

原 著

円盤投げにおける身体合成重心速度が投てき記録と動作に及ぼす影響

The Effects of Translational Velocity of the Center of Mass on Throwing Movement and Performance in Discus Throw

山 本 大 輔¹⁾

Daisuke Yamamoto¹⁾

伊 藤 章²⁾

Akira Ito²⁾

Abstract

The purpose of this study was to investigate relationships between the translational velocity of the center of mass of including thrower and discus (CM) and the throwing distance or the movements in discus throw. Subjects were 19 male discus throwers selected from the 11th World Championships in Athletics in Osaka and the 91st Japan Track and Field National Championships, and also in experimental trials. The throwing movements were recorded by two or three digital video cameras (60 Hz). From the video data of trials when each athlete had thrown the longest distance, three-dimensional coordinates of their body landmarks and the center of the discus were calculated with the direct linear transformation method. The throwing movements were divided into six instants and analyzed.

In the results, the translational velocity of CM at left-foot-takeoff (L-off) and right-foot-touch-down (R-on) were recognized as a negative correlation with the throwing distance. And also, Δ translational velocity of CM during first single-support phase (SS1) showed a negative correlation with the throwing distance. Significant negative correlations were found between the rotational velocity of hip at L-off, the trunk torsion angle at R-on and the translational velocity of CM at same instants.

These results indicate that the larger acceleration of translational velocity of CM during SS1 is not necessary for throwers in order to obtain longer throwing distance in discus throw. And, the thrower should kick the ground not to accelerate the translational velocity of CM, but to increase the rotational velocity of hip during SS1.

キーワード 円盤投げ, 投てき, 身体重心, 捻転

discus throw, throwing, center of mass, torsion

¹⁾ 大阪体育大学大学院 *Graduate school of Osaka University of Health and Sport Sciences*

²⁾ 大阪体育大学 *Osaka University of Health and Sport Sciences*

抄 録

本研究の目的は、円盤投げにおける身体と円盤の合成重心速度が投てき記録及び動作に与える影響を調査することである。測定対象選手は大阪で開催された第11回世界陸上競技選手権大会と第91回日本陸上競技選手権大会、および実験における19名の男子円盤投げ選手である。2台から3台のDVカメラ（60Hz）を用いて投てき動作の撮影を行った。それぞれの選手が最高記録を記録した試技の映像から、DLT法を用いて身体各24点と円盤中心の3次元座標値を算出した。左足離地時（L-off）と右足接地時（R-on）の合成重心速度は投てき記録との間にそれぞれ有意な負の相関関係が認められた。また、左脚支持局面（SS1）の Δ 合成重心速度においても投てき記録との間に有意な負の相関関係が認められた。L-offにおける合成重心速度と腰の回旋速度との間に有意な負の相関関係が認められ、R-onにおける合成重心速度と体幹の捻転角との間にも有意な負の相関関係が認められた。

これらの結果から、投てき記録を高める上でSS1局面中に合成重心速度をより加速させる必要がないことが明らかとなり、SS1局面において投てき者は合成重心速度を加速させるのではなく、腰の回旋速度を高めるように地面に対してキックすべきであることが示唆された。

1. 緒言

円盤投げは陸上競技における投てき種目の一つであり、投てき方向に背を向けた状態で構え、一回転半のターン動作を用いて円盤を投げて投てき距離を競う競技である。投てき距離が競技成績を決めるという特徴を持つため、円盤のリリースパラメータについて多くの報告がなされ、特に円盤の初速度が最も重要な要因であるとされている（Gregor et al., 1985；McCoy et al., 1985；植屋ほか, 1994；宮西ほか, 1997；山本ほか, 2008）。そのため、より高い初速度を獲得する上で重要となる動作や体力的要因を明らかにするために、これまで様々な視点から多くの研究がなされてきている（小堀, 1986；平賀ほか, 2004；Leigh and Yu, 2007；田内, 2007；田内ほか, 2007）。また、円盤投げはやり投げや砲丸投げにおけるグライド投法などと異なりターン動作を用いることから、角運動量に関する研究もなされ（Dapena, 1993；宮西ほか, 1998；宮西, 2000；松尾・湯浅, 2005）、投てき動作前半における身体と円盤の鉛直軸回りの正の角運動量の獲得が円盤の水平速度を高める上で重要であることが報告されている（Dapena, 1993）。投てき者の並進運動に関して考察している研究では、投てき方向への高い並進速度を獲得するために左脚支持局面中に投てき方向への大きなキック力を発揮することや（Yu et al.,

2002）、最終局面直前の左足接地時（パワーポジション）までに身体重心速度をより高めておく事（松尾と湯浅, 2005）など、角運動量だけでなく身体重心の並進速度を高めることも投てき記録を高める上で重要な要因の一つであることが報告されている。

投てき動作に直線的な助走を用いるやり投げ競技においても、助走中の高い身体重心速度を体幹の前方回転速度に転換し、その速度を利用した投てき動作によって高いヤリの初速度を発揮する事が重要であること（村上ほか, 2006）や、リリース直前の最終局面までに身体重心速度によって高められる体幹部の力学的エネルギーを上肢およびヤリの加速に活かす事の出来る投てき技術の獲得が重要であること（田内ほか, 2006）など、投てき直前までの身体重心速度の重要性について明らかにされてきている。しかし、円盤投げにおいて動作局面毎に円盤と身体合成重心速度と投てき記録および動作について検討した研究は見当たらない。また、円盤と身体合成重心速度が投てき記録や動作に及ぼす影響を明らかにすることで、指導や技術トレーニングにおける目標設定や問題解決に有用な情報を提供することが出来ると考えられる。そこで、本研究では広範な競技レベルを有する円盤投げ選手を対象に、身体と円盤の合成重心速度と投てき記録との関係を明らかにするとともに

に、身体と円盤の合成重心速度が円盤投げ動作に及ぼす影響を明らかにし、円盤投げにおけるパフォーマンス向上に役立つ知見を明らかにする事を目的とした。

2. 研究方法

2.1 測定対象

測定対象は、円盤投げを専門とする右手投げ

の成人男性19名である。その内訳は、第11回世界陸上競技選手権大会（大阪）の決勝進出者9名、第91回日本陸上競技選手権大会（大阪）の決勝出場者7名および実験条件下の3名である（表1）。

2.2 撮影方法

世界陸上競技選手権大会および日本陸上競技

Table I. Anthropometric measurements and record of the Subjects.

	11 th World Championships in Athletics in Osaka n = 9		91 st Japan Track and Field National Championships n = 7		Experimental trial n = 3		Total n = 19	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Body Height (m)	1.98	0.03	1.84	0.03	1.82	0.05	1.90	0.08
Body Mass (kg)	121.8	5.8	95.5	11.6	76.7	8.5	105.0	19.4
Record (m)	64.73	2.45	48.66	5.74	41.32	2.42	55.12	10.41

選手権大会では、陸上競技場の観客席上段に設置した2台のDVカメラ（HVR-AJ1, Sony）を用いて、サークルの右側方と後方より60fpsで全ての試技を撮影した。実験では最大努力で3回試技を行わせ、投てきサークルを囲むように120度ごとに設置した3台のDVカメラ（DSR-PD150, Sony）を用いて60fpsで投てき動作を撮影した。また、サークルの中心を原点とし、投てき方向4m×横4m×高さ2.5mの画角を設定

し、あらかじめ較正点間の距離が分かっているキャリブレーションボールを画角内（9ヶ所）に垂直に立てて撮影した（図1）。なお、世界陸上競技選手権大会および日本陸上競技選手権大会での撮影は、日本陸上競技連盟科学委員会の活動によるものである。

2.3 データ処理

それぞれの選手が最高記録を記録した試技の映像における身体各24点と円盤中心を、動作解析システム（Frame-DIAS II, DKH）を用いて毎秒60コマでデジタイズし、DLT法（Direct Linear Transformation method）を用いて3次元座標値を算出した。その後、残差分析法（Winter, 1990）によって身体各部と円盤の最適遮断周波数（6.0–11.2Hz）を決定し、4次のButterworth low-pass digital filterにより平滑しデータとして用いた。全ての測定における較正点の実測値と計算値との平均誤差の範囲は、投てき方向に対して左右方向（静止座標系におけるX軸）が5–15mm、投てき方向（Y軸）が4–19mm、鉛直方向（Z軸）が6–12mmであった。

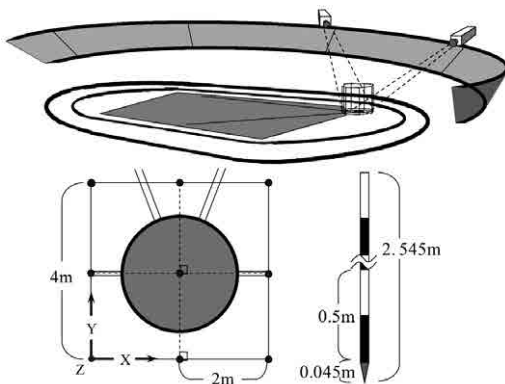


Fig 1 Setups for DV cameras, calibration points, and global reference frame.

2.4 円盤投げの動作時点と局面の定義

分析を行なうにあたり、円盤投げ動作を以下のように分けた。すなわち、動作時点をターン動作開始 (T-st)、右足離地 (R-off)、左足離地 (L-off)、右足接地 (R-on)、左足接地 (L-on)、円盤のリリース (Rel) とし、T-stからR-offまで

を両脚支持局面 (DS)、R-offからL-offまでを左脚支持局面 (SS1)、L-offからR-onまでを非支持局面 (NS)、R-onからL-onまでを右脚支持局面 (SS2)、L-onからRelまでを投げ出し局面 (DV) とした (図2)。

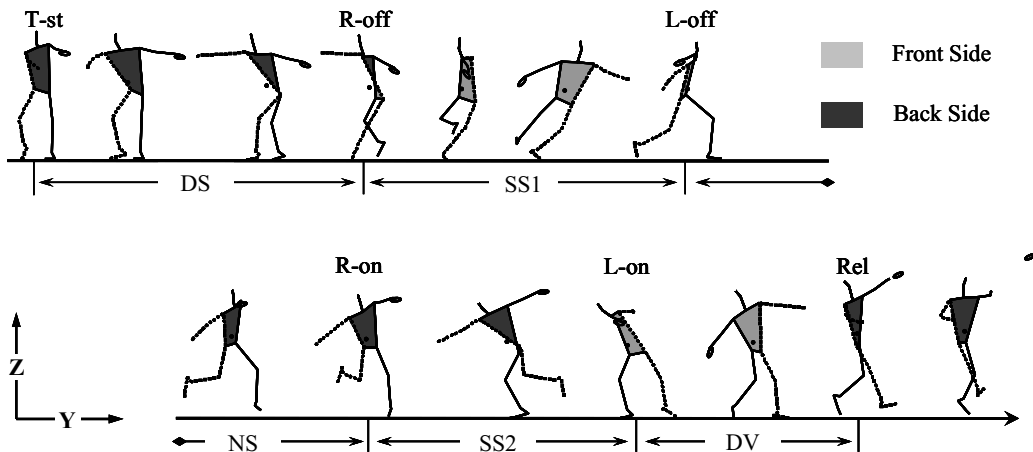


Fig 2 For a right-handed athlete, a discus throw has six critical instants; turn-start (T-st), right-foot takeoff (R-off), left-foot takeoff (L-off), right-foot touchdown (R-on), left-foot touchdown (L-on), and release of discus (Rel). These six critical instants divided a discus throw into five phases; initial double-support (DS), first single-support (SS1), non-support (NS), second single-support (SS2), and delivery (DV).

2.5 分析項目と算出方法

円盤投げにおける身体と円盤を合成した重心速度と投てき記録および投てき動作との関係を明らかにするために以下の項目について算出した。

- 1) 円盤速度：円盤中心の合成速度。
- 2) 合成重心速度：阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて算出した身体重心に円盤 (2kg) を加えて求めた合成重心の速度。
- 3) 肩の回旋速度：左右の肩関節を結ぶ線の、角度変化を時間で微分して求めた。肩の回旋速度は上から見てターン動作に伴う反時計回りの回旋速度を+として表した。
- 4) 腰の回旋速度：左右の大転子を結ぶ線の角

度変化を時間で微分して求めた。腰の回旋速度も肩の回旋速度と同様に上から見て反時計回りの回旋速度を+として表した。

- 5) 体幹の捻転角：両大転子中点を原点とし体幹の長軸をZ軸とする運動座標系を定義し、X-Y平面における両肩を結んだ線分と両腰を結んだ線分とのなす角として求めた。肩と腰が正対した状態を 0° とし、右肩が後方にある状態の捻りを+とした。

2.6 統計処理

本研究における統計処理は、2変数間の関係を把握するために、ピアソンの積率相関係数を用い、危険率5%未満をもって有意と判定した。

3. 結果

投てき動作中の円盤速度と合成重心速度の変化を、局面毎に動作時間を19名の平均動作時間で標準化することで平均変化曲線として算出し図3aと図4aに示した。それぞれの図における実線は平均値、グレーの範囲は標準偏差である。

3.1 円盤速度と投てき記録との関係

図3aに投てき動作中の円盤速度の平均変化曲線を示した。円盤速度はT-stから緩やかに増

加しSS2局面でやや減少した後、L-on前からRelまで急激に増加する傾向を示した。円盤速度はR-offとL-onおよびRelにおいて投てき記録との間にそれぞれ有意な正の相関関係 ($r = 0.505$, $p < 0.05$; $r = 0.564$, $p < 0.05$; $r = 0.962$, $p < 0.001$) が認められた (図3b)。またDS局面及びDV局面における Δ 円盤速度は投てき記録との間にそれぞれ有意な正の相関関係 ($r = 0.551$, $p < 0.05$; $r = 0.708$, $p < 0.001$) が認められた (図3c)。

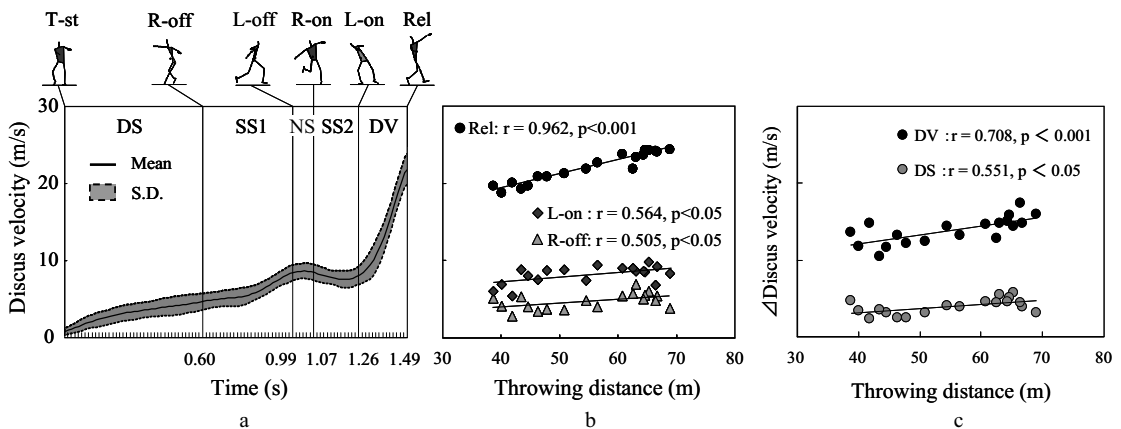


Fig3 (a) The average time course curve of the disc velocity in 19 throwers. And, relationships between (b) disc velocity at R-off and L-on and Rel, (c) Δ disc velocity during DS and DV and the throwing distance.

3.2 合成重心速度と投てき記録との関係

図4aに投てき動作中の合成重心速度の平均変化曲線を示した。身体と円盤の合成重心はT-stからSS1局面中盤まで左足方向へ一旦移動した後、Relまで投てき方向に向かって直線的に移動した。その速度はL-offまでに高まり、その後Relまで減少する変化を示した。合成重心速度はL-offとR-onの主に投てき動作中盤において、投てき記録との間にそれぞれ有意な負の相関関係 ($r = -0.587$, $p < 0.01$; $r = -0.574$, $p < 0.05$) が認められた (図4b)。またSS1局面の Δ 合成重心速度においても投てき記録との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.521$, $p < 0.01$) が認められた (図4c)。

3.3 合成重心速度と肩及び腰の回旋速度との関係

肩の回旋速度はどの時点においても合成重心速度との間に有意な関係は認められなかったが、腰の回旋速度はL-offにおいて合成重心速度との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.550$, $p < 0.05$) が認められた (図5)。

3.4 合成重心速度と体幹の捻転角との関係

体幹の捻転角はR-onにおいて合成重心速度との間に有意な負の相関関係 ($r = -0.536$, $p < 0.05$) が認められた (図6)。

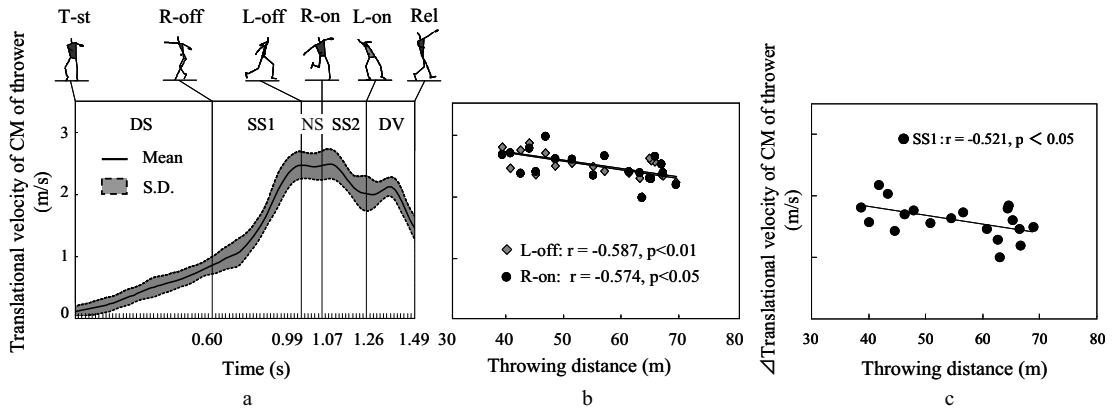


Fig4 (a) The average time course curve of the translational velocity of center of mass (CM) of throwers in 19 throwers. And, the relationships between (b) translational velocity of CM of throwers at L-off and R-on, (c) Δ translational velocity of CM of throwers during SS1 and the throwing distance.

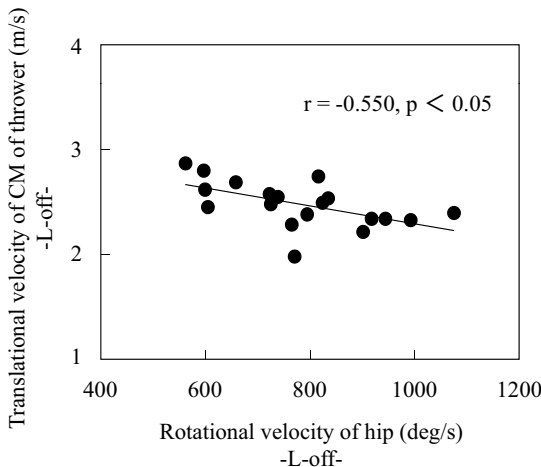


Fig 5 Relationship between translational velocity of CM of thrower and rotational velocity of hip at L-off.

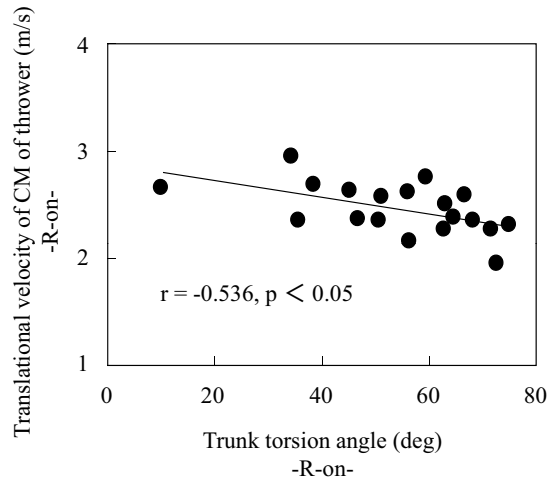


Fig 6 Relationship between translational velocity of CM of thrower and trunk torsion angle at R-on.

4. 考察

アメリカ一流の男子円盤投げ選手を対象に、Yu et al. (2002) は投てき記録の高い選手ほどSS1局面における投てき方向への水平地面反力が大きかったことから、より高い投てき記録を獲得するためには、投てき方向への身体重心速度を高めることが重要であると報告している。松尾と湯浅 (2005) は、大学の一般的な投てき選手を対象に動作解析し、初速度とL-onの身体重心速度との関係から、L-onまでに身体重心速

度を高めておくことが投てき記録を高める重要な要因の一つであると報告している。しかし、本研究ではこれらの研究とは異なる結果を得た。すなわち、投てき記録が良い選手ほどSS1局面の合成重心速度の増加が小さく、L-offからR-onのNS局面における合成重心速度がより低かった。またL-offで合成重心速度が低い選手ほど腰の回旋速度が高く、続くR-onでは体幹の捻転角がより大きくなる傾向が認められた。もし、キック力のベクトルが合成重心方向と一致する

と合成重心の速度は高まるが鉛直軸周りの回転速度は生じない。上述のYu et al. (2002) は身体重心速度や回転速度については測定していない。したがって彼らの報告したSS1局面中の投てき方向への地面反力は身体重心速度ではなく主に回転速度を高めるために働いた可能性がある。もしそうであるとする、彼らの結果は本研究の結果と矛盾していない。つまり、本研究における投てき記録の良い選手は、SS1局面中に投てき方向へのキック力を小さくすることで合成重心速度を低くしていたのではなく、腰の回旋速度を高めるように合成重心からそれた方向へ大きなキック力を発揮していたことが推察される。その結果、L-offでは合成重心速度が高まらず、合成重心速度が低い選手ほど腰の回旋速度が高いという結果が得られたのであろう。

NS局面後のR-onでは合成重心速度が低い選手ほど体幹の捻転角がより大きくなっていった。この体幹の捻転角は、腰の回旋速度が肩の回旋速度より高いことによって生ずる。NS局面開始時点のL-offでは、肩の回旋速度は合成重心速度との間に有意な相関関係が認められなかった。つまり、NS局面における捻転角はL-offにおける腰の回旋速度が大きかった為に得られたものである。

多くの指導書ではSS2局面中に左腕や素早い

左足の動作によって下半身を先行させて体幹の捻りを作り出し、L-onで円盤を出来るだけ後ろに残しておくことが重要であるとしている（小野勝次, 1973；金子今朝秋, 1988；尾懸貢, 1990；佐々木秀幸, 岡野進, 恩田実, 1991；安井年文, 1999）。そこで、SS2局面における体幹の捻転角の変化量とNS局面の体幹の捻転角の変化量を調べたところ、NS局面で体幹の捻転角が増加する選手ほどSS2局面で体幹の捻転角が減少する傾向（ $r = -0.569$, $p < 0.05$ ；図7）が得られた。上述のように、本研究ではNS局面の合成重心速度が低い選手ほど投てき記録が良く、R-onでの捻転角が大きいという傾向を得ている。つまり、本研究の結果は、体幹の捻転角を増加させるタイミングが指導書のSS2局面よりも早いNS局面の方が良いということを示唆している。さらに、NS局面に続くSS2局面終了時点のL-onの円盤速度は投てき記録との間に有意な正の相関関係があることから、上記の指導書のようにSS2局面において体幹の捻転角を増加させることはむしろ円盤速度の減少を引き起こす可能性がある。そのことを確かめるために、SS2局面の体幹の捻転角と円盤速度の変化量を調べたところ、体幹の捻転角が増加する選手ほど円盤速度が有意に減少するという結果（ $r = -0.585$, $p < 0.01$ ；図8）を得た。しかし、投てき動作

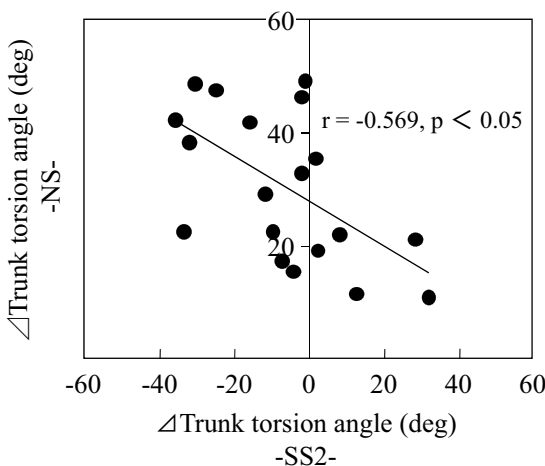


Fig 7 Relationship between Δ trunk torsion angle during NS and Δ trunk torsion angle during SS2.

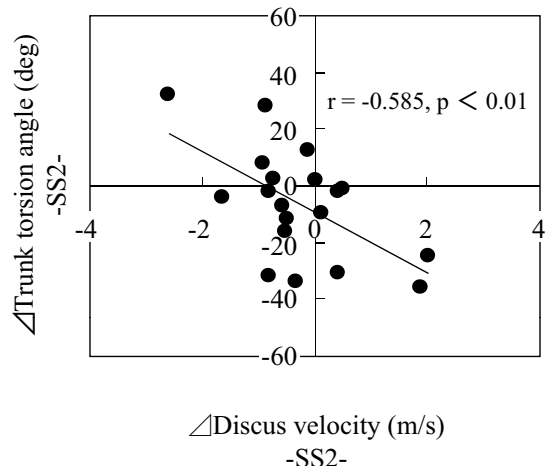


Fig 8 Relationship between Δ trunk torsion angle and Δ discus velocity during SS2.

中の体幹の最大捻転角の大きさと投てき記録との間には有意な相関関係は認められなかった。このことは、体幹の捻転動作は捻転角を増加させるタイミングに重要な意味があることを示唆するものであり興味深い結果であった。

5. 結論

本研究では広範な競技レベルを有する円盤投げ選手を対象に三次元動作解析した。その結果以下のことが明らかとなった。

- 1) 投てき記録が良い選手ほど、SS1局面における合成重心速度の増加が小さく、L-offからR-onのNS局面における合成重心速度が低かった。
- 2) L-offで合成重心速度が低い選手ほど、SS1局面中に腰の回旋速度を高めるように合成重心からそれた方向へ大きなキック力を発揮していたことが示唆された。
- 3) 体幹の捻転角はSS2局面よりも早いNS局面で増加させる方が良く、SS2局面中に体幹の捻転角を増加させると円盤速度の減少を引き起こす可能性があることが示唆された。

謝 辞

本稿を作成するにあたり、競技の撮影にご尽力いただいた日本陸上競技連盟科学委員会投擲班のメンバーをはじめ、実験に協力していただいた皆様に心から感謝いたします。

また、分析にあたり、多くの貴重なご助言をいただきました大阪体育大学大学院バイオメカニクス研究室の先生方、学生諸氏、大阪産業大学の田邊智准教授に対し厚く感謝すると同時に謹んでお礼申し上げます。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn J Sports Sci.*, 15: 155-162.
- 伊藤章、村上雅俊、田邊智 (2006) やり投げの投射条件、助走速度と記録との関係。第11回世界陸上競技選手権大会決勝進出者と日本選

- 手の測定結果。陸上競技研究紀要, 2: 159-161.
- Dapena, J. (1993) New insights on discus throwing. *Track Technique*, 125, 3977-3983.
- Gregor, R. J., Whiting, W. C., and McCoy, R. W. (1985) Kinematic analysis of Olympic discus throwers. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 131-138.
- 平賀徹、繁田進、有吉正博、宮崎義憲 (2004) 男子円盤投げの投てき技術に関する筋電図学的研究. 陸上競技研究第58 (3): 20-27.
- 金子今朝秋 (1988) 投てき競技総論, 円盤投げ. 陸上競技指導教本. 日本陸上競技連盟編, 大修館書店, 187-234.
- 小堀孝倫 (1986) 円盤投げの「振り」運動. 日本大学芸術学部紀要, 16: 96-100.
- Leigh, S., and Yu, B. (2007) The associations of selected technical parameters with discus throwing performance: A cross-sectional study. *Sports Biomechanics*, 6 (3): 269-284.
- 松尾宣隆、湯浅景元 (2005) 円盤投げ動作における身体重心速度が円盤速度と円盤+投擲者角運動量に及ぼす効果. 中京大学体育学論叢, 46 (2): 33-43.
- McCoy, R. W., Whiting, M. W. C., Rich, R. G., and Gregor, R. J. (1985) Kinematic analysis of discus thrower. *Track and Field*, 91, 2902-2905.
- 宮西智久、富樫時子、川村卓、桜井伸二、若山章信、岡本敦、只左一也 (1997) アジア大会における円盤投げのバイオメカニクスの分析. アジア一流陸上競技者の技術-第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告-. 日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス研究班編, 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良 (監修), 創文企画, 169-181.
- 宮西智久、桜井伸二、若山章信、富樫時子、川村卓 (1998) アジア一流選手における円盤投げの角運動量の3次元解析. バイオメカニクス研究2 (1): 10-18.
- 宮西智久 (2000) 円盤の速度増大メカニズム-角運動量からみた2つの仮説: Dapena説と宮西・桜井説 (“ジャイロモデル”). 陸上競技研究 (4): 29-36.

- 尾懸貢 (1990) 円盤投げ. Q&Aシリーズ 実践
陸上競技_フィールド編_. 日本陸上競技連盟
編, 大修館書店, 173-183.
- 佐々木秀幸, 岡野進, 恩田実 (1991) 円盤投げ.
シリーズ絵で見るスポーツ1陸上競技. ベー
スボール・マガジン社, 141-154.
- 田内健二 (2007) 円盤投げにおける動作時間と
投てき記録との関係. 陸上競技のサイエンス.
月刊陸上競技マガジン, 41 (10) : 228-231.
- 田内健二、村上雅俊、高松潤二、阿江通良
(2006) 日本一流男子槍投げ選手の技術分析.
陸上競技研究紀要, 2: 155-157.
- 田内健二, 磯繁雄, 持田尚, 杉田正明, 阿江通
良 (2007) 円盤投げの動作時間と投てき記録
との関係. 陸上競技研究紀要, 3: 25-31.
- 植屋清見, 池上康男, 中村和彦, 桜井伸二, 岡
本敦, 池川哲史 (1994) 円盤投げのバイオメ
カニクスの分析. 世界一流競技者の技術-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-. 日本陸上競技連盟強化本
部バイオメカニクス研究班編, 佐々木秀幸,
小林寛, 阿江通良 (監修), ベースボール・
マガジン社, 257-271.
- 山本大輔, 伊藤章, 田内健二, 村上雅俊, 淵本
隆文, 田邊智 (2008) 世界1位と日本1位の男
子円盤投げ選手の円盤加速動作の比較. 陸上
競技研究紀要, 4: 124-127.
- 安井年文 (1999) 円盤投げにおける有効なター
ン動作とは?. 陸上競技を科学する. 関岡康
雄編著, 筑波大学陸上競技指導者研究会編,
道和書院, 122-125.
- Yu, B., Broker, J., and Silvester, L. J. (2002) A
Kinematic Analysis of Discus-Throwing
Techniques. Sport Biomechanics, Vol.1, (1) 25-
46.
- Winter, D. A. (1990) Biomechanics and motor
control of human movement (2nd ed.). John
Wiley and Sons. Inc., Toronto, 65-83.