

槍投げ競技者における上肢の伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価

Evaluation of ability to achieve stretch-shortening cycle movement of the upper limbs in javelin throwers

田内健二¹⁾, 高松 薫²⁾, 土江寛裕¹⁾, 磯 繁雄¹⁾

Kenji Tauchi¹⁾, Kaoru Takamatsu²⁾, Hiroyasu Tsuchie¹⁾, Sigeo Iso¹⁾

1) 早稲田大学スポーツ科学学術院

¹⁾ Faculty of Sport Sciences, Waseda University

2) 筑波大学体育科学系

²⁾ Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

キーワード: 槍投げ競技者, 伸張-短縮サイクル, 投動作, パワー

Key words: javelin thrower, stretch-shortening cycle, throwing, power

抄 録

本研究の目的は、槍投げ競技者における上肢の SSC 運動の遂行能力の評価法を考案し、その有用性を検討することであった。そのために、大学陸上競技部に所属する男子槍投げ競技者 10 名を対象にして、2kg のメディシンボールを用いた伸張-短縮サイクル(SSC)を利用しないコンセントリックスロー(CT)および SSC を利用するリバウンドスロー(RT)を行わせた。本研究では、上肢で発揮された投局面の平均パワーを、リリース時にボールがもつ力学的エネルギーを投局面の遂行時間で除すことによって算出した。また、上肢の SSC 運動の遂行能力をより簡便に評価するための指標として、ボールの飛距離を投局面の遂行時間で除した値である $Throw_{index}$ を算出した。槍投げの競技成績と RT の平均パワーとの間に有意な正の相関関係が認められ、CT の平均パワーとの間には有意ではないが正の相関関係を示す傾向が認められた。CT および RT ともに平均パワーと $Throw_{index}$ との間には有意な高い正の相関関係が認められ、競技成績と $Throw_{index}$ との関係でも、平均パワーを用いた場合とほぼ同様の結果が得られた。これらの結果は、槍投げの競技成績に優れたものは、上肢のパワー発揮能力、特に SSC 運動によるパワー発揮能力に優れること、および槍投げ競技者における上肢の SSC 運動の遂行能力を評価する指標として $Throw_{index}$ が有用であることを示唆するものである。

スポーツ科学研究, 3, 104-112, 2006 年, 受付日: 2006 年 8 月 18 日, 受理日: 2006 年 9 月 8 日

連絡先: 田内健二 〒359-1142 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 早稲田大学スポーツ科学学術院

tauchi@aoni.waseda.jp

I. 緒言

陸上競技の槍投げは、競技者によって投射された槍の飛距離を競う種目である。投射された槍の飛距離は、空気抵抗を無視し、投射高および投射角が一定であると仮定すれば、理論上、投射される際に槍がもつ力学的エネルギーと比例関係にあることから、槍に作用した力学的仕事で決まるといってよい。一方、槍が最も加速される局面となる最終的な左足接地(右投げの場合)からリリースまでの時間は、 0.135 ± 0.012 秒(1992 年バルセロナオリンピック決勝進出者, Mero et al., 1994), 0.128 ± 0.010 秒(1995 年イェテボリ世界選手権決勝進出者, Morriss et al., 1997)と極めて短い。したがって、槍投げ競技者においては短時間にできる限り大きな仕事をする能力、つまり大きなパワー発揮能力が要求されると考えられる。

効果的に大きなパワーを発揮するためには、いわゆる反動動作として知られる伸張-短縮サイクル(SSC)運動を用いることが不可欠である。これは、反動動作によって筋-腱複合体をいったん伸張させることで、伸張反射(Melville Jones and Watt, 1971)や増強効果(Bosco, et al., 1981)が誘発され筋の張力を高めることができること、筋および腱の弾性要素に貯蔵した弾性エネルギーを再利用できること(Asmussen and Bonde-Pertersen, 1974; Komi and Bosco 1978)などに由来する。これらの要因は、運動様式、運動強度、部位などによって、パフォーマンスに対する貢献度が異なることが報告されているが、いずれにしても SSC 運動の効果として最大限利用することが、良いパフォーマンスにつながるものと考えられる。

これまでの槍投げに関する研究では、主に槍のリリース時のパラメータや投動作などのバイオメカニクス的な分析については数多く行われている(高松, 1980; 池上ら, 1982; Mero et al., 1994; Morriss et al., 1997; 野友ら, 1998)。しかし、槍投げ競技者における SSC 運動の遂行能力の重要性については、槍投げの動作分析を通して推察す

るにとどまっている(池上ら, 1982; Mero et al., 1994)。近年、槍投げ競技者の SSC 運動の遂行能力に関して田内ら(2002)は、槍投げ競技者におけるリバウンドジャンプの遂行能力は、跳躍競技者と槍投げ競技以外の投擲競技者との中間に位置づけられ、競技成績の優れるものほど跳躍競技者に近い能力を有していると報告している。このことは、槍投げの競技力向上に対して下肢での SSC 運動の遂行能力の重要性を示唆するものである。しかし、全身をフルに活用して槍を加速させる槍投げの競技特性を考慮すると、下肢だけでなく、上肢の SSC 運動の遂行能力をも検討する必要があると考えられる。また、上肢の SSC 運動の遂行能力は、必ずしも下肢の遂行能力と同様ではないという報告もある(三浦ら, 2002)。したがって、槍投げ競技者における上肢の SSC 運動の遂行能力を測定評価することは、槍投げのトレーニング手段の再考、開発のために有意義であると考えられる。

そこで本研究は、槍投げ競技者における上肢の SSC 運動の遂行能力を評価する方法を考案し、その有用性を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者には、大学陸上競技部に所属する男子槍投げ競技者 10 名(年齢: 21.9 ± 2.0 歳, 身長: 178.3 ± 5.6 cm, 体重: 82.0 ± 5.7 kg, 自己最高記録: 66.05 ± 6.90 m)を用いた。実験を開始するにあたり、全ての被験者に本研究の目的、方法および実験にともなう安全性などを十分に説明し、実験参加に対する同意を得た。

2. 実験運動

本研究では、上肢の SSC 運動の遂行能力を評価する運動として、田内ら(2003)が報告した SSC 運動を利用しない投動作であるコンセントリックスロー(Concentric throw: CT), および SSC 運動を利用する投動作であるリバウンドスロー(Rebound

throw: RT)を用いた. CT においては, 被験者に水平位より 30° に傾斜したベンチに仰臥位をとらせ, 能動的な最大肩関節屈曲位に両腕を頭上に挙上させた. そして, 2kg のメディシンボールを保持させた状態から最大努力で斜め前方へ投げ出す投動作を行わせた. 一方, RT においては, 被験者に CT と同じ姿勢をとらせ, 検者が落下させたメディシンボールをキャッチさせ, 最大努力で斜め前方へ投げ出す投動作を行わせた(図 1). ボールの落下開始位置は, 被験者の頭上に挙上した両手の位置から鉛直上方 1m の高さに設定した. いずれの投動作においても胸部および腰部をベルトでベンチに固定した. 被験者には, できる限り短時間に遠くへ投げ出すことを指示して行わせた. CT および RT はいずれも 3-5 回行わせ, ボールの飛距離が最も高値であった試技を分析対象とした.

3. 分析項目および分析方法

CT および RT を被験者の右側方に設置した高速度ビデオカメラ(HSV-500, Nac)を用いて毎秒 250 コマで撮影し, ボールの飛距離をメジャーで測定した. 撮影された画像から, ボールの中心を動作解析システム(Frame-DIAS, ディケイエイチ)を用いてデジタル化し, 校正マークをもとにしてボールの 2 次元座標を実長換算した.

得られたボールの 2 次元座標から x, y 成分をそれぞれ時間微分し, 合成することでボールの速度を算出した. また, CT ではボールの動き始めからリリースまで, RT ではボールの最下点からリリースまでを CON 局面, RT ではボールのキャッチからボールの最下点までを ECC 局面とし(図 1), 各局面の遂行時間を画像のコマ数を読み取ることで算出した.

本研究では, CT および RT において上肢が発揮した CON 局面の平均パワーを, リリース時にボールがもつ力学的エネルギーをもとにして, 式 1 によって算出した.

$$Mean\ power = \frac{\frac{1}{2}mv^2 + mgh}{Time_{con}} \quad \dots \text{式 1}$$

ここで, m はボールの質量, v はリリース時のボール速度, g は重力加速度(9.81m/s²), h はボールの最下点からリリースまでのボールの鉛直移動距離, $Time_{con}$ は CON 局面の遂行時間を示す. また, CT の平均パワー(CT_{power})に対する RT の平均パワー(RT_{power})の増加率(%change_power)を SSC の効果を示す指標として式 2 によって算出した.

$$\%change_power = \frac{(RT_{power} - CT_{power})}{CT_{power}} \times 100 \quad \dots \text{式 2}$$

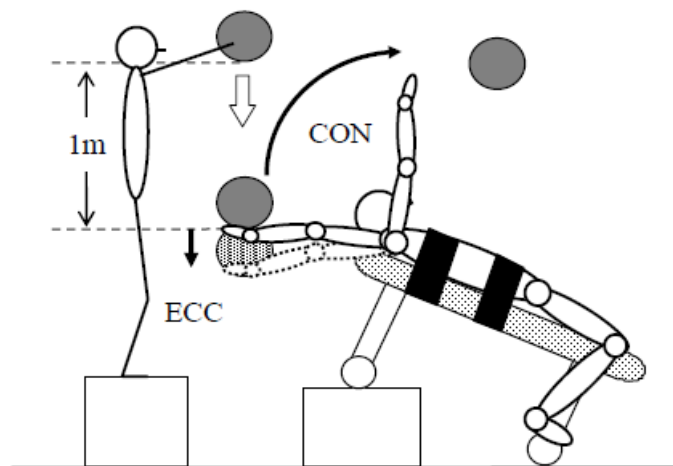


Figure 1 Schematic representation of rebound throw (RT)

本研究では上肢の SSC 運動の遂行力を評価するために、ボールの飛距離を CON 局面の遂行時間で除した値を $Throw_{index}$ として算出した。また、平均パワーの増加率と同様にして CT の $Throw_{index}$ に対する RT の $Throw_{index}$ の増加率 ($\%change_index$) を算出した。

4. 統計処理

各測定項目は平均値±標準偏差で示した。CTとRTの試技間の有意差検定には、対応のある t-test を用いた。競技成績と各パラメータとの相関係数はピアソンの方法を用いて算出した。また、CT の各パラメータと競技成績との相関係数と RT の各パラメータと競技成績との相関係数との有意差検定を行った。いずれも有意性は危険率 5% および 1% で判定した。

Ⅲ. 結果

表 1 に、CT および RT における各測定項目の結果を示した。ボールの飛距離、初速度、平均パワーは、いずれも RT が CT と比較して有意に高値を示した。CON 局面の遂行時間は、RT が CT と比較して有意に低値を示した。

図 2 に、競技成績と平均パワーとの関係を示した。両者の間には、CT では有意な相関関係は認められなかったが、RT では有意な正の相関関係が認められた。CT と RT における相関係数間には有意差は認められなかった。

図 3 に、競技成績と CT に対する RT の平均パワーの増加率との関係を示した。両者の間には有意な正の相関関係が認められた。

図 4 に、 $Throw_{index}$ および CT に対する RT の $Throw_{index}$ の増加率の結果を示した。 $Throw_{index}$ は、RT が CT と比較して有意に高値を示した。 $\%change_index$ は、 $17.3 \pm 8.1\%$ であった。

図 5 に、平均パワーと $Throw_{index}$ との関係を示した。両者の間には、CT および RT ともに高い有意な正の相関関係が認められた。

図 6 に、競技成績と $Throw_{index}$ との関係を示した。両者の間には、CT および RT ともに有意な正の相関関係が認められた。CT と RT における相関係数間には有意差は認められなかった。

図 7 に、競技成績と CT に対する RT の $Throw_{index}$ の増加率との関係を示した。両者の間には有意な正の相関関係が認められた。

Table 1 Results of performance in CT and RT. <, >: $p < 0.05$.

	Distance (m)	Timeecc (s)	Timecon (s)	Initial velocity (m/s)	Mean power (W)	%change_power (%CT)
CT	10.48 ± 1.12		0.29 ± 0.02	8.74 ± 0.99	295.28 ± 58.23	
RT	11.47 ± 1.28	0.20 ± 0.04	0.27 ± 0.03	9.53 ± 1.04	382.01 ± 93.98	29.0 ± 12.9
Difference	CT<RT		CT>RT	CT<RT	CT<RT	

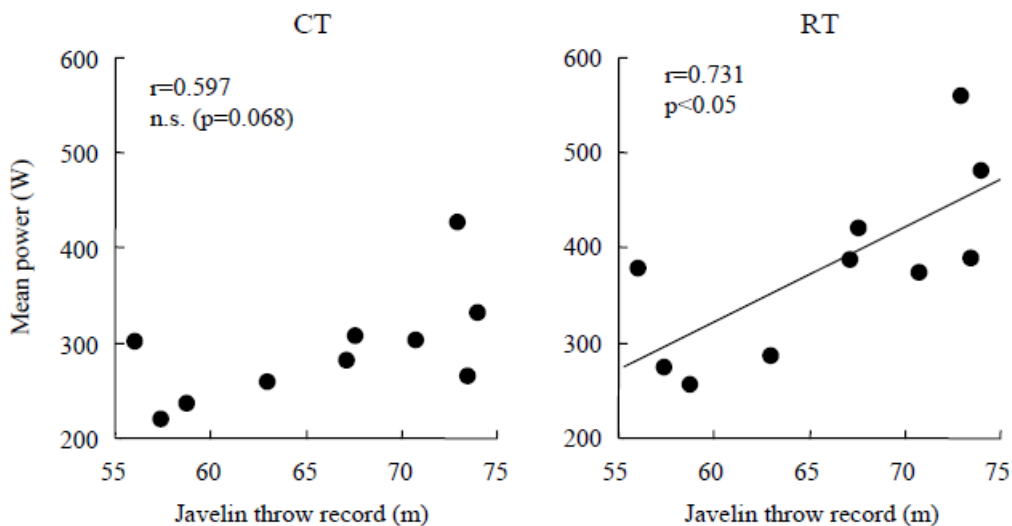


Figure 2 Relationships between javelin throw record and mean power in CT and RT

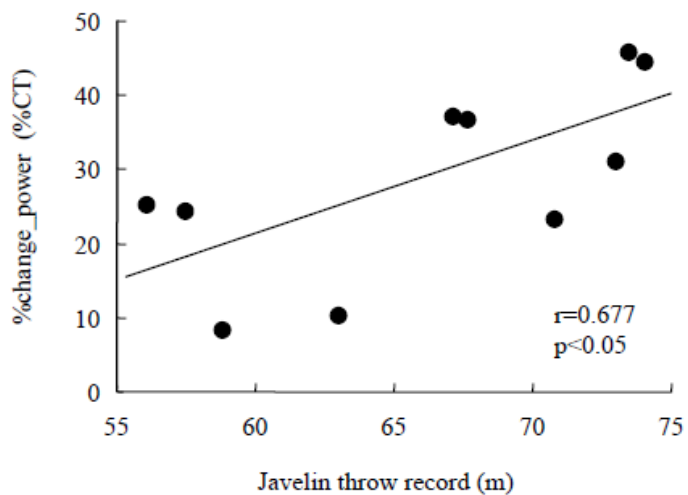


Figure 3 Relationship between javelin throw record and percent change of mean power in RT compared to CT

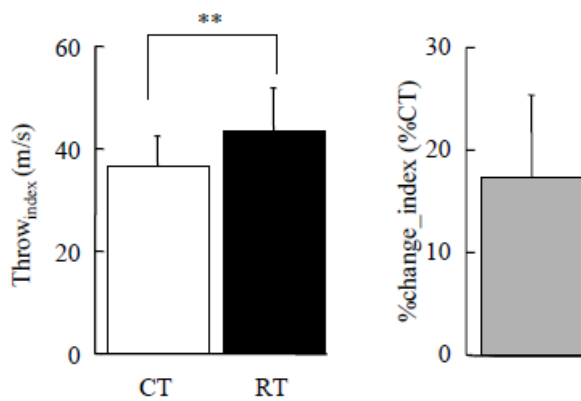


Figure 4 Results of $Throw_{index}$ and argumentation. **: $p<0.01$

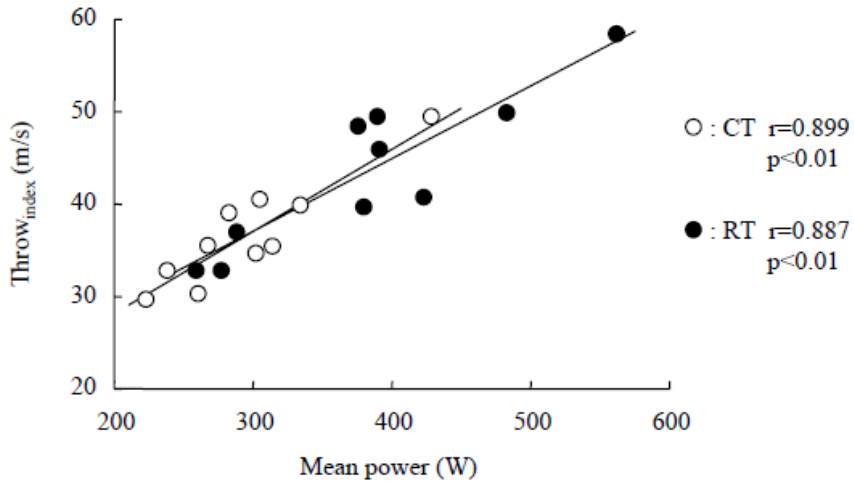


Figure 5 Relationship between mean power and Throw_{index} in CT and RT

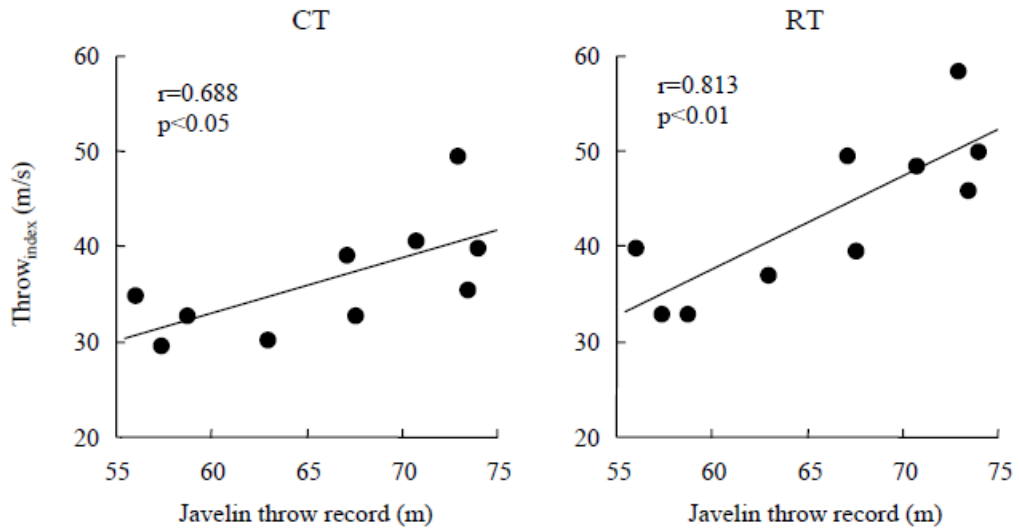


Figure 6 Relationships between javelin throw record and Throw_{index} in CT and RT

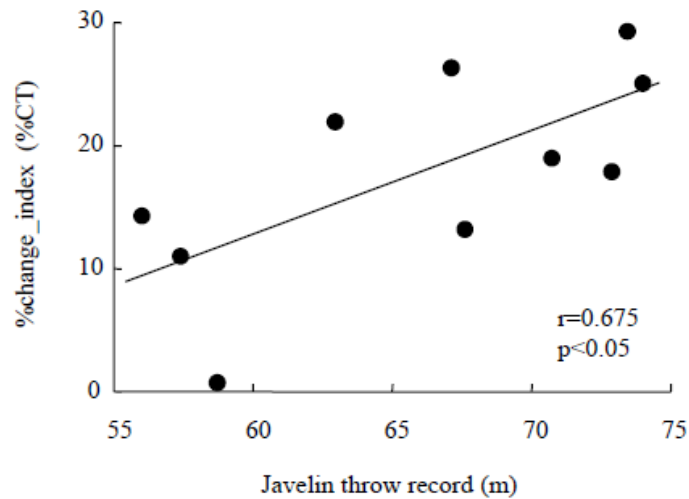


Figure 7 Relationship between javelin throw and percent change of Throw_{index} in RT compared to CT

IV. 考察

Mero et al. (1994)は、1992年バルセロナオリンピックにおける槍投げの決勝進出者の動作解析を行なった結果、槍投げの投局面における体幹の側屈と股関節の回旋時には、肩関節から上腕にかけての筋群が伸張され、つづく肘伸展時には短縮しており、このときSSCを有効に利用していると述べている。また、Bartlett et al. (1996)は、競技レベルの異なる槍投げ競技者を対象に槍投げの動作解析を行なった結果、槍の加速開始時点における右股関節とグリップとの水平距離が競技レベルの高いものほど大きいことを示し、このことは肩関節周りの筋群のSSCを効果的に利用するための要因の1つであるとしている。このように、槍投げにおいて上肢のSSCを有効に利用することが重要であることは推察されているが、実際に槍投げ競技

このことは、SSC運動を利用することによってパフォーマンスが増大すると報告した多くの先行研究の結果(Asumssen and Bonde-Petersen., 1974; Bosco and Komi, 1979)と一致し、本研究のRTでは上肢のSSC運動の効果が認められたことを示している。そこで、槍投げの競技成績とCTおよびRTの平均パワーとの関係をみると、RTでは有意な正の相関関係が認められ、CTでは有意ではないが正の相関関係を示す傾向($p=0.068$)にあった(図2)。このことは、槍投げの競技成績に優れるものは、投動作における上肢のパワー発揮能力に優れ、その傾向は特にSSC運動を利用したRTにおいて顕著であることを示すものである。世界レベルの男子槍投げ選手では、わずか0.13秒の間に重さ800gの槍をおよそ9m/sから30m/sまで加速させなければならない(Campos et al., 2004)。このような競技特性を考慮すると、槍投げ競技者にとって上肢のパワー発揮能力が重要であることは異論のないことであろう。RTにおいてのみ有意な相関関係が認められた理由には、競技成績とCTに対するRTの平均パワーの増加率との間に有意な正の相関関係が認められたこと(図3)

者における上肢のSSC運動の遂行能力を評価した研究はない。

そこで本研究は、まず槍投げ競技者における上肢のパワー発揮能力と競技成績との関係を明らかにし、次に上肢のSSC運動の遂行能力の指標として算出したThrow_{index}の有用性を検討した。

1. 槍投げの競技成績と上肢のパワー発揮能力との関係

本研究では、槍投げ競技者における上肢のSSC運動の遂行能力を評価する運動として、SSC運動を利用しない投動作であるCT、およびSSC運動を利用した投動作であるRTを用いた。その結果、ボールの飛距離、初速度および平均パワーは、いずれもRTがCTと比較して有意に高値を示した(表1)。

があげられる。つまり、競技成績に優れるものは、CTで発揮される筋の短縮性収縮パワーに優れる傾向にあるが、加えてSSC運動の効果をよりうまく利用することによって、RTにおける発揮パワーをさらに増大させていたということである。このことは、槍投げ競技者はSSCの効果を有効に利用することが重要であるとした先行研究(Mero et al., 1994; Bartlett et al., 1996)の推察を間接的に支持するものである。SSC運動の効果は、伸張反射の利用、筋の増強作用および筋-腱複合体に蓄えられる弾性エネルギーの再利用にまとめられる。これらを有効に活用するためには、動作開始前に筋を予備的に活性化すること、筋-腱複合体の伸張量を大きくすること、伸張から短縮への移行を素早く行うことなどが重要であるとされている(Bosco and Komi, 1979; Aura and Komi, 1986)。競技成績の優れるものは、長期にわたる槍投げに関するトレーニングによって、このようなSSCの効果をより有効に投局面に利用できる神経-筋機能、あるいは動作技術を獲得していたものと考えられる。

2. 槍投げ競技者における上肢のパワー発揮能力

の評価法とその有用性

ここまでの結果から、槍投げの競技力向上のためには、SSC 運動を利用した投動作における上肢のパワー発揮能力が重要であることが示された。本研究では、上肢が発揮したパワーをバイオメカニクス的手法を用いて算出したが、この方法では撮影時のキャリブレーションや分析時のデジタイズなど専門的な知識や機材が必要となり、何よりも多くの手間と時間が要求される。しかし、各種スポーツ競技者の体力特性を測定評価する際には、いつでも、どこでも、だれにでも簡便に実施できることが望まれる(図子ら, 1993)。したがって、本研究ではできる限り簡便に上肢の SSC 運動の遂行能力を評価できるように、メジャーで計測したボールの飛距離を映像のコマ数を数えることで算出した CON 局面の遂行時間で除した値である $Throw_{index}$ を用いた。その結果、 $Throw_{index}$ は RT が CT と比較して有意に高値を示した(図 4)。また、平均パワーと $Throw_{index}$ との関係を見ると、CT および RT ともに高い有意な正の相関関係が認められた(図 5)。これらのことは、 $Throw_{index}$ は CT および RT において上肢が発揮した平均パワーをよく反映した値であることを示唆するものである。この理由としては、ボールの飛距離は、空気抵抗を無視し、投射高および投射角が一定であると仮定すると上肢がボールに加えた力学的仕事で決まることから、その飛距離を CON 局面の時間で除すことにより、CON 局面の平均パワーと類似した値になったと考えられる。なお、平均パワーと $Throw_{index}$ との相関関係に若干のばらつきが認められた原因として、投射高および投射角度に個人差があったことがあげられる。

この $Throw_{index}$ および $\%change_index$ を用いて、槍投げの競技成績との関係を検討した結果、CT および RT ともに競技成績と $Throw_{index}$ との間に有意な正の相関関係が認められ(図 6)、競技成績と $\%change_index$ との間にも有意な正の相関関係が認められた(図 7)。これらの結果は、競技成績と平均パワーおよび平均パワーの変化率との関

係の結果とほぼ類似したものである。このことは、 $Throw_{index}$ を用いることによって、槍投げの競技成績に対してバイオメカニクス的手法を用いて算出した平均パワーと同等の評価ができることを示唆するものである。

なお、CT において競技成績と平均パワーとの間には有意な相関関係が認められず、 $Throw_{index}$ との間には有意な正の相関関係が認められた理由として、平均パワーには投射高および投射角が反映されておらず、 $Throw_{index}$ には反映されていることが考えられる。つまり、競技成績に優れるものは劣るものと比較して、より適切な投射高あるいは投射角で投げ出していたことから、仮に平均パワーが同じでもより大きな飛距離を獲得できるように $Throw_{index}$ は高値となるということである。しかしながら、CT の $Throw_{index}$ と競技成績との相関係数は、RT の $Throw_{index}$ と競技成績との相関係数と比較して、統計的な有意差は認められないが低値を示している(図 6)。図 2 の結果とあわせて考えると、槍投げの競技力向上のためには、SSC 運動を利用した投動作における上肢のパワー発揮能力に優れることがより重要であることは妥当な解釈であろう。

陸上競技では、コントロールテストを行う際に下肢に関するテスト項目(30m走, 60m走, 立ち幅跳び, バウンディングなど)は多く行われるが、上肢に関するテスト項目は非常に少ないのが現状である。本研究の結果を考慮すれば、槍投げ競技者の能力評価の運動として RT を、またその評価値としてボールの飛距離を投時間で除した $Throw_{index}$ をそれぞれ用いることが有用であることが示唆された。

参考文献

- Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol. Scand.* 91: 385-392.

- Aura, O. and Komi, P. V. (1986) Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercises. *Int. J. Sports Med.* 7: 137 - 143.
- Bartlett, R., Muller, E., Lindinger, S., Brunner, F. and Morriss, C. (1996) Three-Dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *J. Appl. Biomech.* 12: 58-71.
- Bosco, C. and Komi, P. V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta physiol. Scand.* 106: 467-472.
- Bosco, C., Komi, P. V. and Ito, A. (1981) Prestretch potentiation of human skeletal muscle during ballistic movement. *Acta Physiol. Scand.* 111: 135-140.
- Champos, J., Brizuela, G. and Ramon, V. (2004) Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. *New studies in Athletics* 19: 47-57.
- 池上康男・橋本勲(1982) 槍投げの動作. *体育の科学* 38:106-111.
- Komi, P. V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports and Exerc.* 10: 261-265.
- Mero, A., Komi, P. V., Korjus, T., Navarro, E. and Gregor, R. J. (1994) Body segment contributions to Javelin throwing during final thrust phases. *J. Appl. Biomech.* 10: 166-177.
- Melvill - Jones, G. and Watt, D. G. D. (1971) Muscular control of landing from unexpected falls in man. *J. Physiol.* 219: 729 - 737.
- 三浦健・凶子浩二・鈴木章介・松田三笠・清水信行 (2002) バスケットボールにおけるチェストパス能力を高める上肢のプライオメトリックス手段に関する研究. *体育学研究* 47: 141-154.
- Morriss, C., Bartlett, R. and Fowler, N. (1997) Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics. *New studies in Athletics* 12: 31-41.
- 野友宏則・富樫時子・阿江通良 (1998) 記録水準の異なる選手のやり投げ動作に関するキネマティック的研究. *陸上競技研究* 32: 32-39.
- 桜井伸二・池上康男・矢部京之介・岡本敦・豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の 3次元動作解析. *体育学研究* 35:143-156.
- 田内健二・尹聖鎮・栗山佳也・高松薫 (2002) 下肢のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力からみた槍投げ競技者の体力特性. *体育学研究* 47: 569-557.
- 田内健二・尹聖鎮・山田哲・高松薫 (2003) 投動作における上肢の伸張-短縮サイクル運動の有効性:伸張局面におけるみかけ上の Stiffness 特性に着目して. *体育学研究* 48: 137-152.
- 高松薫 (1980) ヤリ投げの記録に影響する技術的要因. *体育の科学* 30:493-497.
- 凶子浩二・高松薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ競技者における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究* 38: 265-278.