

ハンマー投における高重量ハンマーを使用したトレーニングが 投てき距離および技術に及ぼす影響の検討

広瀬 健一¹⁾ 大山 卞圭悟²⁾ 藤井 宏明³⁾ 青木 和浩⁴⁾
前田 奎¹⁾ 梶谷 亮輔¹⁾ 尾懸 貢²⁾

Kenichi Hirose¹, Keigo Ohyama Byun², Hiroaki Fujii³, Kazuhiro Aoki⁴, Kei Maeda¹, Ryosuke Kajitani¹ and Mitsugi Ogata²: Effects of heavier hammer training on throwing distance and technique in the hammer throw. Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 62: 215-226, June, 2017

Abstract : The purpose of this study was to investigate the cumulative effect of training with the heavier hammer (8.0 kg). Sixteen male hammer throwers were divided into a TR group (n=8) and a CT group (n=8). The TR group trained with the heavier hammer (8.0 kg) for 4 weeks. In order to investigate the effect of the training, tests were conducted before and after training. Utilizing 3 high-speed video cameras (300 fps), the 3-dimensional coordinates of the hammer head and 25 landmarks on the body were obtained by the direct linear transformation method. The results showed that in the TR group, the throwing record was increased and the release velocity increased due to an increase of velocity increment during the turn. The maximum centrifugal force was increased in the all double support phase after training in the TR group. With regard to the lower limb joint angles, bending motion of the hip and the knee joint was emphasized after training in the TR group. These results suggest that throwing with the heavier hammer is an effective training method for improving the throwing distance, and for throwing action against the increased load during the turn phase.

Key words : throwing events, three-dimensional motion analysis, resisted training
キーワード : 投てき競技, 3次元動作分析, レジスティッドトレーニング

I. 緒 言

陸上競技のハンマー投で使用するハンマーは一般男子の場合、全長1.175—1.215 m、重量7.26 kg (16 lb) である。ハンマーの飛距離を決定す

る最も重要な要因はリリース時におけるハンマーヘッドの初速度であることが示されている(坂東ほか, 2006; 池上ほか, 1994; Isele and Nixdorf, 2010; 室伏ほか, 1982)。ハンマーを投てきする際のハンマーヘッドに作用する力に関して、Dapena (1982) は 67.50 m の投てきにおいて

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
3) 環太平洋大学体育学部
〒709-0863 岡山県岡山市東区瀬戸町観音寺721
4) 順天堂大学スポーツ健康科学部
〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1
連絡先 広瀬健一

1) *University of Tsukuba, Graduate school of Comprehensive Human Sciences*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2) *University of Tsukuba, Faculty of Health and Sport Sciences*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
3) *International Pacific University, Department of Physical Education*
721 Kanonji, Seto, Higashi, Okayama 709-0863
4) *Juntendo University, School of Health and Sports Science*
1-1 Hiragagakuendai, Inzai, Chiba 270-1695
Corresponding author hiroken8604@gmail.com

2750 N の力がハンマーヘッドに作用することを報告しており、一流競技者を対象とした研究では、3000 N を超える力を示すことが報告されている (Murofushi et al., 2005 ; 岡本, 2007). ハンマーヘッド速度は主にターン局面で高められることが示されていることから (Dapena, 1984), ハンマー投競技者には、回転動作によって物体を加速させる専門的な筋力、瞬発力が要求されると報告されている (広瀬ほか, 2013).

レジスティッドトレーニング (resisted training) は、試合運動に近縁的な運動に対して、外的負荷を増大させ運動を遂行するトレーニング方法であり、その競技に要求されるパワーや筋力を強化することを主たる目的としている (Escamilla et al., 2000 ; マトヴェイエフ, 1985 ; 村木, 1994). 陸上競技における投てき種目のレジスティッドトレーニング方法として、投てき物の重量を増加する方法が指導現場において一般的に用いられている (Bondarchuk et al., 1977). ハンマー投のレジスティッドトレーニングにおいても同様に、国内外の多くの指導書等で、高重量ハンマーを使用する方法が挙げられている (Bondarchuk, 1981 ; Hinz, 1991 ; 川田, 2013 ; 室伏, 1994). 高重量ハンマーを投てきした際、投てき距離および初速度の低下、投てき時間の増大、ハンマーヘッドに作用する力の増大が報告されている (Bartonietz, 1994 ; 広瀬ほか, 2015, 2016a).

スプリント走におけるレジスティッドトレーニングの累積効果を検討した研究において、重量物の牽引走トレーニングによってスプリントパフォーマンスの向上が確認されている (Harrison and Bourke, 2009 ; Spinks et al., 2007). また、野球における投運動のレジスティッドトレーニングに関する研究においては、重量を増加したボールによるレジスティッドトレーニングの累積効果を検討した結果、球速の向上が認められたことが報告されている (Brose and Hanson, 1967 ; DeRenne et al., 1990 ; Litwhiler and Hamm, 1973 ; Logan et al., 1966). さらに、野球のバットスイングにおけるレジスティッドトレーニング

に関する累積効果を検討した研究において、重量を増大したバットによるトレーニングによってバットスイング速度の向上が認められたことが報告されている (DeRenne and Okasaki, 1983 ; Sergo and Boatwright, 1993).

以上のように、レジスティッドトレーニングの実践場面では、多数の競技種目において当該種目のパフォーマンスの改善が認められている。しかしながら、円盤投におけるレジスティッドトレーニングに関する研究においては、投てき距離が低下した集団があったことが報告されている (Tancred and Tancred, 1977). このようにレジスティッドトレーニングの実施がマイナスのトレーニング効果をもたらす可能性も考えられる。そのため、ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの長期的なトレーニングの効果や影響についての詳細な検討を行うことによって、指導現場において有益な知見を提供することができると考えられる。本研究の目的は、高重量ハンマーによるトレーニングが投てき距離および技術に及ぼす累積効果を検討することで、高重量ハンマーを使用したトレーニングへの実践的な示唆を得ることである。

II. 方 法

1. 被験者

被験者は、ハンマー投を専門とする一般男子投てき競技者16名を対象とし、トレーニング群 (以下「TR 群」と略す) およびコントロール群

Table 1 Subject characteristics in each group.

	TR (n=8)	CT (n=8)	Difference
Personal Best (m)	61.16 ± 5.44	59.33 ± 4.41	n.s
Season Best (m)	60.49 ± 4.96	57.89 ± 3.60	n.s
Height (m)	181.05 ± 6.07	176.94 ± 2.90	n.s
Weight (kg)	103.83 ± 15.80	102.33 ± 10.36	n.s
Age (yr)	22.13 ± 3.30	22.38 ± 2.23	n.s
Career (yr)	6.88 ± 3.14	7.00 ± 2.45	n.s

n.s: non significant

(以下「CT群」と略す)に8名ずつに分類した (Table 1). なお、競技力、形態、年齢、競技歴において群間に差は認められなかった. 全ての被験者は右投げであり、4回転投法を用いていた. 実験に先立ち、被験者に本研究の主旨、内容、手順について口頭および文書により十分に説明を行い、実験参加の同意を書面で得た. なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科倫理委員会の承認を得て実施した.

2. 重量設定、実験試技およびデータ収集

レジスティッドトレーニングの実践に関して、村木 (1994) は重量を変化させたトレーニングにおいては、通常条件下での基本的な運動パターンを損なわずに運動を遂行することが適正条件の1つとなると述べている. また、Zatsiorsky and Kraemer (2006) は、負荷を極端に大きくすることは避けるべきであると指摘している. 砲丸投およびやり投の重量変化に関する報告 (Kanishevsky, 1984; Konstantinov, 1979) では、用具の重量の増減は通常重量の5%—20%といった小さな変化範囲で行われるとあり、野球の投球に関する研究 (森本ほか, 2003) では、ボール重量の増減を基準球に対して10%以内の変化範囲で行うのが望ましいとしている. 本研究において用いた高重量ハンマーの重量は、以上の先行研究や実践的な指摘を踏まえた上で、正規重量 (7.26 kg) よりも約10%重量を増加させた8.0 kgに設定した. なお、この重量のハンマーは指導現場において一般的にトレーニングで用いられている重量である. 全長は正規規格に統一し、重量のみ変化したハンマーを使用した. 測定はトレーニング開始時 (以下「Pre」と略す) およびトレーニング終了後 (以下「Post」と略す) 両測定において、全ての被験者は正規重量ハンマー、高重量ハンマーの試技順での投てきを試合形式で各重量3本ずつ行った. 試技間には最低でも10分の休息を確保し、いずれの試技も全力で行った. 分析試技は正規重量ハンマーおよび高重量ハンマーによる投てきの各試技において、最も記録の良かった試技とした. サークルの中心に右手静止座標系を

設定し、X方向を投てき方向に対し直交する方向、Y方向を投てき方向、Z方向を鉛直方向とした. 試技の撮影には3台のハイスピードカメラ (CASIO社製、EX-F1) により、撮影スピード毎秒300コマ、シャッタースピード1/2000秒で試技を撮影した. 3台のカメラの映像の同期はシンクロナイザ (ディケイエイチ社製、LED型シンクロナイザ PTS-110) を用い、同期ランプを画面内に写し込むことによって行った. 撮影したVTR画像を動作解析ソフトウェア (ディケイエイチ社製、Frame-DIAS IV) を用いて、上肢8点 (左右の第3MP関節中心、手関節中心、肘関節中心、肩関節中心)、下肢12点 (左右のつま先、第2MP関節中心、踵、足関節中心、膝関節中心、股関節中心)、頭部および体幹5点 (頭頂、左右耳珠点の中心、胸骨上縁、左右肋骨下端) およびハンマーヘッド1点の計26点の2次元座標値を得た. 撮影画角内に配置した実空間座標が既知のキャリブレーションボールの座標値を用い、3次元DLT法により各分析点の3次元座標値を求めた. なお標準誤差の平均値はX軸: 0.007 m, Y軸: 0.007 m, Z軸: 0.007 mであった. Winter (2004) の方法によって、分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数 (5 Hz—9 Hz) を決定し、Butterworth digital filterを用いて平滑化した.

3. トレーニング

本研究ではシーズン中盤の専門的準備期にあたる7月中旬から8月中旬の期間をトレーニング期間とした. 両群共に通常のトレーニング種目であるウエイトトレーニング、ジャンプトレーニング、スプリントトレーニングを行い、投てき練習のみTR群が高重量ハンマーによるトレーニングを行った. TR群には高重量ハンマーによる投てき練習を週3回、4週間の計12回実施した. 対象とした競技者が所属する団体におけるシーズン期の1回のトレーニングの投てき本数は25—30本であった. 高重量ハンマーの投てき本数に関して、Bondarchuk (1981) は全体の15%程度にとどめるべきであると述べている. また、高重量円盤の

投てき本数に関して、Harnes (1988) によると、シーズン中盤の専門的準備期にあたる期間における1ヶ月間の高重量円盤の投てき本数は正規重量の14%—25%であったことが報告されている。これらの報告を参考に適切なトレーニング効果を得るため、1回のトレーニングにおける高重量ハンマーの投てき本数は6本に設定した。CT群は高重量ハンマーを用いた練習は行わず、正規重量ハンマーによる投てき練習のみ実施した。

4. 分析項目

1) ターン局面分けに関して

本研究におけるターン局面の定義を Fig. 1 に示した。右足が離地した時点を R-off, 右足が接地した時点を R-on とした。SSP (Single Support Phase: 片足支持局面) は右足を離地 (R-off) してから接地 (R-on) するまでの局面、DSP (Double Support Phase: 両足支持局面) は、右足を接地 (R-on) してから離地 (R-off) するまでの局面とし、SSP とそれに続く DSP を合わせた局面を1回転とした。また、1回転中、最もハンマーヘッドが高くなる時点(鉛直座標値が最大を示す時点)をハイポイント(以下「HP」と略す)、最もハンマーヘッドが低くなる時点(鉛直座標値が最小値を示す時点)をローポイント(以下「LP」と略す)とした。なお、分析局面はターン開始時点である「R-1off」からハンマーのハンドルが手元から離れる時点である「Release」までとした。

2) リリースパラメータの算出

ハンマーヘッドの3次元座標値を座標成分ごとに時間微分し、合成することによりハンマーヘッド速度を算出した。ターン開始時点である R-

1off 時点におけるハンマーヘッド速度をスタート速度とした。また、リリース時点の座標データから初速度、投射角、投射高を算出した。

3) 遠心力の算出

本研究ではハンマーヘッド質量 (m)、ハンマーヘッド速度 (v)、曲率半径 (r) から遠心力 (F) を求める公式

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

を用い、ハンマーヘッドに作用する力を算出した。

なお、本研究では、重力成分の補正は行わなかった。また、本研究における曲率半径は、藤井ほか (2010) の手法を参考に、ハンマーヘッドおよび左手第3MP関節の座標値を用い、ハンマー瞬間回転中心を算出した。そして、ハンマー回転平面内でのハンマーヘッドからハンマー瞬間回転中心間までの距離を曲率半径 (r) とした。

4) 体幹捻転角度

Fig. 2(a) に、体幹捻転角度の定義を示した。本研究では左右肋骨下端を用い上胴および下胴座標系を設定することにより、胸腰部の伸展・屈曲を考慮した変数を算出した。まず、左右の股関節中心を結んだ線分の中点を原点とし、左右肋骨下端を結んだ線分の中点から原点に向かうベクトルを Zlt とした。左股関節から右股関節に向かうベクトル $X'lt$ と Zlt の外積により Ylt を算出、 Ylt と Zlt の外積により Xlt を算出し、 Xlt , Ylt , Zlt からなる移動座標系を下胴座標系として定義した。下胴座標系の $XltYlt$ 平面に、左肩関節から右肩関節に向かうベクトルと左股関節から右股関節に向かうベクトルをそれぞれ投影し、投影された2つのベクトルがなす角を体幹捻転角度とし

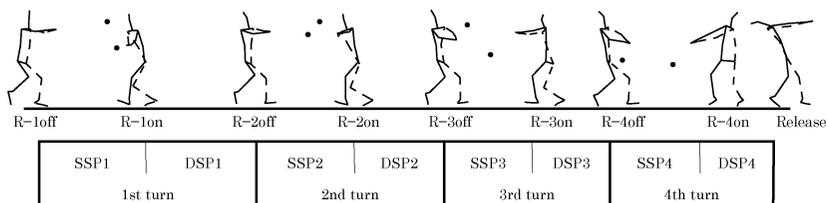


Fig. 1 Definition of turn phases.

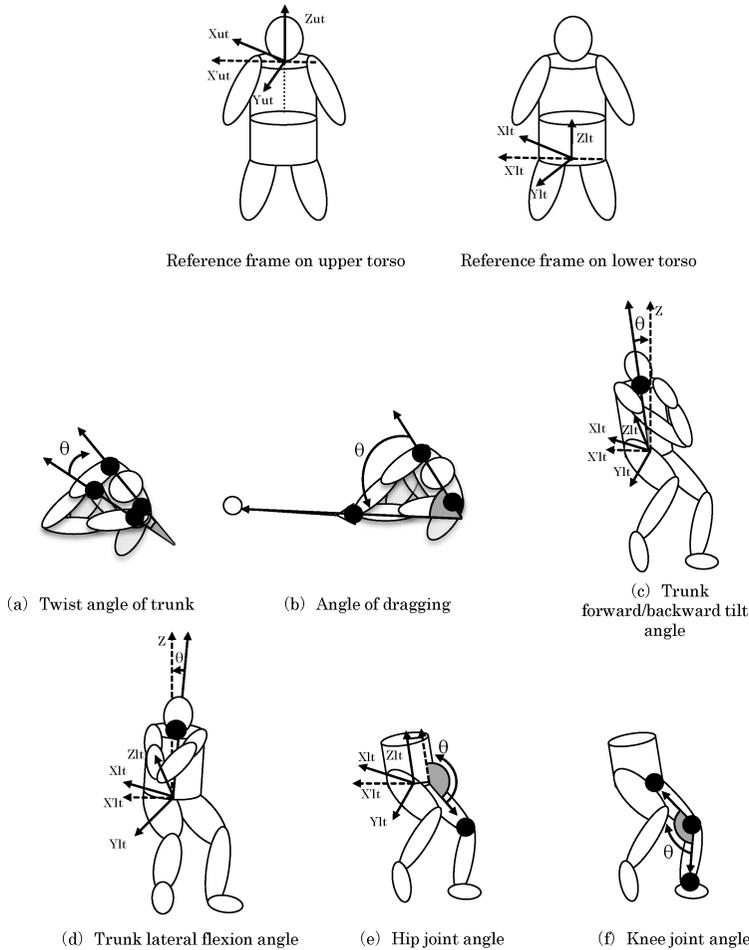


Fig. 2 Reference frame on upper/lower torso and angle definitions.

た. また, DSPにおけるR-on時点とR-off時点(DSP4においてはR-4on時点とRelease時点)の体幹捻転角度の角度差を体幹捻り戻し角度とした.

5) ドラッキングアングル

Fig. 2(b)にハンマーと身体の相対的な位置関係を表すドラッキングアングル(ハンマーの引きずりの程度)の定義を示した. まず, 左右の肩関節中心を結んだ線分の中点を原点とし, 左右肋骨下端を結んだ線分の中点から原点に向かうベクトルを Z_{ut} とした. 左肩関節から右肩関節に向かうベクトル X'_{ut} と Z_{ut} の外積により Y_{ut} を算出, Y_{ut} と Z_{ut} の外積により, X_{ut} を算出し, X_{ut} , Y_{ut} , Z_{ut} からなる移動座標系を上胴座標系とした. 上胴座標系の $X_{ut}Y_{ut}$ 平面に, ハンドル(左

手先)からハンマーヘッドに向かうベクトルと左肩関節から右肩関節に向かうベクトルをそれぞれ投影し, 投影された2つのベクトルがなす角をドラッキングアングルとした. なお, 角度が 90° の際はハンマーが身体の正面にあることを示し, 角度の増大はハンマーの先行, 角度の減少は上胴の先行を示す.

6) 体幹前後傾角度

Fig. 2(c)に, 体幹前後傾角度の定義を示した. まず, 左右の股関節中心を結んだ線分の中点を原点とし, 下胴座標系の $Y_{lt}Z_{lt}$ 平面に原点から胸骨上縁に向かうベクトルと静止座標系の Z 軸を投影し, 投影された2つのベクトルがなす角を体幹前後傾角度とした. なお, 静止座標系の Z 軸と平行の場合を 0° とし, 鉛直軸よりも前傾

した場合には正の角度、後傾した場合に負の角度とした。

7) 体幹左右傾角度

Fig. 2(d)に体幹左右傾角度の定義を示した。まず、左右の股関節中心を結んだ線分の中点を原点とし、下胴座標系の XltZlt 平面に原点から胸骨上縁に向かうベクトルと静止座標系の Z 軸を投影し、投影された2つのベクトルがなす角を体幹左右傾角度とした。なお、静止座標系の Z 軸と平行の場合を 0° とし、鉛直軸よりも右傾した場合には正の角度、左傾した場合に負の角度とした。

8) 左股関節角度

Fig. 2(e)に、左股関節角度の定義を示した。まず、YltZlt 平面に左股関節から左膝関節に向かうベクトルを投影し、Zlt とのなす角を左股関節角度とした。なお、角度の増大は左股関節の伸展、角度の減少は左股関節の屈曲を示す。

9) 左膝関節角度

Fig. 2(f)に、左膝関節角度の定義を示した。左膝関節角度は大腿と下腿がなす角とした。なお、角度の増大は左膝関節の伸展、角度の減少は左股関節の屈曲を示す。

5. 統計処理

測定値は全て平均値±標準偏差で示した。群間の比較は対応のない T-test を用いた。トレーニング前後における各項目の比較には群 (2水準: TR 群, CT 群) × Pre · Post の 2 元配置分散分析を用いた。また、群内における時系列が存在する項目においては繰り返しのある 2 元配置分散分析を用いた。下位検定には Bonferroni による多重比較検定を行った。試技内の時系列の要因を検討することは本研究の目的とは異なるため、試技間のみ検討を行った。なお、いずれの統計処理においても、有意性は危険率 5% 未満で判定し、10% 未満は有意傾向とした。

III. 結 果

Table 2 は Pre および Post における投てき距離、スタート速度、リリースパラメータおよび

Table 2 Comparison of throwing distance, start velocity, release parameters and total time of turn.

	Test	TR	CT
Throwing distance (m)	Pre	53.79 ± 3.95	53.80 ± 3.41
	Post	56.18 ± 4.25***	53.39 ± 3.93
Start velocity (m/s)	Pre	12.46 ± 0.85	13.53 ± 0.81
	Post	12.66 ± 1.19	13.24 ± 0.57
Release velocity (m/s)	Pre	23.74 ± 0.97	23.54 ± 0.75
	Post	24.25 ± 0.84***	23.22 ± 0.94
Release height (m)	Pre	1.35 ± 0.22	1.46 ± 0.19
	Post	1.33 ± 0.22	1.19 ± 0.11**
Angle of release (deg.)	Pre	38.13 ± 2.05	38.68 ± 1.99
	Post	37.66 ± 1.24	37.84 ± 2.28
Total time of turn (deg.)	Pre	2.61 ± 0.10 [†]	2.42 ± 0.11
	Post	2.53 ± 0.10*	2.43 ± 0.10

** : $p < 0.01$ significant within-subjects (Pre-Post)

*** : $p < 0.001$ significant within-subjects (Pre-Post)

[†] : $p < 0.05$ significant between-subjects (Pre-Pre, Post-Post)

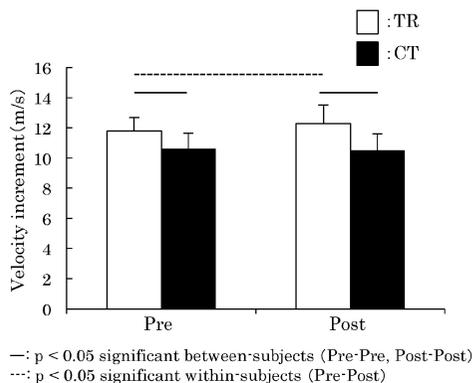


Fig. 3 Comparison of velocity increment in the turn phase.

ターン所用時間を示したものである。投てき距離において、Pre-Post 間を比較した結果、TR 群にのみ有意な向上が認められた。初速度において、Pre-Post 間を比較した結果、TR 群にのみ有意な向上が認められた。また、Post における TR 群-CT 群間において、TR 群が有意に高値を示した。スタート速度において有意差は認められなかった。初速度とスタート速度の差からターン局面における正味の速度増加量を算出した (Fig. 3)。

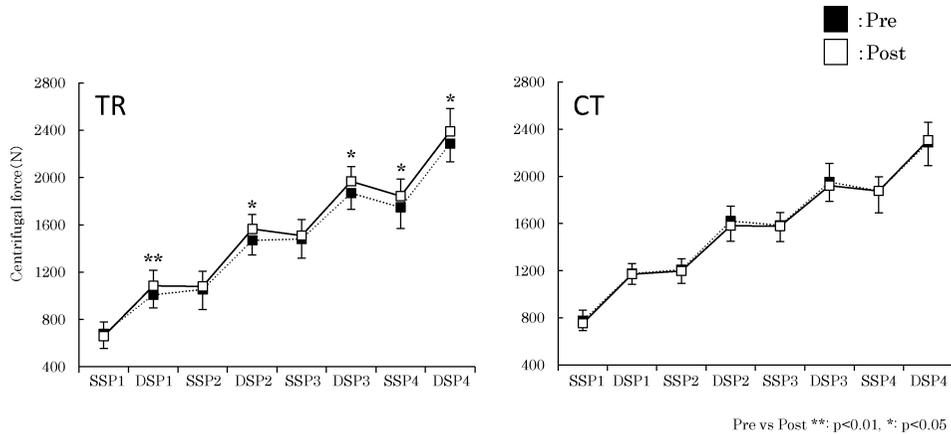


Fig. 4 Comparison of maximum centrifugal force in each group.

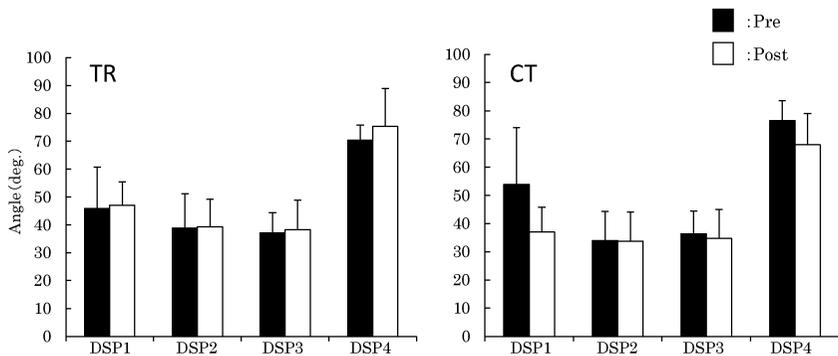


Fig. 5 Comparison of untwist angle in each group.

Pre-Post 間を比較した結果、TR 群にのみ有意な向上が認められた。また、Pre および Post において CT 群が有意に低値を示した。投射高において、Pre-Post 間を比較した結果、CT 群内の Post の値が有意に低値を示した。投射角においてはいずれの項目間においても差は認められなかった。ターン所用時間において、Pre において CT 群が TR 群より有意に低値を示した。Pre-Post 間を比較した結果、TR 群が有意に短縮した。

Fig. 4 にターン局面における遠心力最大値を示した。TR 群における Pre-Post 間を比較した結果、全ての DSP および SSP4 において Post が有意に高値を示した。また、CT 群において差は認められなかった。

ターン局面における各関節角度を Table 3, 4 に示した。Pre-Post 間の TR 群における左股関

節角度において、Post の R-1off, R-2off, R-3off, R-4off および R-4on において屈曲位を示した。Pre-Post 間の TR 群における左膝関節角度において、Post の R-2on, R-3on および R-4off が Pre に対して屈曲位を示した。ドラッキングアングルに関して、TR 群内に差は認められなかった。Pre-Post 間の CT 群において、Post の R-1on, R-3on および R-4on が低値を示した。Pre-Post 間の TR 群における体幹前後傾角度において、R-1off, R-2off, R-2on および R-3off に差が認められた。体幹左右傾角度に関しては TR 群および CT 群の Pre-Post 間において差は認められなかった。

体幹捻転角度に関して (Fig. 5), TR 群内には差は認められなかった。Pre-Post 間の CT 群において、Post の R-1on が Pre に対して有意に低値

Table 3 Comparison of joint motions in the TR group.

Test	R-1off	R-1on	R-2off	R-2on	R-3off	R-3on	R-4off	R-4on	Release
Angle of dragging (deg.)	Pre	59.78±5.64	66.73±5.71	63.89±6.34	67.24±4.58	62.65±5.16	66.55±6.14	64.43±4.47	72.46±8.50
	Post	64.61±4.21	61.54±4.92	67.63±5.08	63.01±5.03	68.04±4.99	64.27±4.58	69.36±5.24	65.68±3.53
Trunk forward/backward tilt angle (deg.)	Pre	11.90±4.62	16.47±4.74	5.32±3.73	15.44±2.88	-5.05±2.55	9.64±3.04	5.14±4.46	-23.70±3.20
	Post	16.04±4.57*	14.32±2.27	8.50±2.79#	13.27±3.31#	-2.96±3.37#	8.23±2.11	-7.94±4.32	7.02±3.13
Trunk lateral flexion angle (deg.)	Pre	-5.62±2.01	6.91±5.39	-2.00±4.38	2.79±4.86	-1.14±3.05	-5.29±3.82	0.80±2.12	-1.97±3.94
	Post	-4.19±3.28	6.83±5.41	-2.17±2.97	-0.97±3.61	-2.67±3.04	-7.81±4.00	-1.38±4.23	-7.56±3.26
Hip joint angle (deg.)	Pre	117.12±7.37	134.76±11.16	123.17±8.84	139.36±7.57	133.58±5.17	143.90±7.21	146.73±6.92	169.66±4.49
	Post	112.31±4.20*	136.43±8.11	118.57±6.01#	139.46±5.15	130.58±5.50*	143.99±5.03	139.66±6.01*	140.51±5.55*
Knee joint angle (deg.)	Pre	134.17±13.13	100.41±9.48	142.33±12.86	102.26±9.47	135.15±9.29	95.60±6.46	140.60±9.59	90.78±8.48
	Post	132.80±14.39	99.36±9.05	138.88±11.41	98.15±8.09**	133.89±9.17	89.99±8.70*	130.98±7.74**	88.54±8.82
Twist angle of trunk (deg.)	Pre	-10.77±5.21	49.64±12.98	3.72±11.00	51.78±7.83	12.96±7.81	42.85±11.51	5.71±10.91	39.74±13.74
	Post	-3.60±10.30	55.08±9.65	8.02±9.29	51.18±10.91	11.88±9.81	49.29±11.97	11.01±7.84	44.28±6.87

Pre vs Post **: p<0.01, *: p<0.05, #: p<0.1

Table 4 Comparison of joint motions in the CT group.

Test	R-1off	R-1on	R-2off	R-2on	R-3off	R-3on	R-4off	R-4on	Release
Angle of dragging (deg.)	Pre	59.82±4.21	65.30±4.04	63.40±5.16	63.03±5.37	66.53±3.61	68.63±2.84	68.55±5.87	70.60±4.77
	Post	61.32±4.99	58.01±4.43*	65.99±6.92	60.40±3.35	68.56±5.37	64.19±3.92#	68.88±4.39	63.77±3.35*
Trunk forward/backward tilt angle (deg.)	Pre	14.02±4.44	15.62±3.64	2.40±7.54	13.54±3.56	-7.85±6.32	8.17±3.38	4.66±5.20	-19.54±3.81
	Post	14.83±5.12	18.04±3.45	3.13±5.79	13.66±3.36	-6.68±6.35	7.79±4.13	-11.82±5.13	3.12±5.13
Trunk lateral flexion angle (deg.)	Pre	-6.88±2.42	9.72±5.15	-3.85±3.28	-0.64±5.86	-3.79±2.89	-7.37±2.52	0.86±3.35	-9.97±4.64
	Post	-8.44±1.77	7.97±5.60	-4.04±2.80	-2.53±3.69	-1.36±2.70	-9.10±2.63	0.81±4.10	-11.87±4.75
Hip joint angle (deg.)	Pre	113.47±9.03	137.28±11.54	126.57±10.25	140.56±10.22	138.54±7.07	144.31±9.34	149.60±5.72	144.77±10.59
	Post	109.29±11.98	129.97±9.12	122.97±11.48	137.35±10.73	136.19±8.63	145.62±10.81	145.88±4.08	147.12±10.76
Knee joint angle (deg.)	Pre	136.78±9.31	95.63±10.86	142.62±6.68	95.74±5.09	139.92±8.24	90.68±5.72	141.40±7.20	86.45±5.22
	Post	130.65±9.26	93.64±11.59	137.19±11.30	92.09±5.02	137.47±7.91	89.89±7.23	135.60±7.87	87.65±5.22
Twist angle of trunk (deg.)	Pre	-10.31±5.58	57.27±12.81	3.43±10.96	45.80±11.53	11.79±6.89	44.19±10.81	7.89±5.43	41.89±12.53
	Post	-10.65±6.10	42.30±5.51*	5.29±5.74	42.66±10.84	8.96±5.64	43.52±9.85	8.82±7.15	34.38±9.11

Pre vs Post *: p<0.05, #: p<0.1

を示した。体幹捻り戻し角度において TR 群および CT 群に差は認められなかった。

Ⅳ. 考 察

1. トレーニングの累積効果

本研究は高重量ハンマーによるトレーニングが投てき距離および技術に及ぼす累積効果を検討するものであった。メゾ周期レベルのトレーニングはトレーニング負荷の変動に対して、多少遅れて現れる生体レベルでの順応的变化に対応し、そのプラスの効果を利用することにあると述べられている(村木, 1994)。Pre-Post 間の比較を行った結果、TR 群の投てき距離が有意に向上したことから、高重量ハンマーによるメゾ周期レベルのトレーニングはハンマー投の競技力向上に有効であることが示された(Table 2)。また、TR 群内の Pre-Post 間における初速度に有意な向上が認められた。投てき距離は初速度、投射高、投射角によって決定し、その中でも初速度が最も投てき距離に影響を及ぼす要素であることが明らかとなっている(坂東ほか, 2006; 池上ほか, 1994; Isele and Nixdorf, 2010; 室伏ほか, 1982)。TR 群内の Pre-Post 間において投射高および投射角に差は認められなかったことから、投てき距離の向上は初速度の増大によるものであったことが理解できる。

野球における投運動のレジスティッドトレーニングに関する研究においては、重量を増加したボールを投球した際、球速の低下が報告されている(森本・村木, 2001; 森本ほか, 2003)。重量を増加したボールによるレジスティッドトレーニングの累積効果を検討した研究によると、球速の向上が認められたことが報告されている(Brose and Hanson, 1967; DeRenne et al., 1990; Litwhiler and Hamm, 1973; Logan et al., 1966)。このように、投球運動においてはトレーニングの過程で通常よりも遅い球速によるトレーニングを行っているものの、長期的なトレーニングによって球速を向上させることが確認されている。広瀬ほか(2016a)はハンマーヘッドの重量

を増大することによって、初速度の低下が引き起こされることを報告している。そのため、高重量ハンマーによるトレーニングの際、競技者は通常よりも低いハンマーヘッド速度でトレーニングを行っていたと考えられる。しかしながら、本研究によって高重量ハンマーによる長期的なトレーニングは初速度を増大させ、投てき距離を向上させることが可能であることが明らかとなった。

高重量ハンマーによるトレーニングによって TR 群のターン局面における正味の速度増加量が增大した(Fig. 3)。TR 群の Pre-Post においてスタート速度に差は認められなかったことから、初速度の増大はターン局面における正味の速度増加量の増大によるものであることがわかる。TR 群の特性として、Pre において CT 群よりもターン局面における正味の速度増加量が大きいことが示されている。そのため、TR 群はターン局面におけるハンマーヘッドを加速させる能力が高い集団であったと考えられる。しかしながら、Post において TR 群のみターン局面における正味の速度増加量が增大したことから、被験者の特性を考慮した上でも、高重量ハンマーによるトレーニングはターン局面でのハンマーヘッドの加速能力を高めることが可能なトレーニング法であると考えられる。

2. ターン局面における身体とハンマーの動態について

Fig. 4 にはターン局面中の遠心力最大値を示した。TR 群のすべての DSP において Post が有意に高値を示した。DSP はハンマーヘッドの加速が遂行される局面であると報告されている(Jaede, 1991; Morley, 2003; Otto, 1991) ことから、競技者は DSP において高まった遠心力に対抗するために、より高い求心力を発揮していたと考えられる。Post において TR 群の競技者がより大きな遠心力に耐えることが可能になった背景を検討するために、身体の各関節運動に関するトレーニング前後の変化を検討した。Pre-Post 間の TR 群における左股関節角度においてすべての R-off (DSP の終点) で屈曲位を示し、

左膝関節角度においてはすべての局面で屈曲位を示した (Table 3). 広瀬ほか (2016a) は高重量ハンマーによる投てきは, ドラッキングアングルには変化を及ぼさず, 椅子に腰掛けるような下肢関節の屈曲動作が強調されることを報告している. このことから, 高重量ハンマーによるトレーニングによって, 下肢関節の屈曲動作が定着したと推察される. エッカー (1999) はハンマー投競技者は大きな遠心力に対抗するためにターン局面中, 腰を下ろした姿勢をとることが重要であると述べている. また, 太田・室伏 (2014) は, ターン局面におけるハンマーヘッドの加減速を力学的エネルギー供給量の変化とみなし, DSP のローポイント付近において, ハンマーを身体全体で引っ張ることがハンマーへのエネルギー供給を促すことを報告している. このように, TR 群は高重量ハンマーによるトレーニングによって椅子に腰掛けるような動作が促され, より高い求心力を発揮することが可能となり, ハンマーヘッド加速度が増大したと推察される.

DSP における体幹の捻り戻し動作は, ハンマーヘッドの加速に影響を及ぼす重要な技術であるとされている (藤井ほか, 2010; 室伏, 1994; 尾懸, 1990). しかしながら, Pre-Post 間の TR 群における体幹捻転角度および体幹捻り戻し角度に差は認められなかった (Table 3, Fig. 5). このことから, 高重量ハンマーによるトレーニングは体幹のひねり戻し動作に影響を及ぼさないことが示された. また, TR 群の Post においてドラッキングアングルの減少は認められなかった (Table 3). また, TR 群の Post における体幹前後傾角度は, すべての R-off 時点において前傾していることが示された. 室伏 (1994) は極端にドラッキングアングルを減少させることは, ハンマーを身体の正面に保持できないことによって, 左肩の先行および肘関節の屈曲が引き起こされる可能性があるため, 投てき方向への身体とハンマーの回転の流れに悪影響を及ぼすと述べている. また, 体幹の極端な後傾は曲率半径の減少を引き起こすため, 股関節を屈曲させ体幹を前方に傾けることで, 大きな曲率半径を維持することが

できると報告されている (Petrov, 1980). 高重量ハンマーによるトレーニングによって, より高い遠心力に対抗するために上肢の先行や体幹の後傾が強調され, 投てき動作に悪影響を及ぼす可能性が考えられたが, 本研究結果から, 高まった負荷に対して主に下肢関節の屈曲動作によって対抗していたことが示された.

3. 高重量ハンマーによるトレーニング実践

指導現場においては, 投てき動作のスピードを高めることが重要視されており, 高重量ハンマーを投てきすることにより, 遅い動作が定着することを懸念する意見も報告されている (保坂, 2016). 実際, ハンマー投の一連の動作時間と投てき距離との間には負の相関関係が認められていることから, ターン所用時間を短縮させることが競技力向上に有効であることが示されている (広瀬ほか, 2016b). 本研究結果から, 高重量ハンマーによるトレーニングによってターン所用時間が有意に短縮することが明らかとなった (Table 2). したがって, 本研究における実施期間および投てき本数によるトレーニングではターンスピードの低下を懸念する必要はなく, むしろターンスピードの向上を引き起こすトレーニング法であると言える.

本研究では試合期に向けてのメゾ周期レベルでのトレーニングを行った. TR 群の Post において 8 名全員の投てき記録が向上したことから, 本研究で対象とした競技レベルの被験者においては適切なトレーニング法であったと考えられる. これまでレジスティッドトレーニングは競技に要求されるパワーや筋力を強化することを主たる目的として行われてきた (村木, 1994; Zatsiorsky and Kraemer, 2006). 本研究によって, 高重量ハンマーによるトレーニングは下肢関節の動作に変化を及ぼし, 椅子に腰掛けるような動作が遂行されていたことから技術トレーニングの手段としての知見を得ることができた. 以上から, 高重量ハンマーによるトレーニングはターン局面においてより大きな遠心力に耐えながら, ハンマーヘッド加速度を増大させるトレーニング法として利用

可能であると考えられる。

V. 要 約

本研究の目的は、高重量ハンマーによるトレーニングが投てき距離および技術に及ぼす累積効果を検討することで、高重量ハンマーを使用したトレーニングへの実践的な示唆を得ることであった。ハンマー投を専門とする男子投てき競技者を対象とし、高重量ハンマーによるトレーニングを4週間実施した。トレーニング効果を検討するために、トレーニング前 (Pre) とトレーニング後 (Post) に測定を行った。その結果、Postにおいて投てき距離の向上が認められた。また、ターン局面における正味の速度増加量が増大した結果、初速度の増大が認められた。ターン局面中の遠心力最大値を比較した結果、すべての両足支持局面においてPostが高値を示した。身体動作に着目したところ、高重量ハンマーによるトレーニングによって下肢関節の動作に変化を及ぼし、椅子に腰掛けるような動作が遂行されていた。以上から、高重量ハンマーによるトレーニングは、初速度の増大によって投てき記録を向上させ、ターン局面においてより大きな遠心力に耐えながら、ハンマーヘッド加速量を増大させるトレーニング法として利用可能であると考えられる。

文 献

- 坂東美和子・田辺 智・伊藤 章 (2006) ハンマー投げ記録とハンマーヘッド速度の関係。体育学研究, 51: 505-514.
- Bartonietz, K. (1994) A biomechanical analysis of throws with different weight and length hammers. *Modern Athlete and Coach*, 32: 33-36.
- Bondarchuk, A., Ivanova, L., and Vinnitchuk, W. (1977) Training with light and heavy implements. *Track Technique*, 67: 2129-2130.
- Bondarchuk, A. (1981) Modern trends in hammer throwing. *Modern Athlete and Coach*, 19: 30-32.
- Brose, D. E. and Hanson, D. L. (1967) Effects of overload training on velocity and accuracy of throwing. *Research Quarterly*, 38: 528-533.
- Dapena, J. (1982) Tangential and perpendicular forces in the hammer throw. *Hammer Notes*, 5: 40-42.
- Dapena, J. (1984) The pattern of hammer speed during a hammer throw and influence of gravity on its fluctuations. *Journal of Biomechanics*, 17: 553-559.
- DeRenne, C. and Okasaki, E. (1983) Increasing bat velocity (part 2). *Athletic Journal*, 63: 54-55.
- DeRenne, C., Kwok, H., and Blitzblau, A. (1990) Effects of weighted implement training on throwing velocity. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4: 16-9.
- エッカー：沢村博監訳 (1999) ハンマー投。基礎からの陸上競技バイオメカニクス。ベースボール・マガジン社, pp. 176-185.
- Escamilla, R. F., Speer, K. P., Fleisig, G. S., and Barrentine, S. W. (2000) Effect of throwing overweight and underweight baseballs on throwing velocity and accuracy. *Sports Science Research*, 6: 259-272.
- 藤井範久・小山陽平・阿江通良 (2010) ハンマー投ターン局面におけるハンマーヘッド加速技術の研究—ハンマーヘッド加減速パターンの違いに着目して—。体育学研究, 55: 17-32.
- Harnes, E. (1988) Training plan for advanced female discus throwers in Bulgaria. *Track Technique*, 106: 3371-3375, 3393.
- Harrison, A. J. and Bourke, G. (2009) The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23: 275-283.
- Hinz, L. (1991) *Leichtathletik Wurf und Stoss*. Sportverlag GmbH.
- 広瀬健一・大山卍圭悟・藤井宏明・青木和浩・尾縣 貢 (2015) ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの負荷特性—高重量ハンマーによる投てきに着目して—。コーチング学研究, 29: 31-40.
- 広瀬健一・大山卍圭悟・藤井宏明・青木和浩・尾縣 貢 (2016a) ハンマー投における高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性—レジスティッドトレーニングとしての利用法の検討—。体育学研究, 61: 75-89.
- 広瀬健一・大山卍圭悟・前田 奎・梶谷亮輔・山元康平・中野美沙・木越清信・尾縣 貢 (2016b) ハンマー投のターン時間と投てき記録との関係。陸上競技研究, 105: 24-29.
- 廣瀬健一・高梨雄太・青木和浩・金子今朝秋 (2013) ハンマー投競技者のパフォーマンスとコントロールテストの関連性について—ケトルベル投に着目して—。陸上競技研究, 92: 38-44.

- 保坂雄志郎 (2016) ハンマー投における一流競技者のトレーニング及び動きの意識に関する事例的研究. 平成27年度筑波大学修士論文.
- 池上康男・桜井伸二・岡本 敦・植屋清見・中村和彦 (1994) ハンマー投のバイオメカニクスの分析. 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. ベースボール・マガジン社, pp. 240-256.
- Isele, R. and Nixdorf, E. (2010) Biomechanical analysis of the hammer throw at the 2009 IAAF world championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 25: 37-59.
- Jaede, E. (1991) The main elements of modern hammer throwing technique. *Modern Athlete and Coach*, 29: 16-19.
- Kanishevsky, S. (1984) A universal shot. *Soviet Sports Review*, 19: 207-208.
- 川田雅之 (2013) ハンマー投. 全国高等学校体育連盟陸上競技専門部編, ジュニア陸上競技メソッド—高校トレーニング方式第7版—. 陸上競技社, pp. 280-293.
- Konstantinov, O. (1979) Training program for high level javelin throwers. *Soviet Sports Review*, 14: 130-134.
- Litwhiler, D. and Hamm, L. (1973) Overload: effect on throwing velocity and accuracy. *Athletic Journal*, 53: 64-65.
- Logan, G. A., McKinney, W. C., Rowe Jr, W., and Lumpe, J. (1966) Effect of resistance through a throwing range-of-motion on the velocity of a baseball. *Perceptual and Motor Skills*, 23: 55-58.
- マトヴェイェフ: 江上修代訳 (1985) スポーツマンの身体トレーニング. ソビエトスポーツ・トレーニングの原理. 白帝社, pp. 206-255.
- 森本吉謙・村木征人 (2001) ボール重量が野球の投球におけるスピードと正確性に及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 14: 85-92.
- 森本吉謙・伊藤浩志・島田一志・川村 卓・阿江通良・村木征人 (2003) ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響とアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果. *スポーツ方法学研究*, 16: 13-26.
- Morley, M. (2003) Hammer throwing: The turns, Part 1. *The Coach*, 16: 21-25.
- 村木征人 (1994) スポーツトレーニング理論. ブックハウスHD, pp. 53-55.
- Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K., and Kobayashi, K. (2005) Development of a system to measure radius of curvature and speed of hammer head during turns in hammer throw. *International Journal of Sport and Health Science*, 3: 116-128.
- 室伏重信・斉藤晶久・湯浅景元 (1982) ハンマー投げのバイオメカニクスの研究: 投射時におけるハンマー頭部の初速度・投射角・投射高が飛距離に及ぼす影響. *中京体育学研究*, 23: 38-43.
- 室伏重信 (1994) ハンマー投げ (最新陸上競技入門シリーズ8). ベースボール・マガジン社.
- 尾縣 貢 (1990) ハンマー投げ. 日本陸上競技連盟編, 実戦陸上競技—フィールド編—. 大修館書店, pp. 186-193.
- 岡本 敦 (2007) ハンマー投げの牽引力に体重の与える影響. *環境経営研究年報*, 6: 51-53.
- 太田 憲・室伏広治 (2014) オリンピックに向けたハンマー投のサイバネティック・トレーニング. *情報処理*, 55: 1228-1234.
- Otto, R. M. (1991) A kinematic analysis of Yuriy Sedikh's world record hammer throw. *Modern Athlete and Coach*, 29: 3-7.
- Petrov, V. (1980) Hammer throw technique and drills. *Legkaja Athletica*, 8.
- Sergo, C. and Boatwright, D. (1993) Training methods using various weighted bats and the effects on bat velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7: 115-117.
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., and Lockie, R. G. (2007) The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21: 77-85.
- Tancred, B. and Tancred, G. (1977) The effects of using a "heavy" discus in training by novice U/15 year old schoolboys. *Athletics Coach*, 11: 9-11.
- Winter, D. A. (2004) Kinematics. *Biomechanics and motor control of human movement* (3rd ed.). John Wiley and Sons, pp.13-58.
- Zatsiorsky, V. and Kraemer, W. (2006) Strength exercises. *Science and practice of strength Training* (2nd ed.). *Human Kinetics*, pp.109-136.

(2016年9月2日受付)
(2016年12月8日受理)