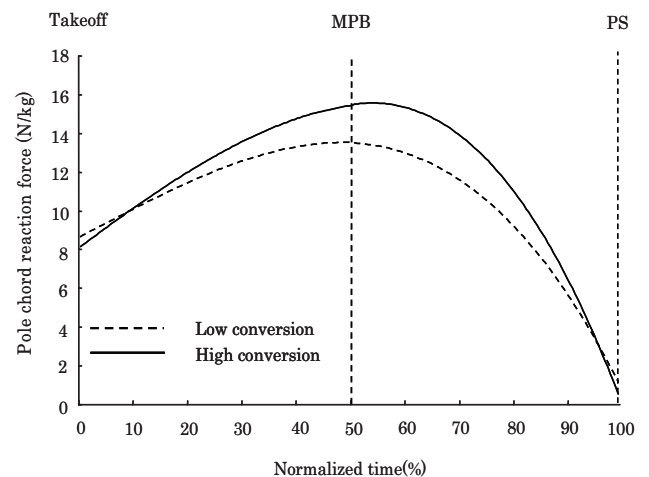


Fig.3 Changes in the pole chord reaction force for High and Low conversion groups from the takeoff to the pole straightening

大きく影響すること、踏切離地直後は回転スウィング力が、その後は伸縮スウィング力の影響が大きいことがわかる。

これらのことから、ポール湾曲局面でポール弦反力を大きくするためには、ボウルトアーのスウィング力が重要で、踏切離地直後は回転スウィング力を小さくし、その後、伸縮スウィング力を大きくすることによって、ポール最大湾曲時にかけてポール弦反力を大きくできると考えられる。

6. 棒高跳の技術への示唆

上述したことから、棒高跳のスウィング動作に関して以下のような示唆が引き出せるであろう。

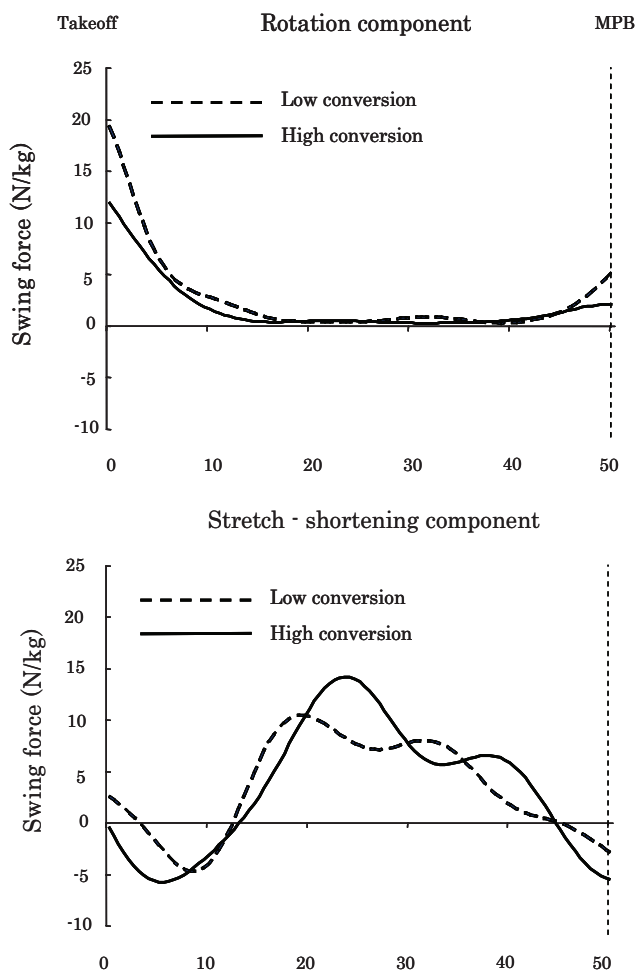


Fig.4 Changes in the rotation (top) and stretch - shortening (bottom) components of the swing force for High and Low conversion groups from the takeoff to the MPB

- ① ポール湾曲局面中にポール弦反力を大きくすることが重要である。そのためには、大きなスウィング力をポールに作用させることが不可欠である。踏切離地直後の回転によるスウィング力は、身体が振られた場合にも生じるので、一時的に踏切離地時の姿勢を維持することなどにより、スウィング動作開始の時点が遅らせることが有効である。
- ② スウィング動作により、ポール弦反力を大きくするためには、伸縮によるスウィング力、すなわち、グリップと重心との距離を大きくするような動作を強調することが役立つ。

【まとめ】

ポール湾曲と選手の動作との関係を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- ① 大きな最大重心高を獲得するためには、ポール

湾曲局面においてポール弦反力を大きくする必要がある。

- ② ポール湾曲局面におけるポール弦反力の大きさには選手のスウィング力、特に、伸縮スウィング力がより大きな影響を及ぼす。
- ③ エネルギー変換率の下位群では、踏切離地直後の回転スウィング力が大きかったが、上位群では踏切離地後に遅いタイミングで発揮された伸縮スウィング力が大きかった。
- ④ ポール湾曲局面において伸縮スウィング力を効果的に発揮するためには、踏切直後は回転スウィング力を小さくし、その後の身体およびポールの操作を容易にする必要がある。

また、以下のようなイメージを持って跳躍することがすすめられる。

- ① 踏切離地時の姿勢を一時的に維持することにより、スウィング動作開始のタイミングを遅らせることが有効である。そのためには、踏切離地後に身体を大きく後方に反らし、能動的スウィング動作を行うイメージを持つことが役立つ。
- ② 上述した能動的スウィング動作を習得するための鉄棒ドリルでは、後方から身体を大きくスウィングし、グリップの真下を足が通過するあたりで大きくあふり動作を行う、あるいは踏切足をムチのようにして地面を削るようなイメージで行う。

本研究で用いたVTR画像の多くは、日本陸上競技連盟科学委員会の活動の一環として収集されたものである。ここに記して感謝いたします。

【参考文献】

淵本隆文, 高松潤二, 阿江通良 (1994) 棒高跳の動作学的力学的分析. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班 (編) 世界一流陸上競技者の技術 (第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書). ベースボールマガジン社, 東京, pp. 193-204.

高松潤二 (1997) 棒高跳に関するバイオメカニクスの研究 - 最大重心高増大のための技術的要因 -. 筑波大学大学院体育研究科博士論文 砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献 - 世界レベル選手と日本レベル選手との比較 -. 陸上競技研究紀要2 : 65-73.