

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ック的特性：レジスティッドトレーニングとしての利用法の検討

広瀬 健一¹⁾ 大山卞圭悟²⁾ 藤井 宏明³⁾ 青木 和浩⁴⁾ 尾懸 貢²⁾

Kenichi Hirose¹, Keigo Ohyama Byun², Hiroaki Fujii³, Kazuhiro Aoki⁴ and Mitsugi Ogata²: Kinematic characteristics of throwing with the heavier hammer during the hammer throw: Consideration of its usage for resisted training. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.* 61: 75-89, June, 2016

Abstract : The purpose of this study was to investigate the kinematics of the throw with the competition hammer (7.26 kg) and the heavier hammer (8.0 kg). Sixteen male hammer throwers threw hammers of both weights at maximum effort. Utilizing 3 high-speed video cameras (300 fps), three-dimensional coordinates of the hammer head and 25 landmarks on the body were obtained by the direct linear transformation method. Hammer head velocity and distance thrown with the heavier hammer were significantly lower than for the throw with the competition hammer. Durations of the turn and double support phase (DSP) in the throw with the heavier hammer were significantly longer than with the competition hammer. Focusing on changes in the velocity of the hammer head, the duration of acceleration with the heavier hammer during the 1st and 2nd turns was longer than for the competition hammer. The Y component of displacement of the center of gravity for the heavier hammer was longer in every phase than for the competition hammer. These results suggest that the throw with the heavier hammer can be an effective training method for acquiring a longer movement of the center of gravity toward the throwing direction during the DSP and longer acceleration of the hammer head.

Key words : throwing events, three-dimensional motion analysis, double support phase
 キーワード：投てき競技，3次元動作分析，両足支持局面

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）。ハンマーヘッドの加速メカニズムに関して、坂東ほか（2006）は回転の中心方向にハンマーヘッドを引くことに

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

よってハンマーヘッドが加速される可能性を示唆しており、藤井ほか(2008)はハンマーヘッドとハンマーの瞬間中心を結ぶ線分よりハンドルが先行した状態でワイヤーに張力を加えることによってハンマーヘッドの加速が引き起こされることを報告している。また、藤井ほか(2010)はハンマーヘッドの加速技術に関して、ターン局面でのハンマーヘッド加速量を大きくするにはハンドルを先行させることが重要であり、腕の水平外転運動と体幹の捻り戻し運動を同時に行うこと、および左肩から右肩に向かう方向寄り(身体右後方)に移動させるような力を発揮することによってハンドルを大きく先行させることができると報告している。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)。

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)。上り坂走および重量物の牽引走は、スプリント走におけるレジスティッドトレーニングとして用いられている。上り坂走および重量物の牽引走の特徴として、疾走速度、ストライドおよびピッチの減少が報告されている(Lockie et al., 2003; 尾懸・関岡, 1985; Slawinski et al., 2008; 杉本・前田, 2014)。また、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、6週間(Harrison and Bourke, 2009)および8週間(Spinks et al., 2007)の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。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、投球スピードの低下が報告されてい

る(森本ほか, 2003; 森本・村木, 2001)。森本(2004)は重量の増加範囲が基準球に対して20%以内の場合は、ボール重量の増加に伴って投球腕における手関節の最大スピードの低下が認められた一方で、投球腕の各関節角度および各関節角速度には統計的に有意な変化は認められなかったことを報告している。また、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おいては、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)。

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おり(Bondarchuk, 1981; Hinz, 1991; 川田, 2013; 室伏, 1994)、ハンマーヘッド重量の増加によってターン局面における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)。ハンマー投は、ターンによる回転運動を行いながら投てき方向に直線的に移動し、その過程においてハンマーを加速させ投てきを行う。そのため、類似した運動構造を持つ種目が少ないことから、実際の投てき動作の中で通常よりも大きな負荷を与えるトレーニングの重要性が特に高いと考えられる。

このことから、高重量ハンマーによる投てきは、ハンマー投のレジスティッドトレーニング方法として有用である可能性が高いと推察される。しかしながら、高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスに焦点を当てた研究はほとんど見当たらず、ハンマーヘッドに作用する力に着目した研究のみ(Bartonietz, 1994; 広瀬ほか, 2015)に留まっているのが現状である。このような背景から、スプリント走、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と同様に、高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの

特性を明らかにすることができれば、技術練習の手段としての実施上の留意点や効果的な利用法を提示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投てきの技術的特性を検討することで、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男子投てき競技者16名（年齢 22.25 ± 2.82 歳，競技歴 7.06 ± 2.68 年，身長 178.99 ± 5.18 cm，体重 103.08 ± 13.38 kg，シーズンベスト記録 59.19 m ± 4.52 ，自己ベスト記録 60.24 m ± 5.04 ）を対象とした。全ての被験者は右投げであり，4回転投法を用いていた。なお，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（Kanishvsky, 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，正規重量よりも約10%重量を増加させた8.0 kgに設定した（正規重

量ハンマーの重量：7.26 kg）。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（正規重量ハンマー：F201，NISHI社製，高重量ハンマー：PM-8，POLANIK社製）。砲丸投において通常よりも重量を増加させた用具を先行運動として投てきした後，通常重量による用具の投てきを後続運動とした際，筋運動感覚残効（Sage, 1984）の影響により，知覚に変化を与え，投てき距離の向上が認められたという報告がある（兄井ほか，2014）。また，高重量ハンマー試技を先行運動とすることにより，活動後増強（post activation potentiation: PAP）による影響を受ける可能性が考えられる。活動後増強は，高強度の先行運動によって，それに続く後続運動における筋のパフォーマンスが一時的に向上する現象である（Sale, 2002）。また，先行運動から後続運動までの最適な時間間隔は7—10分間であることが報告されている（Wilson et al., 2013）。以上から，先行運動に高重量ハンマーを投てきすることにより，即時効果によって後続運動の投てきに影響を及ぼす可能性が考えられる。本研究の目的は即時効果の検討ではなく，ハンマー重量が投てきに及ぼす影響の検討であった。そのため，筋運動感覚残効および活動後増強の影響を最小限に留めるために，全ての被験者は正規重量ハンマーを先行運動，高重量ハンマーを後続運動とした試技順での投てきを試合形式で各重量3本ずつ行った。試技間には十分な休息を確保し，いずれの試技も全力で行った。分析試技は正規重量および高重量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行する方向，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ーを用い，同期ランプを画面内に写し込むこと

によって行った．3台のカメラは，投てき方向に
対し，左側方，左後方，右側方に配置した．また，
カメラはサークル中心からそれぞれ15 m 前
後の距離に配置し，高さ1.3 m に設定した．なお，
X 方向に向かう線分と Y 方向に向かう線分から
なる正方形（4 m × 4 m）を実空間座標として設
定し，対角線の交点を原点とした．試技の撮影前
にキャリブレーションポール（高さ2.6 m，7 箇
所に較正点）を原点（1 点），角（4 点）および
辺の midpoint（4 点）の9 箇所に垂直に設置し，撮影
を行った．撮影した VTR 画像を動作解析ソフト
ウェア（Frame-DIAS IV，ディケイエイチ社製）
を用いて，上肢8 点（左右の第三中手指節関節
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，第三中足骨，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
ポ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．本研究は1 名
の熟練した分析者が手動デジタイズによって分析
を行った．身体分析点はマーカーを用いず，認識
の難しい身体分析点においても，身体セグメント
の軸や関連する解剖学的ランドマークのうち視覚
による認識が可能なものとの相対的な位置関係を
活用しデジタイズを行った．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—9Hz）を決定し，Butterworth digital filter

を用いて平滑化した．

3. 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図1に示
した．右足が離地した時点をも R-off，右足が接地
した時点をも 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（片足支持局面）とそれに続
く DSP（両足支持局面）を合わせた局面をも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．
SSP および DSP に要した時間をそれぞれ50%，
1 ターンを100%として局面時間を規格化し，1%
毎に平均化した．

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．また，リリース時点のハン
マーヘッドパラメータから初速度，投射角，投射
高を算出した．

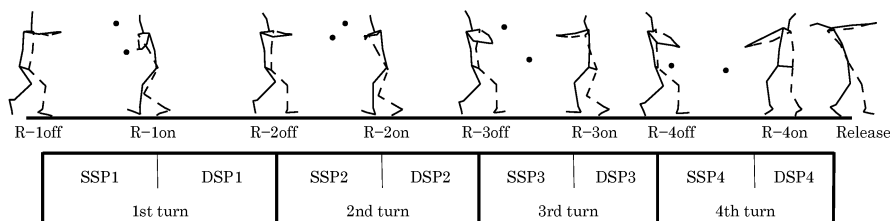


図1 ターン局面定義

3) ハンマーヘッド方位角の算出

図2(a)にサークル方位角の定義を示した。まず、サークルを 360° の円とみなし、投てき方向を指し、投てき区域を2等分する方向(Y方向)を 180° 、投てき方向に向かって右側方(X方向)を 90° 、左側方を 270° 、投てき方向の反対側を 0° とした。上述のサークルにおいて、静止座標系のXY平面にハンドル(左手先)からハンマーヘッドを結ぶベクトルを投影し、X方向の単位ベクトルと投影されたベクトルが成す角をハンマーヘッド方位角とする手法を用いた(図2(b))。なお、ハンマーヘッド方位角もサークル方位角と同様に、投てき方向に向かって右側方(X方向)を 90° とし、投てき区域を2等分する方向(Y方向)を 180° 、投てき方向に向かって左側方を 270° 、投てき方向の反対側を 0° とした。

4) 体幹捻転角度

図3(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 midpoint を原点とし、原点から左右肋骨下端を結んだ線分の midpoint に向かうベクトルを Z_{lt} とした。左股関節から右股関節に向かうベクトル X'_{lt} と Z_{lt} の外積により Y_{lt} を算出、 Y_{lt} と Z_{lt} の外積により X_{lt} を算出し、 X_{lt} 、 Y_{lt} 、 Z_{lt} 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 $X_{lt}Y_{lt}$ 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) ドラッグングアングル

図3(b)にハンマーと身体の相対的な位置関係を表すドラッグングアングル(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 midpoint を原点とし、左右肋骨下端を結んだ線分の midpoint 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'_{lt} 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グ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。極端にドラッグ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

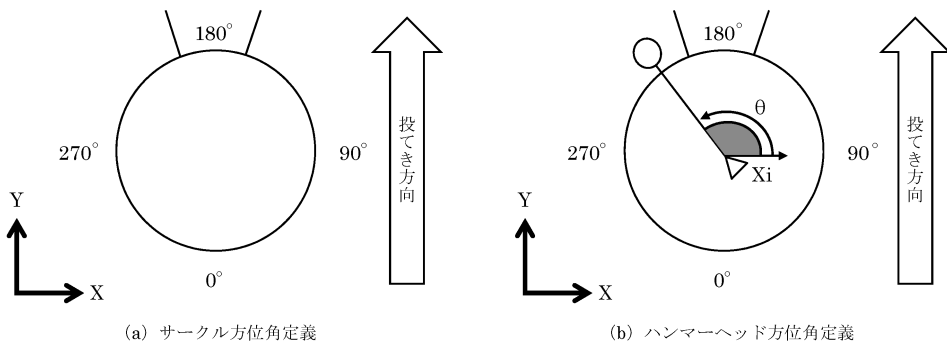


図2 サークル方位角定義およびハンマーヘッド方位角定義

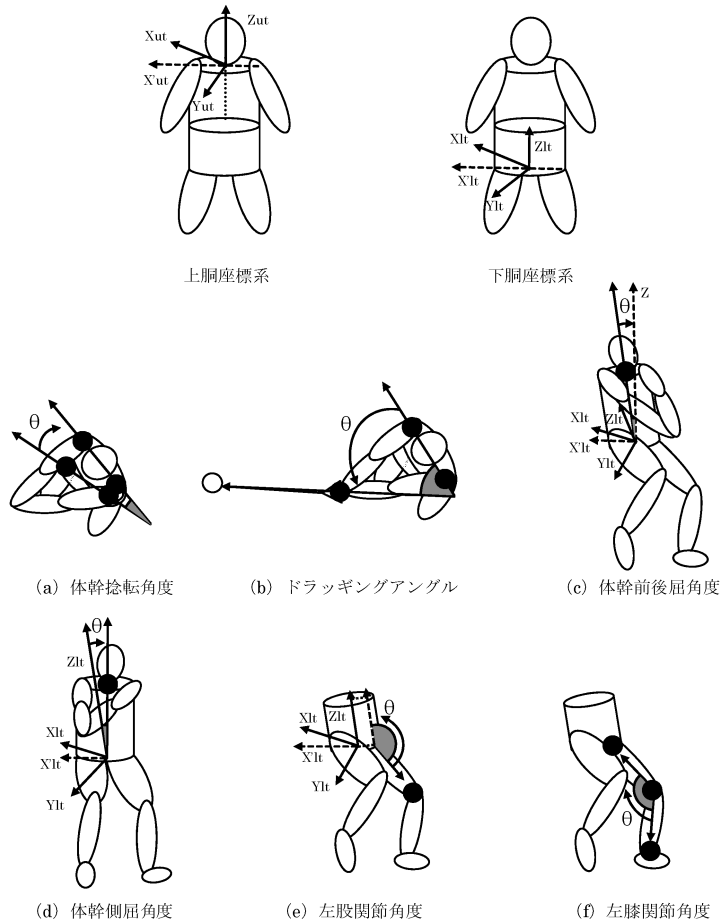


図3 移動座標系定義および角度定義

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られている(室伏, 1994). このような背景から, ハンマーをドラッグしすぎることは, 技術的に望ましくない poor technique であるとされている(Murofushi et al., 2007).

6) 体幹前後屈角度

図3(c)に, 体幹前後屈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屈角度とした. なお, 静止座標系の Z 軸と平行の場合を 0° とし, 角度の増大は体幹の後屈, 角度の減少は体幹の前屈を示す.

7) 体幹側屈角度

図3(d)に, 体幹左右屈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 $X_{lt}Y_{lt}$ 平面に原点から胸骨上縁に向かうベクトルと X_{lt} 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左右屈角度とした. なお, 角度の増大は体幹の右屈, 角度の減少は体幹の左屈を示す.

8) 左股関節角度

図3(e)に, 左股関節角度の定義を示した. まず, $Y_{lt}Z_{lt}$ 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, Z_{lt} 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

図3(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屈曲、角度の減少は左股関節の伸展を示す。

4. 統計処理

正規重量ハンマー試技と高重量ハンマー試技の2試技間の比較には対応のあるt-testを用いた。時系列が存在する項目においては繰り返しのある2元配置分散分析を行い、主効果が認められた場合は、Bonferroniの多重比較検定を実施した。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、統計的有意水準は5%未満とした。

III. 結 果

表1にリリースパラメータ、および投てき距離を示した。高重量ハンマー試技において投てき距離が低下した。なお、正規重量ハンマー試技の投てき距離は被験者のシーズンベスト記録に対して91.00±3.33%、自己ベスト記録に対して89.45±3.13%であった。また、初速度が有意に低下し、投射角も有意に低下した。投射高に関して有意差は認められなかった。

表2にSSP, DSP所要時間および所要時間比、ターン所要時間を示した。SSP所要時間に関し

表1 リリースパラメータおよび投てき距離

	正規重量 ハンマー試技	高重量 ハンマー試技
初速度 (m/s)	23.64±0.87	22.64±0.94***
投射高 (m)	1.40±0.21	1.32±0.19
投射角 (deg.)	38.40±2.03	37.40±2.14*
投てき距離 (m)	53.80±3.69	49.56±4.01***
自己ベスト記録に対する投てき距離の割合 (%)	89.45±3.13	
シーズンベスト記録に対する投てき距離の割合 (%)	91.00±3.33	

*: p<0.05, ***: p<0.001

表2 SSP, DSP所要時間と時間比およびターン所要時間

	正規重量 ハンマー試技	高重量 ハンマー試技
SSP所要時間: 4ターン合計(sec)	1.17±0.10	1.18±0.09
SSP所要時間: 1ターン目(sec)	0.33±0.03	0.32±0.02
SSP所要時間: 2ターン目(sec)	0.30±0.03	0.31±0.03
SSP所要時間: 3ターン目(sec)	0.28±0.03	0.27±0.03
SSP所要時間: 4ターン目(sec)	0.27±0.03	0.27±0.03
DSP所要時間: 4ターン合計(sec)	1.33±0.12	1.40±0.13***
DSP所要時間: 1ターン目(sec)	0.44±0.05	0.47±0.05**
DSP所要時間: 2ターン目(sec)	0.33±0.03	0.35±0.04
DSP所要時間: 3ターン目(sec)	0.26±0.04	0.29±0.03***
DSP所要時間: 4ターン目(sec)	0.29±0.03	0.29±0.04
ターン所要時間: 4ターン合計(sec)	2.50±0.13	2.57±0.14**
ターン所要時間: 1ターン目(sec)	0.77±0.07	0.79±0.06*
ターン所要時間: 2ターン目(sec)	0.63±0.03	0.65±0.05*
ターン所要時間: 3ターン目(sec)	0.54±0.03	0.56±0.03**
ターン所要時間: 4ターン目(sec)	0.56±0.03	0.56±0.04
SSP所要時間比: 4ターン合計(%)	46.85±3.33	45.74±3.25*
SSP所要時間比: 1ターン目(%)	42.51±3.30	41.03±2.81*
SSP所要時間比: 2ターン目(%)	47.44±3.84	47.12±4.33
SSP所要時間比: 3ターン目(%)	51.30±5.64	48.71±4.40**
SSP所要時間比: 4ターン目(%)	47.88±4.51	47.96±4.81
DSP所要時間比: 4ターン合計(%)	53.15±3.33	54.26±3.25*
DSP所要時間比: 1ターン目(%)	57.49±3.30	58.97±2.81*
DSP所要時間比: 2ターン目(%)	52.56±3.84	52.88±4.33
DSP所要時間比: 3ターン目(%)	48.70±5.64	51.29±4.40**
DSP所要時間比: 4ターン目(%)	52.12±4.51	52.04±4.81

*: p<0.05, **: p<0.01, ***: p<0.001

て4ターン合計および各ターンそれぞれにおいて両試技間に差は認められなかった。SSP所要時間比に関して、4ターン合計、1ターン目および3ターン目において、高重量ハンマー試技が有意に低値を示した。DSP所要時間に関して、4ターン合計、1ターン目および3ターン目において高重量ハンマー試技が有意に増大した。DSP所要時間比に関して、4ターン合計、1ターン目および3ターン目において高重量ハンマー試技が有意に高値を示した。また、ターン所要時間に関して、4ターン合計、1ターン目、2ターン目および3ターン目において、高重量ハンマー試技が有意に高値を示した。

図4にターン局面におけるハンマーヘッド速度およびハンマーヘッド鉛直座標値の時系列的な変化パターンを規格化時間で示した。高重量試技と正規重量ハンマー試技におけるハンマーヘッド速度を比較した結果、0%—400%時点において高重量ハンマー試技が正規重量ハンマー試技よりも有意に低値を示した ($p < 0.001$)。

ハンマーヘッド速度はターン局面中、加速と減速を繰り返しながら徐々に速度を高めていく(図

4)。ハンマーヘッド速度が減少から増大しはじめる時点(以下:ハンマーヘッド加速開始時点)、ハンマーヘッド速度が増大から減少しはじめる時点(以下「ハンマーヘッド減速開始時点」と略す)、およびハンマーヘッド速度が増大から減少するまでの区間(以下「ハンマーヘッド加速区間」と略す)をターン局面毎にハンマーヘッド方位角によって比較を行った(図5)。ハンマーヘッド加速開始時点のハンマーヘッド方位角は1ターン目および2ターン目において高重量ハンマー試技が正規重量ハンマー試技よりも有意に減少した。また、ハンマーヘッド加速区間を検討した結果、1ターン目および2ターン目において、高重量ハンマー試技が正規重量ハンマー試技よりも有意に増大した。ハンマーヘッド減速開始時点のハンマーヘッド方位角は両試技間において有意差は認められなかった。

正規重量ハンマー試技および高重量ハンマー試技におけるR-onおよびR-off時点のハンマーヘッド方位角を図6に示した。高重量ハンマー試技のR-1on、R-2onおよびR-3on時点のハンマーヘッド方位角が正規重量ハンマー試技よりも

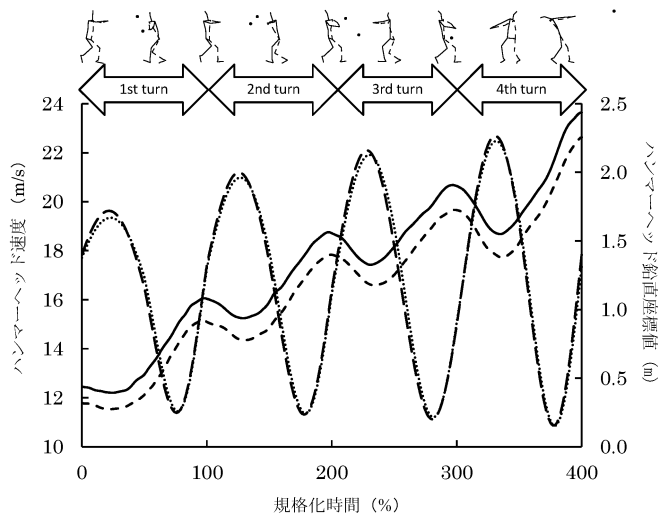


図4 ターン局面中におけるハンマーヘッド速度変化およびハンマーヘッド鉛直座標値

- : 正規重量ハンマー試技のハンマーヘッド速度
- - : 高重量ハンマー試技のハンマーヘッド速度
- ⋯ : 正規重量ハンマー試技のハンマーヘッド鉛直座標値
- · - : 高重量ハンマー試技のハンマーヘッド鉛直座標値

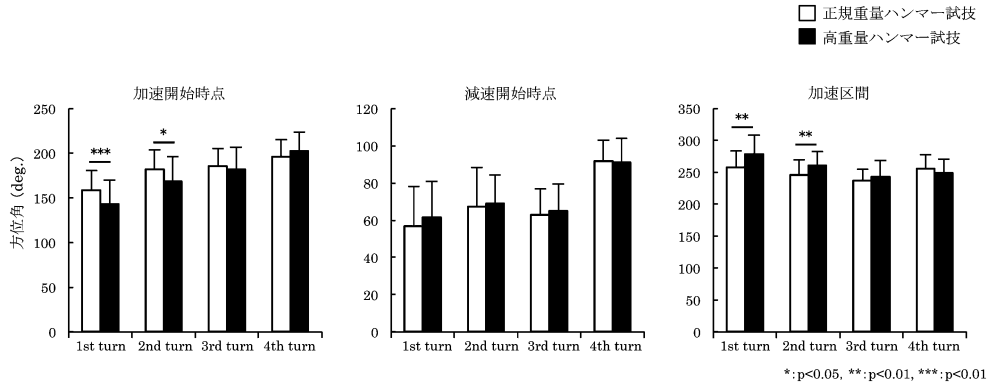


図5 加速開始時点，減速開始時点および加速区間のハンマーヘッド方位角

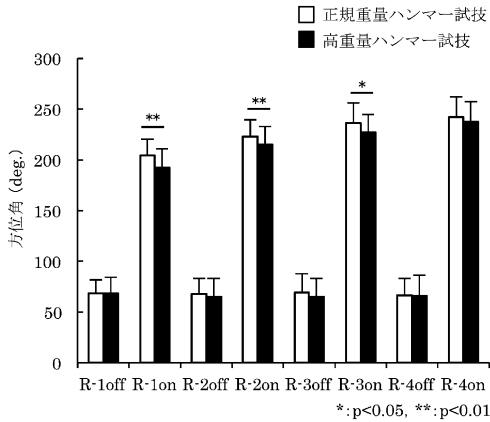


図6 R-on および R-off 時点におけるハンマーヘッド方位角

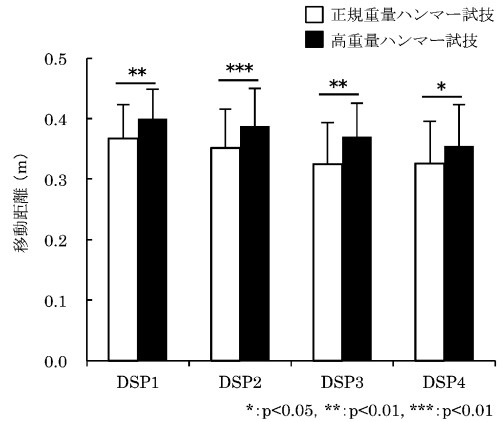


図7 DSPにおける身体重心Y成分の移動距離

有意に低値を示した。また，R-off時点のハンマーヘッド方位角に関しては両試技間に有意差は認められなかった。

図7にDSPにおける身体重心Y成分の移動距離を示した。DSPにおける身体重心Y成分の移動距離に関して，ターン局面中全てのDSPにおいて高重量ハンマー試技が有意に大きな値を示した。

表3にターン局面におけるドラッキングアングル，体幹前後屈角度，体幹側屈角度，左股関節角度および左膝関節角度を示した。ドラッキングアングルに関して，R-1off時点を除くすべての時点において両試技間に有意差は認められなかった。体幹前後屈角度に関して，R-2onにおいて

高重量ハンマー試技が有意に低値を示した。体幹側屈角度に関して，R-1on，R-4offおよびReleaseにおいて高重量ハンマー試技が有意に低値を示した。左股関節角度に関して，R-4offにおいて高重量ハンマー試技が有意に低値を示した。左膝関節角度に関して，R-2offおよびR-3onにおいて高重量ハンマー試技が有意に低値を示した。表4に体幹捻転角度および体幹捻り戻し角度を示した。体幹捻転角度において，ターン開始時点（R-1off）およびリリース時点（Release）に有意差が認められ，それ以外の時点においては高重量ハンマー試技がR-3on時点のみにおいて有意に高値を示した。また，捻り戻し角度を比較した結果，DSP3において高重量ハン

表3 ターン局面におけるドラッグイングアングル, 体幹左右屈角度, 体幹前後屈角度, 左股関節角度および左膝関節角度

	R-1off	R-1on	R-2off	R-2on	R-3off	R-3on	R-4off	R-4on	Release
ドラッグイングアングル (deg.)	73.7±7.5	65.7±8.1	74.7±5.6	68.2±5.5	78.2±4.8	70.3±7.0	81.6±6.5	72.0±7.3	78.7±7.7
高重量	76.9±8.0**	65.2±8.0	73.9±5.8	69.1±7.0	77.7±4.8	73.2±4.8	79.0±4.3	69.1±8.3	75.9±11.0
体幹前後屈角度 (deg.)	13.0±4.7	15.9±4.2	4.3±6.2	14.3±3.4	-6.1±5.0	8.8±3.5	-11.1±5.5	4.8±5.1	-21.6±4.1
高重量	12.2±4.0	14.9±3.4	4.7±5.3	12.9±3.7*	-4.9±6.1	8.7±3.9	-10.1±5.2	4.1±5.5	-22.5±4.5
体幹側屈角度 (deg.)	-6.3±2.3	8.1±5.6	-2.3±4.1	0.8±5.8	-1.8±3.2	-6.5±3.5	1.5±2.7	-8.5±4.6	0.3±6.0
高重量	-6.3±2.3	6.6±5.0*	-3.5±3.3	-0.6±3.9	-1.5±4.9	-7.2±4.1	-0.3±4.2*	-8.5±3.9	-3.1±6.5*
左股関節角度 (deg.)	117.6±8.2	135.7±10.9	126.7±9.4	141.5±8.9	137.1±7.0	145.5±8.3	149.5±6.2	146.7±8.7	169.1±4.9
高重量	117.5±6.1	137.4±7.4	123.2±8.0	143.1±9.1	135.7±7.4	145.8±8.6	145.2±7.3*	146.3±9.5	167.7±6.5
左膝関節角度 (deg.)	135.5±11.5	98.0±10.5	142.5±10.3	99.0±8.3	137.5±9.1	93.1±6.6	141.0±8.5	88.6±7.4	156.2±7.2
高重量	136.6±12.6	98.0±9.9	140.0±8.6**	99.0±9.2	138.9±8.4	90.1±7.9*	138.9±9.1	87.7±9.4	152.3±9.7

*: p<0.05, **: p<0.01

マー試技が有意に高値を示した。

Ⅳ. 考 察

1. リリースパラメータ, 投てき距離およびターン局面におけるハンマーヘッド速度変化について

本研究結果から, ハンマー投において用具の重量を増量した際, 投てき距離の低下を引き起こすことが確認された(表1). 投てき距離を決定する最も大きな要因は初速度であることから(坂東ほか, 2006; 池上ほか, 1994; Isele and Nixdorf, 2010; 室伏ほか, 1982), 高重量ハンマー試技における投てき距離の低下は, 初速度が低下したことによるものであると考えられる. 投てき物の重量増加は, 初速度の低下を引き起こし, 投てき距離の減少を引き起こすとされている(Zatsiorsky and Kraemer, 2006). 本研究においても, 高重量ハンマー試技はハンマーヘッド重量の増加に伴い, 正規重量ハンマー試技よりもハンマーヘッド速度を変化させにくくなった結果, 初速度の低下を招いたと考えられる. 図4にターン局面におけるハンマーヘッド速度変化を示した. 各ターンにおけるハンマーヘッド速度の極大値は主にローポイント(ハンマーヘッド鉛直座標値が最下点を示す時点)付近, ハンマーヘッド速度の極小値はハイポイント(ハンマーヘッド鉛直座標値が最上点を示す時点)付近で示された. ターン局面において, ハンマーヘッドは加減速を繰り返しながら徐々に速度を高めていく. ハンマーヘッド速度の増大は, 主にターン局面で行われるため(Dapena, 1984), ターンを重ねるごとに徐々にハンマーを加速させる技術が重要であると考えられる. 0%—400%時点において高重量ハンマー試技が正規重量ハンマー試技よりも有意に低値を示した. これは高重量ハンマー試技が, ターン局面全体を通してハンマーヘッド速度が低い状態で行われていたことになる. しかしながら, 高重量ハンマー試技の速度増減パターンは, 正規重量ハンマー試技と同様の様相を示したことから, 高重量ハンマー試技は, ターン局面におけるハンマーヘ

表4 ターン局面における体幹捻転角度および体幹捻り戻し角度

	体幹捻転角度 (deg.)		体幹捻り戻し角度 (deg.)	
	正規重量ハンマー試技	高重量ハンマー試技	正規重量ハンマー試技	高重量ハンマー試技
R-1off	-10.5±5.4	-5.8±6.5*		
R-1on	53.5±13.5	53.3±11.1	DSP1	49.9±18.1
R-2off	3.6±11.0	2.80±9.8		50.5±13.0
R-2on	48.8±10.3	48.6±12.4	DSP2	36.4±11.6
R-3off	12.4±7.4	11.71±11.0		36.8±12.5
R-3on	43.5±11.2	49.0±6.7**	DSP3	36.7±7.7
R-4off	6.8±8.7	7.07±9.4		41.9±8.8*
R-4on	40.8±13.3	39.9±10.5	DSP4	73.5±7.0
Release	-32.6±9.3	-27.6±7.2*		67.5±12.1

*: p<0.05, **: p<0.01

ッドの移動様相とハンマーヘッド加減速の関係性は維持されたまま投てきが遂行されたと考えられる。

2. ターン局面における SSP および DSP 所要時間およびハンマーヘッド方位角について

1 ターンは DSP と SSP を合わせた局面であり、SSP はハンマーヘッド速度の減少、DSP はハンマーヘッド速度の増大が確認される局面であると報告されている (Jaede, 1991 ; Morley, 2003 ; Otto, 1991). そのため、DSP は積極的加速区域、SSP は消極的加速区域と呼ばれている (室伏, 1994). 本研究結果から、高重量ハンマー試技は、4 ターン合計のターン所要時間の増大を引き起こすことが明らかとなった (表2). また、高重量ハンマー試技における 4 ターン合計の DSP 所要時間が増大した一方、4 ターン合計の SSP 所要時間に差は認められなかった。このことから、4 ターン合計のターン所要時間の増大は DSP 所要時間の増大に起因していることが示された。

次に、DSP の開始時点である、R-on 時点のハンマーヘッド方位角の比較を行った。その結果、R-1on, R-2on および R-3on 時点のハンマーヘッド方位角において、高重量ハンマー試技が有意に低値を示した (図6)。R-on 時点のハンマーヘッド方位角が減少したことは、より回転の早期にお

いて、右足接地が遂行されていたことを示している。右足接地をより回転の早期で行うことは、積極的加速区域である DSP を増大させる為の技術であると報告されている (Bondarchuk, 1981 ; 室伏, 1994). ターン中全ての局面における、R-off 時点のハンマーヘッド方位角に有意差は認められなかった。このことは、DSP の終点到に影響を及ぼさなかったことを示している。高重量ハンマー試技のハンマーヘッド速度は正規重量ハンマー試技よりも低下した一方で、各ターンにおける SSP 所要時間に差は認められなかった。このことから、R-on 時点のハンマーヘッド方位角の減少は、SSP における右足の追い越し動作が相対的に早まった結果によるものであると推察される。R-1on および R-2on に関して、R-on 時点のドラッグングアングルおよび体幹捻転角度において差は認められなかったことから、正規重量ハンマー試技と同様の動態を維持した状態で、より回転の早期に右足を接地していたと考えられる。また、R-3on に関しては、R-on 時点のドラッグングアングルに差は認められなかった一方で、体幹捻転角度は高重量ハンマー試技においてより体幹が捻られたことが示された。よって、R-3on においては下胴の回旋動作がより強調された状態で回転の早期に右足を接地していたことが示された。

以上から、高重量ハンマー試技は、積極的加速

区域である DSP に影響を与えることが示された。そのため、高重量ハンマー試技は、ハンマーヘッド速度変化の様相に変化を引き起こす可能性が考えられる。

3. ターン局面におけるハンマーヘッドの加減速について

高重量ハンマー試技において、積極的加速区域である DSP 所要時間および所要時間比の増大を引き起こすことが確認された。よって、ハンマーヘッド速度変化の様相を検討するために、ハンマーヘッド加速区間の比較を行った (図 5)。その結果、高重量ハンマー試技は、1 ターン目および 2 ターン目においてハンマーヘッド加速区間を増大させることが示された。また、ハンマーヘッド加速開始時点のハンマーヘッド方位角に着目し検討を行った結果、高重量ハンマー試技、1 ターン目および 2 ターン目において正規重量ハンマー試技よりも有意に低値を示した。ハンマーヘッド加速開始時点のハンマーヘッド方位角が減少したことは、より回転の早期でハンマーヘッドの加速が開始されていたことになる。室伏 (1994) はハンマーヘッドの加速を促す条件として、長くハンマーヘッドに力を作用させることであると述べていることから、ハンマーヘッド加速区間の増大は、ハンマー投において重要な技術的要因であると推察される。一方、ハンマーヘッド減速開始時点は、両試技間において有意差は認められなかった。つまり、高重量ハンマー試技におけるハンマーヘッド加速区間の増大は、ハンマーヘッド加速開始時点がより回転の早期に移行したことに起因するものであることが示された。

DSP の前半はハンマーヘッドの鉛直座標値が減少し、ハンマーヘッド速度が増大する区間である (図 4)。太田・室伏 (2010) はハンマーヘッドの加速メカニズムに関して、ハンマーヘッドが下方に移動する HP から LP までの局面に、最も大きな反対方向への加速力を加えることで、ハンマーヘッドの効果的な加速を促すことを報告している。本研究の結果から、高重量ハンマー試技は、ハンマーヘッドの加速開始時点および R-on

におけるハンマーヘッド方位角がより回転の早期に移行することが確認されている。このことから、高重量ハンマー試技は、DSP をより回転の早期から開始させ、DSP 前半のハンマーヘッドが下方に移動する局面において、ハンマーヘッドを長い区間加速させていたことが示された。

4. ターン局面における身体とハンマーの動態について

ハンマー投は、ターン動作を行いながら投てき方向側へ移動し、投てきを行う。DSP はターン中、ハンマーヘッドを積極的に加速させる局面であり、室伏 (1994) は、ハンマーが右奥 (投てき方向側) から正面 (投てき方向に対して反対側) に移動する区間において、投てき方向に身体を移動させる「倒れ込み」、を利用することでハンマーヘッドを効率的に加速させることができると述べている。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。高重量ハンマー試技において、ターン局面中全ての DSP における身体重心 Y 成分の移動距離が有意に増大した (図 7)。このことは、DSP においてより投てき方向に身体重心が移動していたことを示すものである。これまでの結果から、高重量ハンマー試技における投射角が有意に低下することが示されている。高重量ハンマー試技において身体の投てき方向側への水平移動がより大きくなったことによって、ハンマーヘッドの水平方向への加速がより強調された結果、投射角に影響を及ぼしたと考えられる。また、体幹前後屈角度 (表 3) において R-2on 以外の時点において有意差は認められなかった。体幹側屈角度 (表 3) において身体の前側が方位角 90° 付近の方向を向く R-off および Release 時点 (図 1) では R-3off を除き、高重量ハンマー試技がより投てき方向側に体幹を傾けていることが示された。左膝関節角度 (表 3) に関して高重量ハンマー試技が R-2off, R-3on において有意に屈曲

位を示し、左股関節角度（表3）に関しては全てのR-off時点において屈曲位を示す傾向を示した。このことから、左肩関節および左股関節の投てき方向への移動距離の増大は、上体を後屈させる動作ではなく、股関節や膝関節を屈曲させる椅子に腰掛けるような動作、および上体を左屈させる動作によって引き起こされていたと推察される。

表4には体幹捻転角度および体幹捻り戻し角度を示した。両試技共にSSPにおいて捻り動作、DSPにおいて捻り戻し動作を行いながらターンを行っていることが示された。Isele and Nixdorf (2010)はR-on時点における、体幹の捻りの程度は競技者によって異なるものの、R-on時点からR-off時点にかけて捻り戻し動作を行っていることを報告している。また、DSPにおける体幹の捻り戻しは、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（尾縣, 1990；藤井ほか, 2010；室伏, 1994）。本研究結果から、ドラッグングアングルの減少を伴わず体幹の捻り戻し動作を行っていたことが明らかとなり、むしろDSP3において高重量ハンマー試技は、正規重量ハンマー試技よりも大きな捻り戻しを行っていたことが示された。

5. 高重量ハンマーを使用したトレーニングへの示唆

本研究における最も競技力の高い被験者H（自己ベスト記録：71.51 m）と最も自己ベスト記録の低い被験者A（自己ベスト記録：52.11 m）の比較を事例的に行った結果、両者共に高重量ハンマー試技における4ターン合計のDSP所要時間の増大（被験者H：正規重量ハンマー試技1.11 sec, 高重量ハンマー試技 1.22 sec；被験者A：正規重量ハンマー試技 1.26 sec, 高重量ハンマー試技 1.29 sec）が確認された。また、高重量ハンマー試技において、両者共にターン局面中のDSPにおける身体重心Y成分の移動距離が増大した（被験者H：正規重量ハンマー試技 1.04 m, 高重量ハンマー試技 1.33 m；被験者A：正規重量ハンマー試技 1.53 m, 高重量ハンマー試技 1.79 m）。ドラッグングアングルのターン局面に

おける平均値を比較した結果、高重量ハンマー試技において両者の差はわずかであった（被験者H：高重量ハンマー試技 71.57 ± 9.00 deg.；被験者A：高重量ハンマー試技 71.27 ± 5.89 deg.）。

よって、本研究で対象とした被験者の競技レベルの範囲内であれば、高重量ハンマーを使用することによりドラッグングアングルの減少を抑えた中でDSP所要時間を増大させ、ハンマーヘッドの加速技術の遂行をより強調したトレーニングが可能になると考えられる。また、高重量ハンマーの使用によってDSPにおける身体重心の投てき方向側への移動距離を増大させることが可能となった。室伏（1994）は投てき方向側への倒れ込みの最大の効果は、倒れ込む力だけで移動や加速が可能になることであると述べていることから、高重量ハンマーによる投てきを、身体重心を後方へ移動させる技術に課題のある競技者に対しての活用や、投てき方向への重心移動を伴いながらハンマーヘッドを加速させる技術の習得もしくは修正に応用できると考える。

V. 要 約

本研究の目的は、高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性を明らかにし、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16名を対象とし、正規重量ハンマー（7.26 kg）試技と高重量ハンマー（8.0 kg）試技の比較を行った。その結果、高重量ハンマー試技はレジスティッドトレーニングの基本特性である、ハンマーヘッド速度や投てき距離の低下を引き起こすことが確認された。また、高重量ハンマー試技は、ハンマーヘッドの積極的加速区域であるDSP（両足支持局面）の所要時間および所要時間比の増大を引き起こすことが示された。ハンマーヘッド速度変化の様相に着目すると、高重量ハンマー試技は、ハンマーヘッド加速開始時点がより回転の早期に移行した結果、1ターン目および2ターン目におけるハンマーヘッド加速区間が増大した。また、高重量ハンマー試技におい

て、ターン局面中全ての DSP における身体重心の投てき方向側への移動距離が有意に増大した。よって、高重量ハンマーによる投てきは、DSP において投てき方向側への重心移動（倒れ込み）を伴いながら、より回転の早期から、長い区間ハンマーヘッドの加速を遂行する技術を習得するトレーニング法として有用であると考えられる。

文 献

- 兄井 彰・本多壮太郎・須崎康臣・磯貝浩久 (2014) 筋運動感覚残効が砲丸投げのパフォーマンスに及ぼす影響. 体育学研究, 59: 673-688.
- 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. (1981) Modern trends in hammer throwing. *Modern Athlete and Coach.*, 19: 30-32.
- Bondarchuk, A., Ivanova, L., and Vinnitchuk, W. (1977) Training with light and heavy implements. *Track Technique.*, 67: 2129-2130.
- 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., Kwok, H., and Blitzblau, A. (1990) Effects of weighted implement training on throwing velocity. *Journal of Applied Sport Science Research.*, 4: 16-9.
- Escamilla, R. F., Speer, K. P., Fleisig, G. S., and Barentine, 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 (2008) ハンマー投におけるハンマーヘッド加速要因の再検討—力学的観点からの再検討—. *バイオメカニクス研究*, 12: 232-242.
- 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.
- 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.
- 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.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., and Spinks, C. D. (2003) Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research.*, 17: 760-767.
- 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.
- マトヴェイエフ, L. P. : 江上修代訳 (1985) ソビエトスポーツ・トレーニングの原理. 白帝社, pp. 206-245.
- 森本吉謙 (2004) 野球の投球運動におけるアシスティ

- ッドおよびレジスティッドトレーニングの方法的な研究. 筑波大学博士 (体育科学) 学位論文.
- 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.
- 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.
- 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.
- Murofushi, K., Sakurai, S., Umegaki, K., and Takamatsu, J. (2007) Hammer acceleration due to thrower and hammer movement patterns. *Sports Biomechanics.*, 6: 301-314.
- 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・関岡康男 (1985) 坂上り走の持つ技術練習手段としての有効性の検証—走動作に着目して—. *日本体育学会大会号*, 36: 658.
- 尾縣 貢 (1990) ハンマー投. *日本陸上競技連盟, 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 (2010) ハンマー投の力学と新しいトレーニング方法の開発. *日本機械学会誌*, 113: 109-112.
- 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.
- Sage, G. H. (1984) *Motor learning and control: A neuropsychological approach*. William C. Brown Pub.
- Sale, D. G. (2002) Postactivation potentiation: role in human performance. *Exercise Sport Science Review*, 30: 138-143.
- Slawinski, J., Dorel, S., Hug, F., Couturier, A., Fournel, V., Morin, J. B., and Hanon, C. (2008) Elite long sprint running: a comparison between incline and level training sessions. *Medicine and Science in Sports and Exercise.*, 40: 1155-1162.
- 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.
- 杉本祐太・前田正登 (2014) 上り坂疾走における傾度の違いが疾走動作に及ぼす影響. *コーチング学研究*, 27: 203-213.
- Wilson, J. M., Duncan, N. M., Marin, P. J., Brown, L. E., Loenneke, J. P., Wilson, S. M., Jo, E., Lowery, R. P., and Ugrinowitsch, C. (2013) Meta-analysis of postactivation potentiation and power: effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *Journal of Strength and Conditioning Research.*, 27: 854-859.
- Winter, D. A. (2004) *Biomechanics and motor control of human movement (third edition)*. John Wiley and Sons, pp. 49-50.
- Zatsiorsky, V. and Kraemer, W. (2006) *Science and practice of strength Training (second edition)*. Human Kinetics, pp. 129-132.

(2015年6月24日受付)
(2015年12月26日受理)