

博士論文

ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの特性

およびトレーニングの有効性の検討

平成 28 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科

コーチング学専攻

広瀬健一

目次

図のタイトル一覧	i
表のタイトル一覧	iii
I. 緒 言	1
II. 文献研究	4
1. ハンマー投の力学的観点からの研究	4
2. レジスティッドトレーニングに関する研究	8
3. レジスティッドトレーニングの実践に関する研究	18
III. 本研究の目的および課題	21
1. 研究目的	21
2. 研究課題	22
IV. 本研究の意義，仮説および限界	24
1. 研究の意義	24
2. 研究の仮説	24
3. 研究の限界	25
IV. 高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討	26
1. 目 的	26
2. 方 法	27
(1) 被験者	27

(2) 重量設定, 実験試技およびデータ収集	27
(3) 分析項目	28
(4) 統計処理	32
3. 結 果	33
4. 考 察	36
(1) ターン局面における遠心力について	36
(2) ターン局面におけるハンマーヘッドの動態と遠心力について	38
(3) 自己ベスト記録と遠心力増加量との関係について	43
5. 要 約	44
V. 高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討	45
1. 目 的	45
2. 方 法	46
(1) 被験者	46
(2) 重量設定, 実験試技およびデータ収集	46
(3) 分析項目	47
(4) 統計処理	51
3. 結 果	54
4. 考 察	60
(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	60

(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	61
(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	65
(4) ターン局面における身体とハンマーヘッドの動態について	67
5. 要 約	71
VI. 高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討	72
1. 目 的	72
2. 方 法	73
(1) 被験者	73
(2) 重量設定, 実験試技およびデータ収集	73
(3) 分析項目	74
(4) トレーニング	75
(5) 統計処理	76
3. 結 果	78
4. 考 察	81
(1) 高重量ハンマーを使用したトレーニングの累積効果について	81
(2) ターン局面における身体とハンマーヘッドの動態について	83
5. 要 約	91
VII. 総合考察	92

1. 高重量ハンマーを使用したトレーニングの実践方法について	94
2. 競技レベルに着目した高重量ハンマーによるトレーニングの実践方法について	96
3. 高重量ハンマーによるトレーニング実践に対する指導の留意点	98
4. 今後の課題	100
VIII. 結 論	102
謝辞	104
文献	105

図のタイトル一覧

Ⅳ. 高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討

Fig. 4-1 Definition of turn phases.

Fig. 4-2 Maximum centrifugal force during turn phases.

Fig. 4-3 Average centrifugal force during turn phases.

Fig. 4-4 Averaged patterns for sixteen subjects of the centrifugal force and vertical displacement of the hammer's head from R-1off through to release.

Fig. 4-5 The relationship between personal best and increment of centrifugal force.

Ⅴ. 高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討

Fig. 5-1 Definition of circle angle and azimuthal angle.

Fig. 5-2 Reference frame on upper/lower torso and angle definitions.

Fig. 5-3 Hammer head velocity and vertical displacement of the hammer head from R-1off through to release.

Fig. 5-4 Start angles of acceleration, deceleration and duration of acceleration.

Fig. 5-5 Azimuthal angles of hammer head in each event.

Fig. 5-6 Displacement of the Y coordinate of CG during DSP.

VI. 高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討

Fig. 6-1 Comparison of the velocity increment.

Fig. 6-2 Comparison of the duration of acceleration in each turn.

Fig. 6-3 Comparison of maximum centrifugal force in each group.

Fig. 6-4 Comparison of untwisting angle in each group.

表のタイトル一覧

IV. 高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討

Table 4-1 Characteristics of subjects.

Table 4-2 Radius of curvature and hammer head velocity in each event.

Table 4-3 Maximum centrifugal force and increment of centrifugal force.

V. 高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討

Table 5-1 Release parameters and throwing record.

Table 5-2 Duration time and time ratio of turn.

Table 5-3 Joint motions in each event.

Table 5-4 Wind angle and unwind angle of the trunk in the turns.

VI. 高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討

Table 6-1 Subject characteristics in each group.

Table 6-2 Comparison of throwing distance, start velocity, release parameters and total time of turn.

Table 6-3 Comparison of joint motions in the TR group.

Table 6-4 Comparison of joint motions in the CT group.

関連論文

本博士論文は，以下の学術論文，学会発表および未発表資料をまとめたものである．

【学術論文】

広瀬健一・大山卞圭悟・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・大山卞圭悟・藤井宏明・青木和浩・尾縣 貢（2016）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・大山卞圭悟・藤井宏明・青木和浩・前田 奎・梶谷亮輔・尾縣 貢．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．体育学研究（in press）．

【査読付学会議事録】

Hirose, K., Ohyama Byun, K., and Ogata, M. (2015) Kinematic analysis of cable force during hammer throws with heavier implements. Proceedings of the 33rd Congress of the International Society of Biomechanics in Sports: 964-967.

【学会発表】

広瀬健一・大山卞圭悟・尾縣 貢. ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの事例的研究. 日本陸上競技学会第 14 回大会（東京都），2015 年 12 月.

Hirose, K., Ohyama Byun, K., and Ogata, M. Kinematic analysis of cable force during hammer throws with heavier implements. 33rd Congress of the International Society of Biomechanics in Sports, Poitiers, France, 2015-06.

廣瀬健一・大山卞圭悟・尾縣 貢. ハンマー投における高重量ハンマーによる投てきの負荷特性. 日本陸上競技学会第 13 回大会（北海道），2014 年 12 月.

廣瀬健一・大山卞圭悟・尾縣 貢. ハンマー投におけるレジステッドトレーニングの有効性の検討. 日本体育学会第 65 回大会（岩手県），2014 年 8 月.

I. 緒 言

ハンマー投の起源は古く、紀元前 1829 年のアイルランドで競技会が開かれたことが民話「レンスターの本」に記されている（岡尾，1996）．ハンマー投は 1900 年のパリ大会から近代オリンピックの正式種目に加えられ、現在においても陸上競技の 1 種目として実施されている．ハンマー投は直径 2.135m のサークル内から 34.92 度の有効範囲内に全長 1.175-1.215m、重量 7.26kg（16lb）のハンマーを投てきし、その飛距離を競う競技である．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）．そのため、ハンマー投競技者は、より大きなハンマーヘッドの初速度を獲得するために、通常、2-3 回の予備スイング（両足を接地した状態でハンマーを身体の周りで回転させる）の後、3-4 回転の投てき方向に水平に移動するターン動作を行い、最終ターンの後ハンマーをリリースするという、一連の動作を遂行している（Brice et al., 2008）．このように、ハンマー投は非日常的な運動である上に、投てき競技におけるサークル系種目（砲丸投・円盤投・ハンマー投）は、限定されたスペース内で高速で複雑な動作を遂行する必要があるため、技術的に難易度が高い競技種目であるとされている（Hay and Yu, 1995）．

ハンマーヘッドに作用する力に関する研究において、湯浅ほか（1985）は、ターン局面において遠心力は増大と減少を繰り返しながら徐々に高まっていき、最終回転局面で最大値を示すことを報告している．一流競技者を対象とした研究では、ハンマーに

3000N を超える力が作用する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, 大きな遠心力に耐えながら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 (廣瀬ほか, 2013).

このように, ハンマー投は特異的な技術特性を有すること, そして非常に大きな負荷に耐えながら投てきを遂行する競技であると言える. トレーニング現場では, 試合的運動の達成をより高度なものとするために, 一般的・全面的運動に加え, 専門的運動が実施されている (村木, 1994). その中で行われる専門的トレーニング方法の一つにレジスティッドトレーニング (**resisted training**) が存在する. これは, 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専門的な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). 投てき種目におけるレジスティッドトレーニングとしては, 投てき物の重量を増大する方法が用いられており (Bondarchuk et al., 1977), ハンマー投においても同様に, 多くの指導書等

(Bingisser, 2010 ; Bondarchuk, 1981 ; Hinz, 1991 ; 川田, 2013 ; 室伏, 1994 ; Petrov, 1980) で高重量ハンマーを使用する方法が挙げられている. このことから, ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの歴史は古く, 現在のトレーニング現場においても重要視されていることがうかがえる. しかし, 上述の指導書等で見受けられる大半の報告が経験則に基づいて論じられているのが現状であり, 科学的な知見が集

積されているとは言い難い。したがって、ハンマー投におけるレジスティッドトレーニング方法の検討を行うことによって、トレーニング現場への実践的な示唆を得ることができると考えられる。

Ⅱ．文献研究

1. ハンマー投の力学的観点からの研究

(1) ハンマー投における記録決定要因

ハンマー投の飛距離を決定する要因は、リリース時におけるハンマーヘッドの初速度、投射角、投射高および飛行中の空気抵抗によって決定する (Dyson, 1973; Hay, 1978)。

Hay (1978) はリリース後のハンマーに作用する空気抵抗は極めて小さいことから、バイオメカニクス的手法によってハンマーの飛距離を解析するときには、空気抵抗は無視できると報告している。室伏ほか (1982) はリリース時におけるハンマーヘッドの初速度、投射角、投射高を入力変数としたシミュレーションモデルからハンマーの飛距離を算出した結果、ハンマーの飛距離を決定する最も重要な要因はハンマーヘッドの初速度であることを明らかにした。同様に、数多くの先行研究 (Dapena, 1984, 1985; 坂東ほか, 2006; 池上ほか, 1994; Isele and Nixdorf, 2010; 岡本ほか, 1993; 梅垣・水谷, 1997) においてもリリースパラメータ (初速度・投射角・投射高) の中でハンマーの飛距離を決定する最も重要な要因はハンマーヘッドの初速度であることが報告されている。

(2) ハンマーヘッドの加速に関する研究

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 (Dapena, 1984)。室伏ほか (1982) はハンマーヘッドの加速は投てき者の身体移動 (translation) と回転運

動 (rotation) によって生み出されることを報告している。右利きの競技者は反時計回りの回転動作を行っており、ターン局面中、左足は常に接地している一方で、右足は接地と離地を繰り返している。このターン局面における、両足が地面に接地している局面を両足支持局面（以下：「DSP」と略す）、右足が離地している局面を片足支持局面（以下：「SSP」と略す）に分類することができる。ハンマーヘッド速度は DSP に増大し、SSP に減少するため、DSP を長くする投法が推奨されている (Black, 1980 ; 室伏, 1994 ; Simonyi, 1980 ; Woicik, 1980)。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おり (藤井ほか, 2010 ; 室伏, 1994 ; 尾縣, 1990), Isele and Nixdorf (2010) は 2009 年ベルリン世界選手権の決勝進出者の動作分析を行った結果、DSP においてハンマー投競技者は体幹の捻り戻し動作を行っていたことを報告している。藤井ほか (2008a) はターン動作中における身体の角運動量とハンマーヘッドの法線加速度は DSP で増加することを報告している。また、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。

太田・室伏 (2010) はハンマーヘッドの運動を励起するメカニズムをフラフープ型振り子モデルで考察し、ハイポイント（ハンマーヘッドの鉛直座標値が最大値を示す時点）からローポイント（ハンマーヘッドの鉛直座標値が最小値を示す時点）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が、ハンマーヘッドの効果的な加速を促す要因であることを報告している。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。このハンマーヘッドの加速方法はパラメータ励振と呼ばれ、直接回転駆動力を加えられないブランコのような系の加速方法と同様のメカニズムであるとされている。

ハンマーヘッドの加速メカニズムに関して、坂東ほか（2006）は学生レベルの競技者から世界レベルのハンマー投競技者 26 名の 3 次元分析を行った結果、ハンマー投競技者は回転の中心方向にヘッドを引くことによって法線加速度を高め、その結果曲率半径が減少しながらハンマーヘッドが加速されることを報告している。

藤井ほか（2008b）はコンピュータシミュレーションによってハンマーヘッドの加速要因を検討し、ハンドルがハンマーの瞬間中心を結ぶ線分より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を加速する効果が生じることを報告している。

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。以上から、ハンマー投競技者はターン局面において、上述の動作を行いハンマーヘッドの加速を遂行していると考えられる。

(3) ハンマーヘッドに作用する力に関する研究

ハンマー投はハンマーヘッドをターン動作によって加速させ、遠心力を利用して投てきを行うことから、その遠心力に対抗する牽引力を発揮する必要があるとされている（岡本，2007）。ハンマーヘッドに作用する力（岡本ほか，1993）の表現方法は、Cable force（Brice et al., 2008 ; Dapena and Feltner, 1989）、張力もしくは Tensile force（遠藤ほか，2009a, 2009b ; Murofushi et al., 2005）、遠心力もしくは牽引力（岡本，2007 ; 梅垣・水谷，1997 ; 湯浅ほか，1985）と多数存在している。ハンマーとハンドルはワイヤーを介して接続されており、ハンドルは手に直接保持されていることから、ハンマーヘッドに作用する力は身体にかかる負荷と比例関係にあると考えられる。ハンマー投の場合、張力は遠心力を反映し（太田・室伏，2010）、牽引力は遠心力と作用・反作用の関係にあり、ほぼ同等の大きさを示す（岡本，2007）ことが報告されている。ハンマーヘッドに作用する力に関して、遠藤ほか（2009a, 2009b）および Murofushi et al. (2007) は、ハンマーの接続部分であるワイヤーにセンサーを直接取り付け、張力の計測をすることで検討している。また、映像データを基にハンマーヘッドに作用する力を算出する方法に関する研究も数多く行われている（Dapena and Feltner, 1989 ; 岡本，2007 ; 梅垣・水谷，1997 ; 湯浅ほか，1985）。

湯浅ほか（1985）は、ターン局面における遠心力は増大と減少を繰り返しながら徐々に高まっていき、最終回転局面で最大値を示すことを報告している。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の大きさに関して、Dapena（1982）は 67.50m 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いる。

Murofushi et al. (2005) は一流競技者を対象に、ハンマーのワイヤーに作用する力を張力計を用いて測定した結果、3000N を超える力を示したことを報告している。岡本 (2007) は世界一流競技者 2 名の撮影された映像から遠心力を算出した結果、76.37m の投てきにおいて 324kgw を示し、76.67m の投てきにおいて 307kgw を示したことを報告している。以上から、ハンマー投競技者にはターン局面中、ハンマーヘッドに作用する負荷に耐え、さらにハンマーを加速させるだけの筋力、瞬発力が必要不可欠であると考えられる。

2. レジスティッドトレーニングに関する研究

レジスティッドトレーニングは、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専門的な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)。そのため、投てき競技 (砲丸投・円盤投・ハンマー投・やり投) のみならず、野球の投球運動・バットスイングおよびスプリント走においても利用されている。以下にそれに関する先行研究について概説する。

(1) 投てき競技におけるレジスティッドトレーニング

投てき競技におけるレジスティッドトレーニングは当該種目の用具 (砲丸・円盤・ハンマー・やり) の重量を増大する方法によって実施されている。

1) 砲丸投におけるレジスティッドトレーニング

Kanishevsky (1984) は砲丸の重量の増大範囲は動作や運動のリズムに悪影響を及ぼさない小さな範囲内で変動させるべきであると述べている。また, Bartonietz (2003) は砲丸の重量を増大した際の投てき距離は, 重量増大の程度に伴い低下することを報告している。

砲丸投におけるレジスティッドトレーニングの即時効果に関する研究において, Judge (2009) は世界レベルの女子砲丸投競技者を対象に, 先行運動に重量を増大した砲丸を投てきすることで正規重量の砲丸による投てきのパフォーマンスを向上させるトレーニング方法を紹介している。この方法は筋カーパワー増強コンプレックストレーニング (SPPC) と呼ばれており, 通常のトレーニングだけでなく試合時のウォーミングアップに利用することによって, 筋の活性化を促し, 筋力および力の立ち上がり速度を高めることができると述べている。兄井ほか (2014) は先行運動に基準重量の 4.0kg よりも重い 5.0kg および 6.0kg 砲丸を先行運動として投てきした後, 後続運動に 4.0kg 砲丸を投てきした際の飛距離は有意に伸びたことを報告している。西藤 (1975) は軽い砲丸 (12lb) による投てきを先行運動とした群と, 重い砲丸 (20lb) による投てきを先行運動として実施した群に対して, 後続運動に正規重量による砲丸 (16lb) を投てきした際, 両群の投てき記録に有意差は認められなかったことを報告している。Judge et al. (2012) は 8 名の女子砲丸投競技者を対象に, 4.0kg (正規重量), 4.5kg および 5.0kg の砲丸をウォーミングアップで投てきした後に, 4.0kg 砲丸の投てき距離を比較した結果, いずれの群にも有意差は認められなかったことを報告している。

2) 円盤投におけるレジスティッドトレーニング

高松・桜井（2013）は円盤投における円盤の重量を変化させた条件の下，スタンディングスローの分析を行った結果，円盤重量の増大に伴って初速度と投射角は低下する傾向があり，円盤に作用する力は増大する傾向がみられたことを報告している．

円盤投におけるレジスティッドトレーニングの即時効果に関する研究において，西藤（1975）は軽い円盤（1.5kg）による投てきを先行運動とした群と，重い円盤（2.5kg）による投てきを先行運動とした群に対して，後続運動に正規重量（2.0kg）による円盤の投てきを実施した際，両群の投てき記録に有意差は認められなかったことを報告している．

Trancred and Trancred（1977）は円盤投の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，合計 10 回のトレーニングによって，通常重量（1.25kg）よりやや重い円盤（1.5kg）でトレーニングした群が最も記録が向上したが，重すぎる円盤（1.75kg）によるトレーニングを行った群は記録の向上が認められなかったことを報告している．

3) ハンマー投におけるレジスティッドトレーニング

正規重量ハンマーと高重量ハンマーによる投てきを比較した研究において，Bartonietz（1994）はハンマーの重量を増大させた場合，重量の増加に伴いワイヤー張力の最大値が増大することを報告している．

ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの即時効果に関する研究において，西藤（1975）は軽いハンマー（12lb）による投てきを先行運動とした群と，重いハン

マー（20lb）による投てきを先行運動とした群に対して、後続運動に正規重量によるハンマー（16lb）を投てきした結果、両群の投てき記録に有意差は認められなかったことを報告している。Judge et al.（2010）は高校生の男女を対象に、重量投（ハンマー投で使用するハンマーよりも全長が短いハンマーを投てきする競技、全長：40.6cm，男子：11.4kg，女子：9.1kg）の重量を増大させた用具（男女ともに 1.37kg 増および 2.27kg 増の重量）を先行運動として投てきした後、後続運動として正規重量の重量投を投てきした際の投てき距離は向上したことを報告している。

4) やり投におけるレジスティッドトレーニング

やりの重量を増大した投てきにおいて、重量の増大に伴い、やりに作用する力、キネティックエネルギー、最大および平均パワー発揮が高まっていたことが報告されている（Bartonietz, 2000）。

やり投におけるレジスティッドトレーニングの即時効果に関する研究において、西藤（1975）は軽いやり（600g）による投てきを先行運動とした群と、重いやり（1.25kg）による投てきを先行運動とした群に対して、後続運動に正規重量のやり（800g）を投てきした結果、両群の投てき記録に有意差は認められなかったことを報告している。

Konstantinov（1979）はやり投のレジスティッドトレーニングに重いテニスボールや石を投てきする方法を挙げており、女子競技者で 0.05–0.2kg，男子競技者で 0.1–0.3kg の加重範囲で行うと述べている。

(2) 投球運動におけるレジスティッドトレーニング

投球運動におけるレジスティッドトレーニングは、ボールの重量を増大する方法によって実施されている。野球における投球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、森本ほか（2003）は硬式野球部に所属する大学生 7 名を対象に、145g のボールを基準球として 5%刻みに $\pm 20\%$ の範囲で重量を増減した 9 種類のボールを投球した。その結果、ボール重量が増加するに伴い、ボールの初速度は低下したことが確認されている。

森本・村木（2001）は硬式野球部に所属する高校生 7 名を対象に、上記と同様の測定を行った結果、ボール重量が増加するに伴い、ボールの初速度は低下したことが確認されている。森本（2004a）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。

野球における投球運動のレジスティッドトレーニングの即時効果を検討した研究において、森本ほか（2003）は先行運動として 145g のボールを基準球として 5%刻みに 20%の範囲内で重量を増大したボールを投球した後、基準球を投球した結果、投球スピードは向上しなかったことを報告している。Van Hass et al.（1962）は、50 名の大学野球部員を対象に、先行運動として 11 オンスと 5 オンスのボールを 10 球投球した後、後続運動として 5 オンスのボールを投球した際、先行運動として 11 オンスのボールを投球した群の方が投球スピードの向上が認められたことを報告している。

野球における投球運動の累積効果を検討した研究において、森本ほか（2004b）は大学硬式野球部に所属する男子 28 名を対象に、軽量球と基準球を投球する群（AT 群， $n=7$ ），加重球と基準球を投球する群（RT 群， $n=7$ ），加重球，軽量球および基準球を投球する群（CT 群， $n=7$ ），基準球のみを投球する群（CON 群， $n=7$ ）の 4 群に分け、基準球の投球スピード計測を行った後、週 2 回、3 週間のトレーニング期間後を設け、トレーニング終了後に同様の計測を行った。その結果、AT 群、RT 群および CT 群において投球スピードの向上が認められたことを報告している。DeRenne et al. (1990) は高校生の野球部員を対象に基準球（5 オンス）のみ、基準球と軽量球（4 3/4 オンス）でトレーニングする群、基準球と加重球（5 1/4 オンス）でトレーニングする群の 3 群に分け、10 週間のトレーニングを実施した。その結果、全ての群で球速は向上したが、基準球のみでトレーニングを行う群よりも、基準球と軽量球および基準球と加重球によるトレーニングを行った群のほうが大きな伸びを示したことを報告している。

(3) バットスイングにおけるレジスティッドトレーニング

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はバット重量を増大する方法によって実施されている。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の即時効果を検討した研究において、DeRenne et al. (1992) は試合用のバット（30 オンス）の $\pm 12\%$ 範囲内の重量のバットをウォーミングアップに用いた場合が最も速いスイング速度を示したが、27 オンスよりも軽いバットと 34 オンスよりも重いバットを先行運動とした場合は遅いスイング速度を示したことを報告している。

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、Sergo and Boatwright (1993) は 24 名の大学生野球選手を対象に 64 オンスのバットによるトレーニング (5 回スイング 20 秒レスト, 20 セット) を週 3 回 6 週間実施した。その結果、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) は 10 名の野球選手を対象に、34 オンスに増量したバットによる 7 週間のトレーニングを実施した結果、通常重量のバットによるスイング速度が向上したことを報告している。

(4) スプリント走におけるレジスティッドトレーニング

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。杉本・前田 (2014) は短距離走種目を専門とする男子大学生陸上競技者 9 名を対象に、3 種類の傾斜 (1.3%, 7.4% および 13.1%) の上り坂および平地で 40m の全力疾走を行わせ、スタートから 30m 地点付近の疾走動作を検討した。その結果、傾斜が大きくなるに伴いストライドおよび疾走速度の低下が認められたことを報告している。尾縣・関岡 (1985) は平地と 3.1% の上り坂での疾走動作を比較した結果、上り坂走は疾走速度、ピッチおよびストライドの低下が引き起こされるものの、上体の前傾が深くかつ接地中の膝の伸展が大きく、平地の疾走における加速局面の走動作に近いことから、上り坂走は加速疾走能力の改善に有効であると報告している。Slawinski et al. (2008) は 9 名の 400m 走を専門とする競技者を対象に、平地と $5.4 \pm 0.7\%$ の上り傾斜における 40-50m 地点の疾走動作の比較を行った。その結果、疾

走速度、ストライドおよびピッチの低下が確認されている。この報告では、上り坂走は接地期後半のプッシュオフ時間が増大することから、加速局面での推進力獲得を目的としたトレーニングとして有効であると述べられている。

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、Harrison and Bourke (2009) は 15 名の男性ラグビー選手を対象にトレーニング群 8 名、コントロール群 7 名に分け、トレーニング群には体重の 13% の重量に設定したスレッドを牽引するトレーニングを 12 回、6 週間実施した。その結果、トレーニング群において 30m のスプリントタイムおよび 5m 地点のタイムの短縮が認められている。また、Spinks et al. (2007) はフットボール選手を対象に、スレッドを牽引するスプリント走を 16 回、8 週間実施した。その結果、0-5m、5-10m、10-15m および 0-15m におけるスプリントタイムの短縮が確認されている。

以上、様々な運動のレジスティッドトレーニングに関する研究を概観してきた。レジスティッドトレーニングを対象とした研究は、通常の運動と外的負荷を増大させた運動を対比させた研究、先行運動外的負荷を増大させた運動を実施し、後続運動にプラスの影響を与えることを目的とした即時効果を検討した研究、および外的負荷を増大させた運動を継続的に実施し、累積効果を検討した研究の 3 つに大別することができる。

通常の運動と外的負荷を増大させた運動を対比させた研究に関して、投てき競技においては、初速度の低下、投てき距離の低下、投てき物に作用する力の増大が確認されている。野球の投球運動においては、ボールの初速度の低下が確認されているが、投球動作（投球腕の各関節角度および各関節角速度）には影響を及ぼさなかったことが報告さ

れている。

スプリント走においては、ピッチ、ストライドおよび疾走速度の低下が認められたことが報告されている。また、加速局面での推進力獲得を目的とした技術トレーニングとして利用可能であることが確認されている。以上から、外的（用具・環境）負荷の増大によって、運動に様々な変化を及ぼすことが明らかとなっている。また、レジスティッドトレーニングはその競技に要求される専門的なパワーや筋力を強化することが主たる目的とされているが、必ずしも筋力へのアプローチでだけではなく、技術トレーニング的手段としても利用されていることがわかる。

レジスティッドトレーニングの即時効果を検討した研究に関して、投てき競技、野球の投球運動およびバットスイングにおいては、必ずしもプラスの効果を期待できない報告が見受けられた。ハンマー投においても同様に、即時効果についてはプラスの効果が認められなかったことが報告されている。

累積効果を検討した研究は、投てき競技では円盤投の研究のみであり、20%重量を増大させた円盤によるトレーニングにおいては投てき距離の向上は認められた一方で、40%重量を増大させた円盤によるトレーニングにおいては投てき距離の向上は認められなかったことが報告されている。野球の投球運動において、重量を増大したボールによる継続的なトレーニングを行うことで、球速の向上が認められたことが報告されている。バットスイングにおいても重量を増大したバットによる継続的なトレーニングによって、スイング速度の向上が確認されている。スプリント走において、重量物を牽引する継続的なトレーニングによって、スプリントタイムが短縮し、特に加速能力の向上が

認められたことが報告されている。以上の様々な運動の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は、3 週間から 10 週間のトレーニング期間を設けることによって、競技パフォーマンスの向上が確認されている。また、バットスイングを除き、重量の増大範囲は 20%以内の小さな変化領域で実施されていた。

以上のように、通常の運動と外的負荷を増大させた運動を対比させた研究に関して、用具の重量を増大させた際、用具に作用する力は正規重量の用具よりも高値を示したことが報告されている (Bartonietz, 2000 ; 高松・桜井, 2013)。しかしながら、高重量ハンマーを投てきした際の負荷特性については、わずかに Bartonietz (1994) が最大張力についてのみ言及しているが、計測条件が不明瞭であり、ターン局面中の詳細な分析は行っていないことから、実践的な示唆を得るまでには至っていない (問題点 1)。

また、先行研究 (森本ほか, 2003 ; 森本・村木, 2001 ; 高松・桜井, 2013) によって、投てき競技および野球の投球運動においてはリリースパラメータにおける初速度の低下が確認されている。しかしながら、ハンマー投のレジスティッドトレーニングにおいて、投てき距離やリリースパラメータに代表される時空間パラメータに及ぼす影響については検討されていない (問題点 2)。

加えて、スプリント走を対象にした研究 (尾縣・関岡, 1985 ; Slawinski et al., 2008) において、動作の変容が確認されたことから、レジスティッドトレーニングの技術トレーニングとしての側面が検討されている。しかしながら、ハンマー投のレジスティッドトレーニングにおいて動作に着目した研究は見当たらない (問題点 3)。

3. レジスティッドトレーニングの実践に関する研究

ここではレジスティッドトレーニングの実践方法に関する文献を概括し、ハンマー投のレジスティッドトレーニングの位置付けについて検討する。

(1) レジスティッドトレーニングの実践目的および方法

レジスティッドトレーニングは、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る。レジスティッドトレーニングは、専攻スポーツの特殊な要求に合致する筋力を養成する（マトヴェイエフ，1985），その競技に要求される専門的なパワーや筋力を強化する（村木，1994），競技のテクニカルパターンに極めて特異的なやり方で、投てき競技者の筋力を向上させ、機能する運動単位をうまく動員することができるようになる（Judge，2009），以上のような目的で実施されている。レジスティッドトレーニングに代表されるような運動は専門的運動と呼ばれ、試合運動の専門的な要素，部分ならびに運動形態が本質的に似たものを指すとされている（村木，1994）。Backer（1996）はトレーニングの特異性は運動が競技スキルに特異的な可動域に近いのか全く同じであるときにトレーニング効果のプラスの転移が起こると報告している。このような背景から、極端に重すぎる用具の使用はマイナスの影響を及ぼす恐れがあると懸念するコーチや研究者もいることが報告されている（DeRenne et al.，1995）。そのため、レジスティッドトレーニングを実施するにあたり、砲丸投およびやり投の重量変化に関する報告（Kanishevsky，1984；Konstantinov，1979）によると、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領域で

行われるとされており，野球の投球運動に関する研究（森本ほか，2003）では，ボール重量の増減を基準球に対して 10%以内の変化領域で行うのが望ましいとされている．

（2）トレーニング構成上の位置付け

村木（1994）によると，最良のトレーニング状態を生み出す単位はミクロ，メゾ，マクロの 3 つの周期に区分され，その中のメゾ周期はトレーニングの集積的で累積的な効果，および順応過程の破壊防止等々，トレーニングによる生体の望ましい順応・適応過程を生み出すためにそれぞれのトレーニング段階や局面で同じタイプもしくは数タイプのミクロ周期を 3-6 単位包括し，比較的完成したトレーニング過程が形成される基本単位であり，この期間の長さは，体力，技術面での諸要素の本質的改善が基本的に可能とされる時間であるとされている．マトヴェイエフ（1985）はメゾサイクルの長さは 1 ヶ月に近く，この期間において，新しいモータースキルの形成と以前に習得したモータースキルの改造に関する基本的トレーニング作業を実行する「発展させる」サイクルとして実施可能であると述べている．これまでの文献研究より，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，競技種目にかかわらず，当該種目のパフォーマンスの向上が認められている．森本ほか（2004b）は野球の投球運動のレジスティッドトレーニングの累積効果を，トレーニングの時期的な位置付けを考慮した上で検討した．この研究では専門的準備期の後半から試合期直前にかけてのメゾ周期レベルでのトレーニングを想定し，3 週間のトレーニングを実施した結果，投球スピードの向上が認められたことを報告している．また，Harnes（1988）はブルガリアの女子円盤

投競技者の長期間のトレーニング内容を報告しており、重量を増大した円盤によるトレーニングは冬季および、専門的準備期にあたる7、8月に実施していたことが報告されている。

以上のように、レジスティッドトレーニングの実践方法に関して、適切な重量増大範囲でトレーニングを実施することが重要であり、陸上競技においては後半シーズンに向けた専門的準備期にトレーニングプログラムに組み込まれている。このことから、レジスティッドトレーニングを専門的準備期から試合期直前に向けたメゾ周期レベルで実施することは有効なトレーニング方法であると考えられる。しかしながら、ハンマー投のレジスティッドトレーニングにおいて、トレーニングの時期的な位置付けを考慮した上でのメゾ周期レベルの累積効果を検討した研究は見当たらない（問題点4）。

Ⅲ. 本研究の目的および課題

1. 研究目的

文献研究により, ハンマー投のレジスティッドトレーニングに関して以下の問題点が指摘された.

(1) レジスティッドトレーニング本来の目的は, 外的負荷の増大によって, その運動に対して過負荷を与える目的で行われる. しかしながら, ハンマー投における高重量ハンマーによる投てきの負荷特性について詳細に検討されていない (問題点 1).

(2) 様々な投球運動において, 投てき物の重量増大によってリリースパラメータへの影響が確認されている. しかしながら, ハンマー投における用具の重量を増大した際の投てき距離や時空間パラメータの影響を検討した研究は見当たらない (問題点 2).

(3) いくつかの研究において, レジスティッドトレーニングが動作に変容を引き起こすことから, 技術トレーニングとしての利用法が検討されている. しかしながら, ハンマー投におけるハンマー重量の増大が動作に及ぼす影響については検討されていない (問題点 3).

(4) 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は多数存在する一方で、ハンマー投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ものは見当たらない（問題点 4）。

本研究では、上記の問題点を解決するために、高重量ハンマーによる投てきの負荷特性、技術的特性およびトレーニングの有効性を明らかとすることで、トレーニング現場に有用な実践的な示唆を得ることを目的とした。

2. 研究課題

本研究では、上述した研究目的を達成するために、以下に示す 3 つの研究課題を設定した。

【研究課題 1】

高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討

ハンマー投を専門とする一般男子競技者を対象に、正規重量ハンマーおよび高重量ハンマーの投てきを行い、ターン局面中の負荷特性を検討する（問題点 1 について）。

【研究課題 2】

高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討

ハンマー投を専門とする一般男子競技者を対象に、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キネマティクスの特性を検討する（問題点 2, 3 について）。

【研究課題 3】

高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討

ハンマー投を専門とする一般男子競技者を対象に、高重量ハンマーを使用したメゾ周期レベルのトレーニングを行い、累積効果を検討する（問題点 4 について）。

IV. 本研究の意義，仮説および限界

1. 研究の意義

本研究では，専門的トレーニング方法の一つであるレジスティッドトレーニングに着目して検討を進める．これは外的負荷を増大することによって，専門的な筋力的要素の改善を期待するものである．ハンマー投のトレーニング現場においては高重量ハンマーを使用する方法が挙げられているものの，大半の報告が経験則に基づいて論じられているのが現状であり，科学的な知見が集積されているとは言い難い．また，これまでレジスティッドトレーニングは筋力養成法としての側面が重要視されており，技術的トレーニング手段としての有効性は検討されていないのが現状である．そのため，本研究では高重量ハンマーを投てきした際の負荷特性を検討し，レジスティッドトレーニング本来の目的に合致するか否かの確認を行う．そして，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により，技術的トレーニング手段となり得るか検討を行う．さらに，メゾ周期レベルでの累積効果を検討することで，専門的準備期から試合期に向けたトレーニング手段としての有効性を明らかにする．以上 3 つの研究課題を明らかにすることによって，トレーニング現場への実践的な知見を得ることができると考えられる．

2. 研究の仮説

先述した研究課題に対して，次の仮説を設定した．

(1) 高重量ハンマーによる投てきは正規重量ハンマーによる投てきよりも負荷を増大させる.

(2) 高重量ハンマーによる投てきにおけるキネマティクスのパラメータは正規重量ハンマーによる投てきと異なる.

(3) 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, 競技パフォーマンスを向上させる.

3. 研究の限界

本研究には, 以下に示す研究方法による限界, 一般化・普遍化に関する限界が存在する.

(1) 対象による限界

1) 本研究で得られた知見はハンマーの正規重量が異なる女性・高校生競技者に適用するのには限界がある.

2) 本研究で得られた知見が対象とした競技レベルより高い・低い競技者に当てはまるかには限界がある.

(2) 方法による限界

1) 本研究の測定は屋外で実施したため, 風や気温, 湿度等の気象条件をすべての試技で統一することはできなかった.

IV. 高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討

1. 目 的

レジスティッドトレーニングの負荷特性に関して、円盤投においては円盤の重量の増大に伴って円盤に作用する力は増大する傾向がみられること（高松・桜井，2013），やり投に関しては，やりの重量の増大に伴い，やりに作用する力が高まっていたこと（Bartonietz，2000）が文献研究によって確認された．ハンマー投に関しては，Bartonietz（1994）が最大張力についてのみ言及しているが，計測条件が不明瞭であり，ターン局面中の詳細な分析は行っていないことから，実践的な示唆を得るまでには至っていないことが問題点として挙げられた．したがって，高重量ハンマーによる投てきの負荷特性をより明確にすることができれば，トレーニング手段としての実践的な示唆を得ることができると考えられる．よって，本研究では高重量ハンマーによる投てきの負荷特性を明らかにすることを目的とした．

2. 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 名を対象とした (Table 4-1). すべての被験者は 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し, 実験参加の同意を書面で得た.

(2) 重量設定, 実験試技およびデータ収集

砲丸投およびやり投の重量変化に関する報告 (Kanishevsky, 1984 ; Konstantinov, 1979) によると, 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領域で行われるとあり, 野球の投球運動に関する研究 (森本ほか, 2003) では, ボール重量の増減を基準球に対して 10% 以内の変化領域で行うのが望ましいとされている. 以上の先行研究を踏まえ, 高重量ハンマーの重量を 8.0kg に設定した (正規重量ハンマーの重量: 7.26kg). 全長は正規規格に統一し, 重量のみを変化させたハンマーを使用した. 被験者には両ハンマーによる投てきを試合形式で実施した. 投てき競技において通常よりも重量を増大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を後続運動として投てきした際, 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 ; Judge et al., 2010). そのため, 本研究においては, 高重量ハンマーによる投てきを先行運動とした際の即時効果による影響を排除するために, 全ての被験者は正規

重量ハンマー，高重量ハンマーの順で試技を行った．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ハンマーおよび高重量ハンマーによる投てきの各試技中において，最も記録の良かった試技を採用した．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（EX-F1，CASIO 社製）を用い，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（LED 型シンクロナイザ PTS-110，ディケイエイチ社製）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（Frame-DIAS IV，ディケイエイチ社製）を用いて，ハンマーヘッドおよび左手第 3MP 関節中心の 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：0.007m，Y 軸：0.007m，Z 軸：0.007m であった．Winter（2004）の方法によって，本研究で使用した分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数（5Hz-8Hz）を決定し，Butterworth digital filter を用いて平滑化した．

（3）分析項目

1) ターンの局面分けに関して

本研究におけるターン局面の定義を Fig. 4-1 に示した．右足が地面から離れた時点を R-off，右足が地面に接した時点を R-on とした．SSP は右足を離地（R-off）してか

ら接地 (R-on) するまでの局面, DSP 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 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 (ハンマーヘッドの鉛直座標値が最大値を示す時点) 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 (ハンマーヘッドの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) 遠心力の算出

映像データを基にハンマーヘッドに作用する力を算出する方法に関する研究は数多く行われている (Dapena and Feltner, 1989 ; 梅垣・水谷, 1997 ; 岡本, 2007 ; 湯浅ほか, 1985)。本研究においても, 映像データから算出した座標データを基に, 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の算出を行った。

なお, ハンマーヘッド速度はハンマーヘッドの 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算出した。また, 研究における曲率半径の算出に関しては, 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 3 指 MP 関節の座標

Table 4–1 Characteristics of subjects.

Subject	Age (yrs)	Career (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Personal best (m)
A	18	4	176.0	75.0	52.11
B	21	6	185.0	101.0	62.67
C	22	6	171.0	90.0	57.40
D	21	6	180.1	114.0	58.44
E	20	5	191.0	95.0	60.74
F	22	8	185.3	109.6	60.43
G	23	8	184.0	126.0	66.00
H	30	14	176.0	120.0	71.51
I	21	5	180.0	90.0	55.83
J	21	5	175.0	96.0	58.11
K	21	6	180.0	126.0	56.64
L	22	5	173.5	99.6	61.03
M	22	10	180.0	97.0	56.33
N	21	6	173.0	100.0	54.34
O	23	7	179.0	100.0	64.71
P	28	12	175.0	110.0	67.61
Mean	22.25	7.06	178.99	103.08	60.24
SD	2.82	2.68	5.18	13.38	5.04

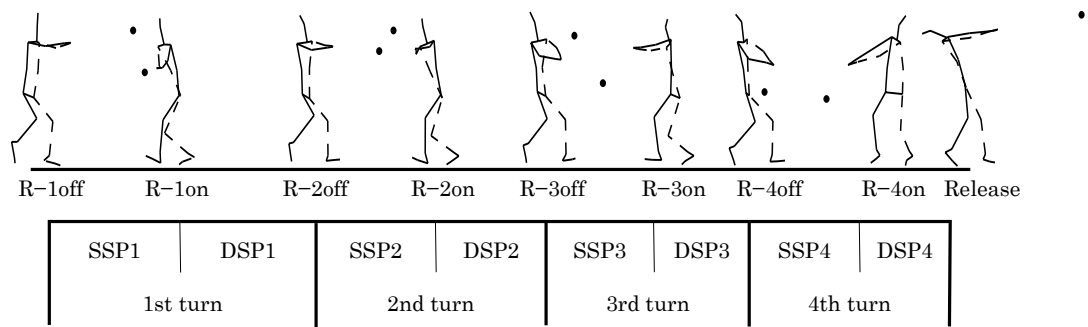


Fig. 4-1 Definition of turn phases.

値を用い、ハンマー瞬間回転中心を算出し、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までの距離を曲率半径 (r) とした。

3) 遠心力増加量の算出

各重量のターン局面における遠心力最大値を求めた後、高重量ハンマー試技の遠心力最大値から正規重量ハンマー試技の遠心力最大値を減じることによって、遠心力増加量を算出した。

(4) 統計処理

本研究における 2 変数間の関係の検討には Pearson の積率相関係数を求めた。時系列が存在する項目においては、2 群（正規重量ハンマー試技・高重量ハンマー試技）×局面の 2 元配置分散分析を行い、交互作用が認められた場合は単純主効果検定を実施した。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、試技間のみの検討を行った。なお、統計的有意水準は 5%未満とした。

3. 結 果

Fig. 4-2 に各重量のターン局面における遠心力最大値を示した。DSP3 および DSP4 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高値を示した。

Fig. 4-3 に各重量のターン局面における遠心力平均値を示した。正規重量ハンマー試技と高重量ハンマー試技を比較した結果、項目間に有意差は認められなかった。

Table4-2 にターン局面中の曲率半径およびハンマーヘッド速度を示した。曲率半径に関して、R-1off, R-3off, R-4off, R-4on 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。また、ハンマーヘッド速度に関して、全ての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低い速度を示した。

Fig. 4-4 にはターン局面中における、遠心力およびハンマーヘッドの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。80-90%, 170-180%, 270-290%および 370-390%において高重量ハンマー試技の遠心力は正規重量ハンマー試技よりも高値で推移していた。

Table4-3 に遠心力増加量（高重量ハンマー試技の遠心力最大値-正規重量ハンマー試技の遠心力最大値）を示した。16 名中 13 名が正の値を示し、3 名が負の値を示した。また、遠心力増加量と自己ベスト記録との間に有意な相関関係は認められなかった (Fig. 4-5)。

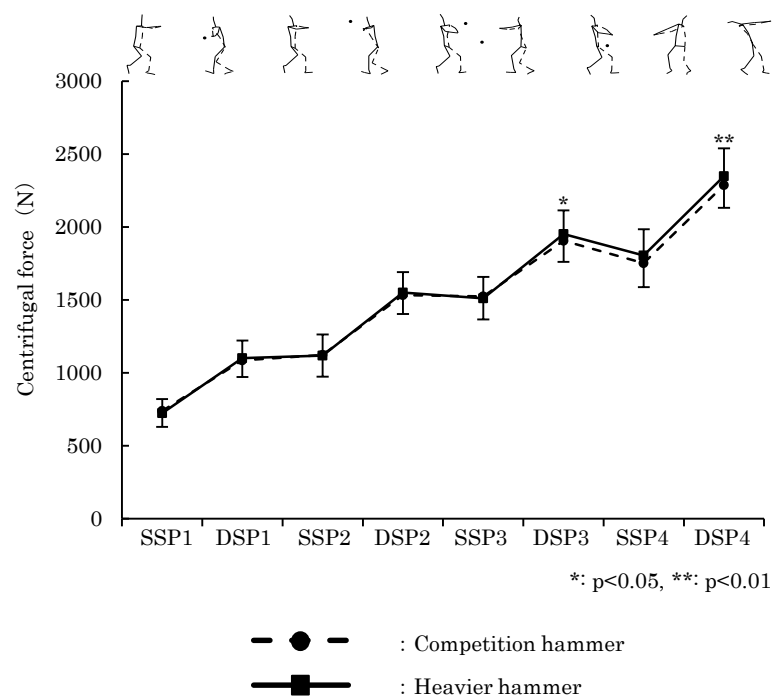


Fig. 4-2 Maximum centrifugal force during turn phases.

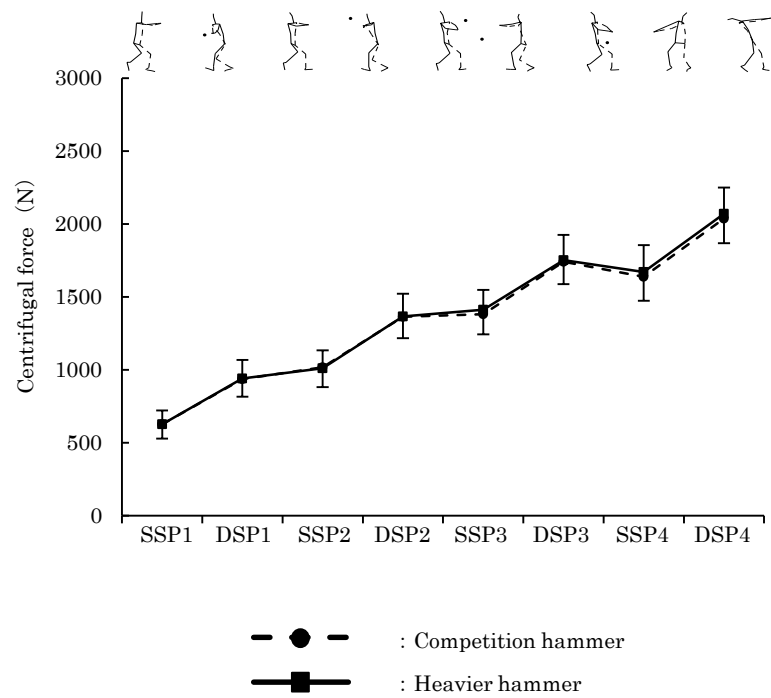


Fig. 4-3 Average centrifugal force during turn phases.

4. 考 察

(1) ターン局面における遠心力について

ターン局面毎における遠心力最大値において、両試技に共通して DSP4 の遠心力最大値はターン局面全体における遠心力最大値を示した (Fig. 4-2). この結果は先行研究 (遠藤ほか, 2009b ; Murofushi et al., 2007) を支持するものである. したがって, 重量に関わらず, ハンマー投競技者は 4 回転を通して, 徐々にハンマーヘッドの遠心力を高めながらターンを行い, 最終局面である DSP4 において遠心力が最も大きくなることが明らかとなった. また, DSP3 および DSP4 の遠心力最大値において, 高重量ハンマー試技が有意に高値を示した. このことから, 高重量ハンマーによる投てきの DSP3 および DSP4 において, 正規重量ハンマーによる投てきと比較し, 競技者は高まった遠心力に対抗して大きな牽引力を発揮していたと考えられる. 一方, ターン局面における遠心力平均値に関しては, いずれの項目間にも有意差は認められなかった (Fig. 4-3). よって, 高重量ハンマーによる投てきは SSP および DSP を通して常に過負荷を引き起こすものではなく, 負荷の最大値を高めることが明らかとなった.

Table4-2 にはターン局面中の曲率半径およびハンマーヘッド速度を示した. 高重量ハンマー試技における曲率半径に関して有意に減少する局面が確認された. また, ハンマーヘッド速度に関しては R-1off から Release まで常に高重量ハンマー試技が有意に低値を示した. レジスティッドトレーニングを実施する上で, 速度の低下は基本的特性であるとされている (Zatsiorsky and Kraemer, 2006). 遠心力は速度の 2 乗と質量の

Table 4-2 Radius of curvature and hammer head velocity in each event.

	Radius of curvature (m)			Hammer head velocity (m/s)		
	Competition	Heavier	Difference	Competition	Heavier	Difference
R-1off	1.79 ± 0.12	1.74 ± 0.09	*	12.46 ± 0.82	11.80 ± 0.74	***
R-1on	1.73 ± 0.10	1.71 ± 0.07		12.95 ± 1.01	12.12 ± 1.00	***
R-2off	1.78 ± 0.07	1.76 ± 0.06		16.04 ± 0.92	15.10 ± 0.78	***
R-2on	1.70 ± 0.07	1.68 ± 0.07		15.91 ± 1.07	14.86 ± 1.07	***
R-3off	1.77 ± 0.07	1.73 ± 0.06	**	18.72 ± 0.86	17.84 ± 0.79	***
R-3on	1.64 ± 0.05	1.62 ± 0.06		18.16 ± 0.98	17.02 ± 1.04	***
R-4off	1.74 ± 0.07	1.70 ± 0.07	**	20.64 ± 0.83	19.66 ± 0.93	***
R-4on	1.64 ± 0.06	1.60 ± 0.05	**	19.37 ± 1.18	18.33 ± 1.09	***
Release	1.93 ± 0.11	1.96 ± 0.09		23.64 ± 0.87	22.64 ± 0.94	***

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

積を半径で除すことによって得られることから、高重量ハンマー試技において遠心力の増大に至ったのは、速度の低下の度合いよりも重量の増大および半径の減少度合いが上回ったためであると推察される。以上から、これまで経験則で論じられてきた「より大きな負荷を与えるトレーニング」としての科学的知見が示されたと言える。

(2) ターン局面におけるハンマーヘッドの動態と遠心力について

Fig. 4-4 にはターン局面中における、遠心力およびハンマーヘッドの鉛直座標値の時間系列的な変化パターンを規格化時間で示した。ハンマーヘッドが LP 付近に位置している局面において、高重量ハンマー試技の遠心力は正規重量ハンマー試技よりも高値で推移していたことが確認された。このことから、高重量ハンマーによる投てきによって遠心力が高値で推移する区間は、R-on から LP までの局面であることが分かる。R-on から LP までの区間は DSP の初期から中期までの局面であり、ハンマーヘッドの鉛直座標値が減少する区間である。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が、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。また、室伏（1994）は R-on から積極的加速区間である DSP が始まり、体幹の振りを積極的に戻すことによって、ハンマーヘッドを加速させることができると述べている。したがって、高重量ハンマーによる投てきは、DSP におけるハンマーヘッドの加速に重要な局面において、過負荷を与えることが可能なトレーニング方法であると推察される。藤田ほか（2007）は体幹筋群の筋出力を測定した結果、回旋力と投てき

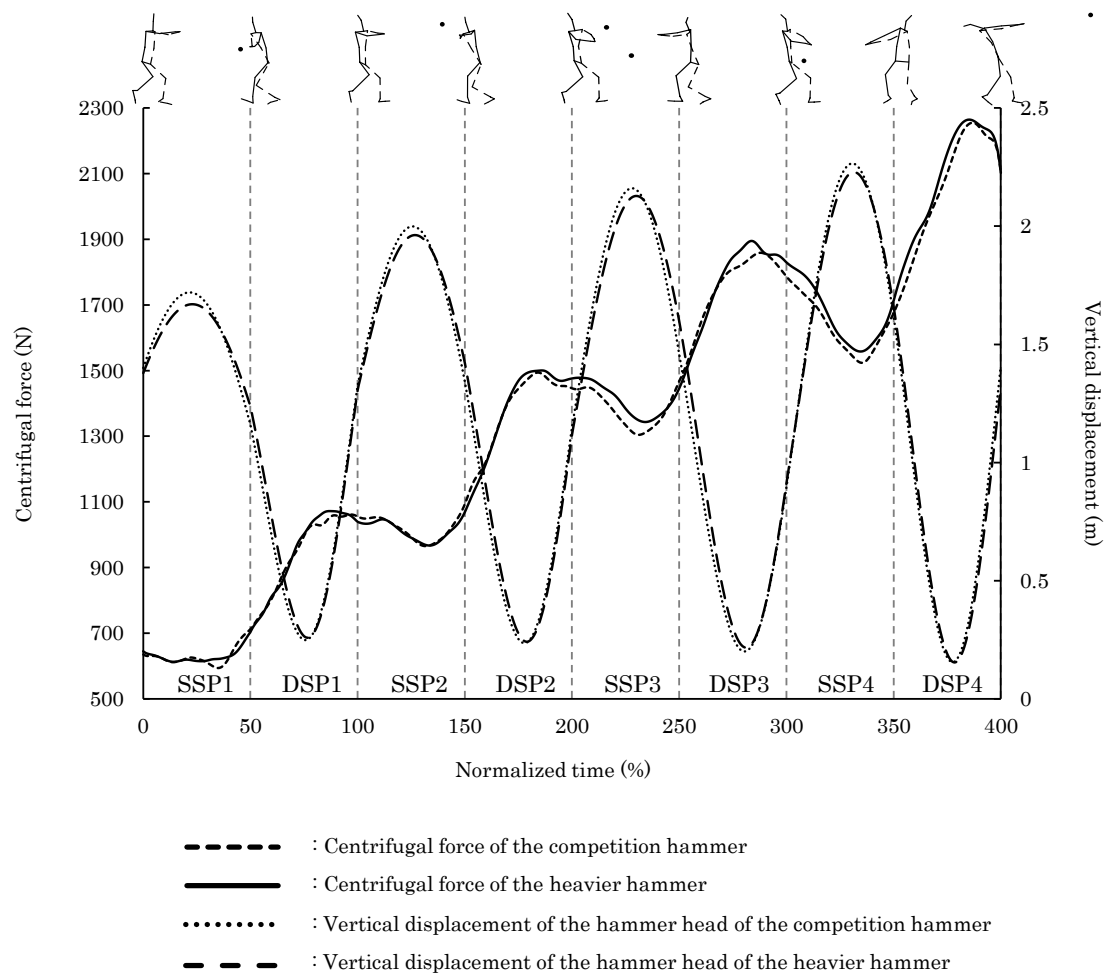


Fig. 4-4 Averaged patterns for sixteen subjects of the centrifugal force and vertical displacement of the hammer's head from R-1off through to release.

距離との間に有意な相関が認められたと報告している。また、成田（2007）は、記録の高い競技者ほど DSP における左外側広筋の活動量が大きい傾向を示したと述べており、これは遠心力に対抗するための下肢の支持動作によるものであると推察している。村木（1994）によると専門的トレーニングは、試合運動の中では十分発達させられない様な要素的、部分的運動課題の解決が重点的に取り組まれるとされている。高重量ハンマーによる投てきによって DSP3 および DSP4 における負荷の増大が確認されたことから、ハンマー投の動作において主に動員される体幹および下肢筋群の負荷が増大する可能性が考えられる。以上から、高重量ハンマーによる投てきは体幹の捻り戻し動作と平行して、牽引力の発揮が要求される DSP 局面において過負荷を与えることができるトレーニング方法であることが確認された。

Table 4-3 Maximum centrifugal force and increment of centrifugal force.

Subject	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Maximum centrifugal force of the competition hammer (N)	2070.0	2258.9	2171.8	2201.4	2488.8	2259.0	2274.9	2567.6	2062.4	2399.6	2096.2	2199.5	2346.1	2175.1	2422.1	2599.5
Maximum centrifugal force of the heavier hammer (N)	2127.3	2300.2	2110.6	2191.3	2494.9	2315.2	2308.9	2654.4	2097.3	2538.2	2105.1	2424.2	2421.5	2168.9	2489.5	2690.2
Increment of the centrifugal force (N)	57.2	41.3	-61.1	-10.1	6.1	56.2	34.0	86.8	34.9	138.6	8.9	224.7	75.4	-6.2	67.4	90.7

Increment of the centrifugal force = Maximum centrifugal force of the heavier hammer – Maximum centrifugal force of the competition hammer

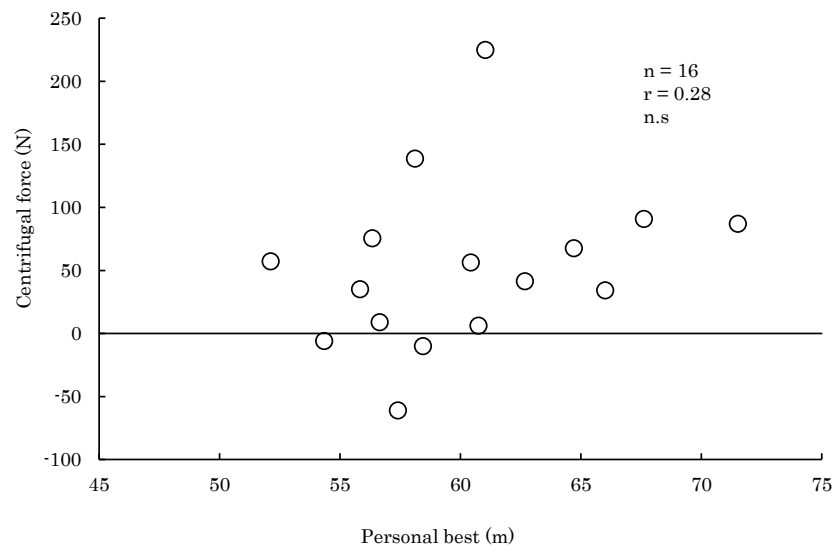


Fig. 4-5 The relationship between personal best and increment of centrifugal force.

(3) 自己ベスト記録と遠心力増加量との関係について

高重量ハンマー試技の遠心力最大値から正規重量ハンマー試技の遠心力最大値を減じることによって、遠心力増加量を算出した (Table4-3)。その結果、16 名中 13 名が正の値を示し、3 名が負の値を示した。レジスティッドトレーニングの主たる目的は、身体へ過負荷を与えることであることから、大半の競技者においてトレーニングの目的が達成されたことになる。レジスティッドトレーニングは技術レベルがある程度高くなった段階で行うべきであるという指摘 (室伏, 1994) を踏まえ、自己ベスト記録と遠心力増加量との関係を検討した (Fig. 4-5)。その結果、自己ベスト記録と遠心力増加量との間に有意な相関関係は認められなかった。このことから、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、適切なレジスティッドトレーニング方法として利用することが可能であると推察される。

5. 要 約

本研究の目的は、高重量ハンマーによる投てきの負荷特性を明らかにすることであった。ハンマー投を専門とする男子投てき競技者 16 名を対象に、正規重量ハンマー（7.26kg）と高重量ハンマー（8.0kg）を投てきした際のハンマーヘッドに作用する遠心力を算出した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 遠心力最大値は高重量ハンマー試技が DSP3 および DSP4 において正規重量ハンマー試技よりも有意に高値を示した。
- 2) ハンマーヘッドが HP から LP に移動する局面の遠心力において、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高値を示した。
- 3) 自己ベスト記録と遠心力増加量との間に有意な相関関係は認められなかった。

以上の結果から、競技レベルに関わらず、高重量ハンマーによる投てきはレジスティッドトレーニング本来の目的である過負荷をもたらすことが明らかとなった。また、負荷の増大はターン局面後半の DSP において引き起こされることが確認された。

V. 高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討

1. 目 的

レジスティッドトレーニングのキネマティクスの特性に関する研究において、尾縣・関岡（1985）は上り坂での疾走動作を検討した結果、上体の前傾が深くかつ接地中の膝の伸展が大きく、平地の疾走における加速局面の走動作に近いことから、上り坂走は加速疾走能力の改善に有効であることを報告している。また、Slawinski et al. (2008) は、上り坂走は接地期後半のプッシュオフ時間が増大することから、加速局面での推進力獲得を目的としたトレーニングとして有効であると述べている。

ハンマー投のレジスティッドトレーニングに関しては、第4章の結果から、高重量ハンマーによる投てきによって負荷の増大が引き起こされることが確認された。しかしながら、高重量ハンマーによる投てきにおける、速度・時間に関する時空間パラメータおよび身体動作に代表されるキネマティクスの特性に焦点を当てた研究は見当たらない。このような背景から、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分析することによって、技術練習的手段の側面からトレーニングへの示唆を得ることができると考えられる。よって、本研究で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することを目的とした。

2. 方 法

(1) 被験者

本研究における被験者に関しては、研究課題 1 と同様のハンマー投を専門とする男子投てき競技者 16 名を対象とした。

(2) 重量設定、実験試技およびデータ収集

高重量ハンマーの重量設定に関しては、研究課題 1 と同様に 8.0kg に設定した（正規重量ハンマーの重量：7.26kg）。全長は正規規格に統一し、重量のみを変化させたハンマーを使用した。被験者には両ハンマーによる投てきを試合形式で実施した。全ての被験者は正規重量ハンマー、高重量ハンマーの順で試技を行った。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ハンマーおよび高重量ハンマーによる投てきの各試技中において、最も記録の良かった試技を採用した。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（EX-F1, CASIO 社製）を用い、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（LED 型シンクロナイザ PTS-110, ディケイエイチ社製）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（Frame-DIAS IV, ディケイエイチ社製）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，左右の第 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：0.007m，Y 軸：0.007m，Z 軸：0.007m 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（5Hz-9Hz）を決定し，Butterworth digital filter を用いて平滑化した．

(3) 分析項目

1) ターンの局面分けに関して

ターンの局面分けに関しては，研究課題 1 と同様の手順で分析を実施した．

2) リリースパラメータの算出

ハンマーヘッド速度に関しては，研究課題 1 と同様に，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の座標データからリリースパラメータ（初速度・投射角・投射高）を算出した．

3) ハンマーヘッド方位角の算出

Fig. 5-1 (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 (Fig. 5-1 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) 体幹捻転角度の算出

Fig. 5-2 (a) に、体幹捻転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、原点から左右肋骨下端を結んだ線分の中点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、投影された二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) ドラッキングアングルの算出

Fig. 5-2 (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 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'_{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。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) 体幹前後傾角度の算出

Fig. 5-2 (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 $YltZlt$ 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) 体幹左右傾角度の算出

Fig. 5-2 (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) 左股関節角度の算出

Fig. 5-2 (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) 左膝関節角度の算出

Fig. 5-2 (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。

(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、2群（正規重量ハンマー試技・高重量ハンマー試技）×局面の2元配置分散分析を行い、交互作用が認められた場合は単純主効果検定を実施した。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。

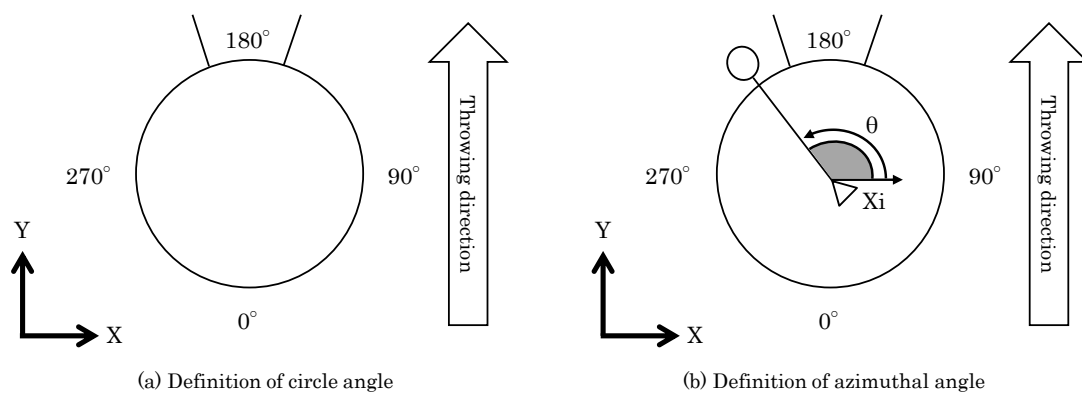


Fig. 5-1 Definition of circle angle and azimuthal angle.

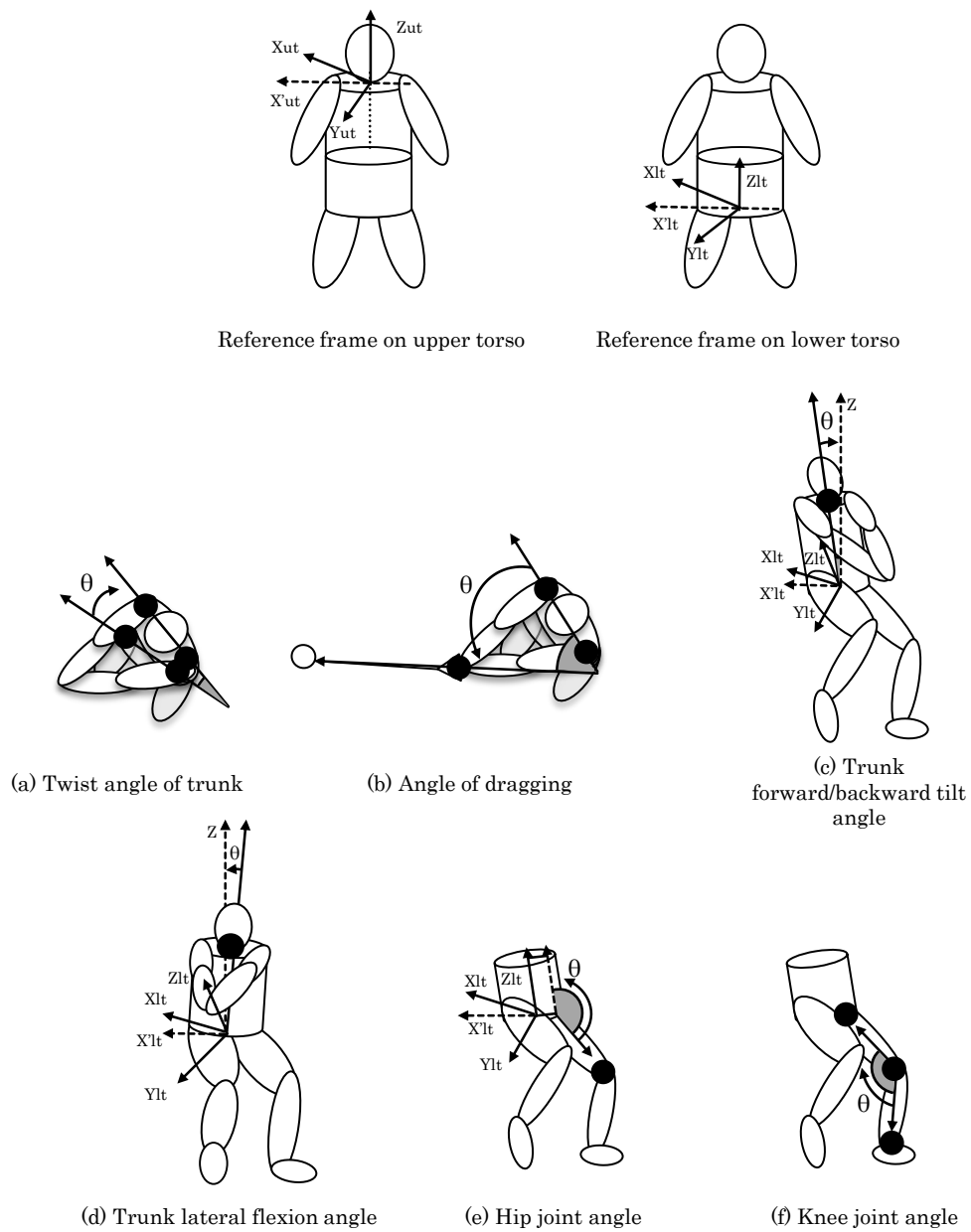


Fig. 5-2 Reference frame on upper/lower torso and angle definitions.

3. 結 果

Table 5-1 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。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。

Table 5-2 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。

Fig. 5-3 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 (Fig. 5-3)。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」と略す), 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 (Fig. 5-4). 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 Fig. 5-5 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.

Table 5-3 にターン局面におけるドラッキングアングル, 体幹前後傾角度, 体幹左右傾角度, 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, 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. 体幹前後傾角度に関して, 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. 体幹左右傾角度に関して, 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。Table 5-4 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マー試技が有意に高値を示した。

Fig. 5-6 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。

Table5-1 Release parameters and throwing record.

	Competition hammer	Heavier hammer
Release velocity (m/s)	23.64 ± 0.87	22.64 ± 0.94***
Release height (m)	1.40 ± 0.21	1.32 ± 0.19
Release angle (deg.)	38.40 ± 2.03	37.40 ± 2.14*
Throwing record (m)	53.80 ± 3.69	49.56 ± 4.01***

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

Table 5–2 Duration time and time ratio of turn.

	Competition hammer	Heavier hammer
Duration time of SSP : sum (sec)	1.17 ± 0.10	1.18 ± 0.09
Duration time of SSP : 1st (sec)	0.33 ± 0.03	0.32 ± 0.02
Duration time of SSP : 2nd (sec)	0.30 ± 0.03	0.31 ± 0.03
Duration time of SSP : 3rd (sec)	0.28 ± 0.03	0.27 ± 0.03
Duration time of SSP : 4th (sec)	0.27 ± 0.03	0.27 ± 0.03
Duration time of DSP : sum (sec)	1.33 ± 0.12	$1.40 \pm 0.13^{***}$
Duration time of DSP : 1st (sec)	0.44 ± 0.05	$0.47 \pm 0.05^{**}$
Duration time of DSP : 2nd (sec)	0.33 ± 0.03	0.35 ± 0.04
Duration time of DSP : 3rd (sec)	0.26 ± 0.04	$0.29 \pm 0.03^{***}$
Duration time of DSP : 4th (sec)	0.29 ± 0.03	0.29 ± 0.04
Duration time of turn : sum (sec)	2.50 ± 0.13	$2.57 \pm 0.14^{**}$
Duration time of turn : 1st (sec)	0.77 ± 0.07	$0.79 \pm 0.06^*$
Duration time of turn : 2nd (sec)	0.63 ± 0.03	$0.65 \pm 0.05^*$
Duration time of turn : 3rd (sec)	0.54 ± 0.03	$0.56 \pm 0.03^{**}$
Duration time of turn : 4th (sec)	0.56 ± 0.03	0.56 ± 0.04
Ratio of SSP time : sum (%)	46.85 ± 3.33	$45.74 \pm 3.25^*$
Ratio of SSP time : 1st (%)	42.51 ± 3.30	$41.03 \pm 2.81^*$
Ratio of SSP time : 2nd (%)	47.44 ± 3.84	47.12 ± 4.33
Ratio of SSP time : 3rd (%)	51.30 ± 5.64	$48.71 \pm 4.40^{**}$
Ratio of SSP time : 4th (%)	47.88 ± 4.51	47.96 ± 4.81
Ratio of DSP time : sum (%)	53.15 ± 3.33	$54.26 \pm 3.25^*$
Ratio of DSP time : 1st (%)	57.49 ± 3.30	$58.97 \pm 2.81^*$
Ratio of DSP time : 2nd (%)	52.56 ± 3.84	52.88 ± 4.33
Ratio of DSP time : 3rd (%)	48.70 ± 5.64	$51.29 \pm 4.40^{**}$
Ratio of DSP time : 4th (%)	52.12 ± 4.51	52.04 ± 4.81

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

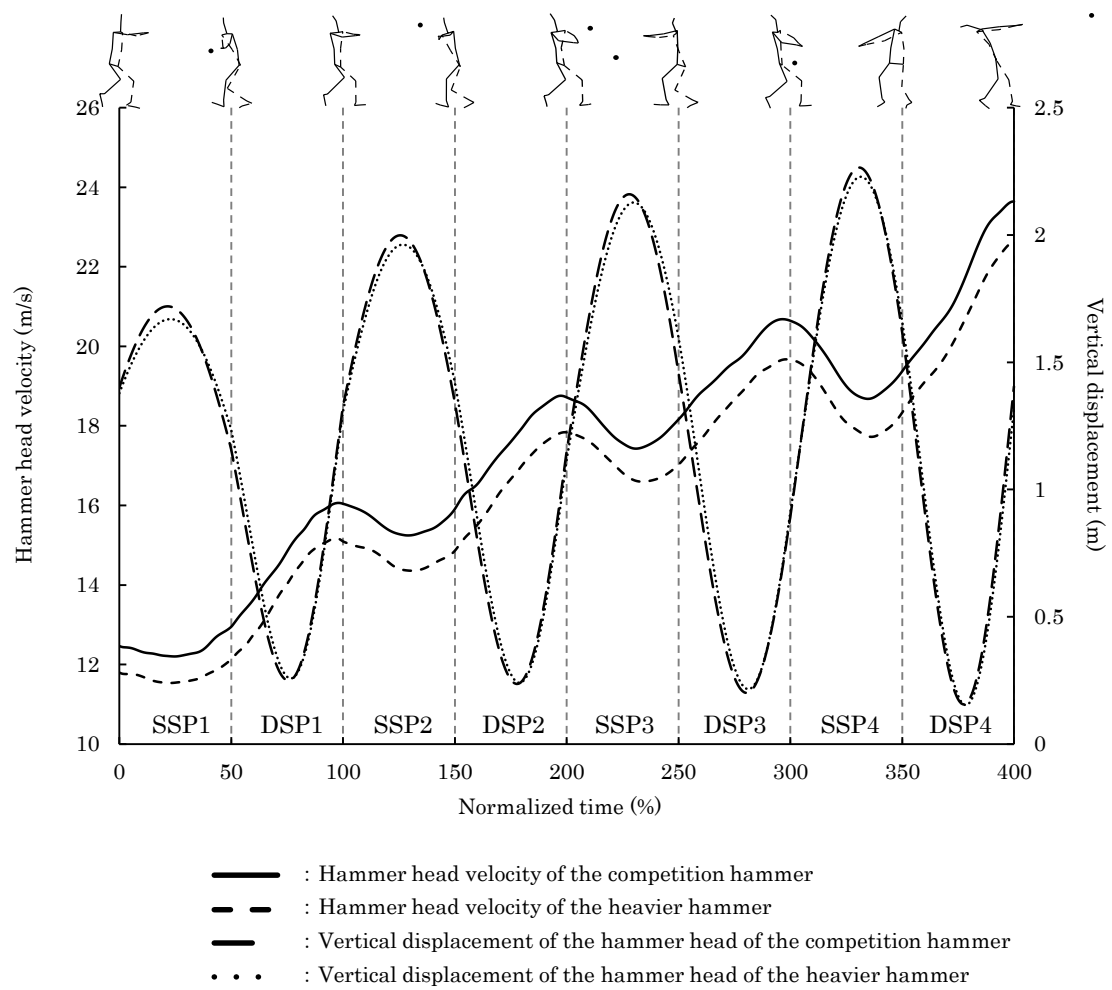


Fig. 5-3 Hammer head velocity and vertical displacement of the hammer head from R-1off through to release.

4. 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 (Table 5-1)．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．

Fig. 5-3 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最大値は主に LP 付近，ハンマーヘッド速度の最小値は HP 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 (Table 5-2)。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 (Fig. 5-5)。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

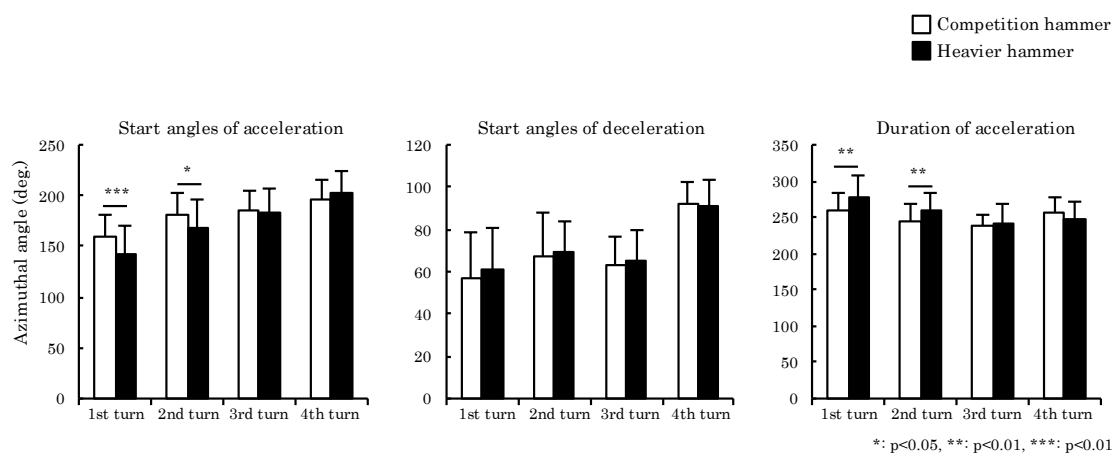


Fig. 5-4 Start angles of acceleration, deceleration and duration of acceleration.

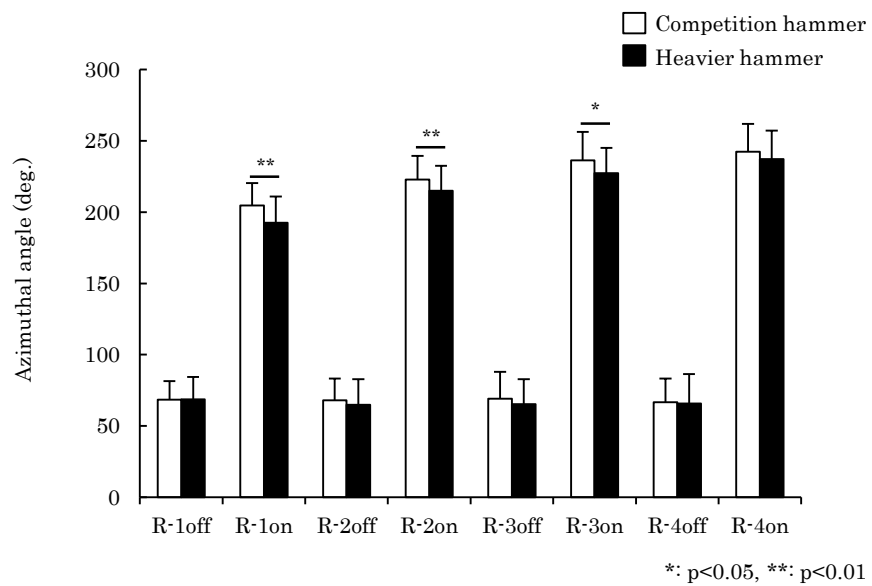


Fig. 5-5 Azimuthal angles of hammer head in each event.

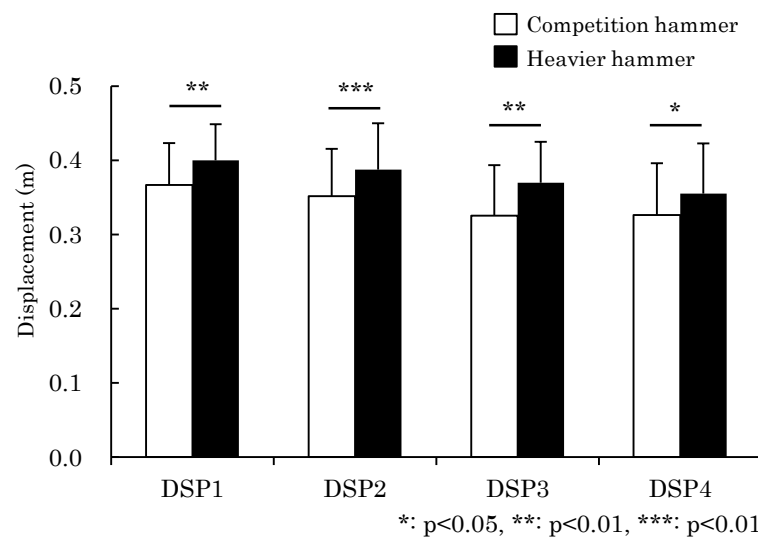


Fig. 5-6 Displacement of the Y coordinate of CG during DSP.

せる為の技術であると報告されている (Bondarchuk, 1981 ; 室伏, 1994). ターン局面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 時点のドラッキ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 (Table 5-3), 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 時点のドラッキ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ている. したがって, 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と理解できる.

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 (Fig. 5-4). 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 (Fig. 5-3). 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が、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ヘッドの動態について

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 (Fig. 5-6)。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。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 はターン局面中、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 LP 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、体幹前後傾角度 (Table 5-3) 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。体幹左右傾角度 (Table 5-3) 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

Table 5–3 Joint motions in each event.

		R-1off	R-1on	R-2off	R-2on	R-3off	R-3on	R-4off	R-4on	Release
Angle of dragging (deg.)	Competition	63.4±5.8	62.5±5.6	65.1±5.7	63.5±5.9	66.9±4.1	65.6±6.4	67.6±4.9	66.5±5.6	71.5±7.0
	Heavier	66.0±7.1	62.7±6.2	63.7±4.9	64.5±5.1	67.1±4.1	67.4±3.8	65.9±3.8	64.9±7.1	71.4±8.7
Trunk forward/backward tilt angle (deg.)	Competition	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
	Heavier	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
Trunk lateral flexion angle (deg.)	Competition	-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
	Heavier	-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*
Hip joint angle (deg.)	Competition	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
	Heavier	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
Knee joint angle (deg.)	Competition	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
	Heavier	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

Table 5-4 Wind angle and unwind angle of the trunk in the turns.

	Wind angle of the trunk (deg.)			Unwind angle of the trunk (deg.)	
	Competition	Heavier		Competition	Heavier
R-1off	-10.5 ± 5.4	-5.8 ± 6.5*			
R-1on	53.5 ± 13.5	53.3 ± 11.1			
R-2off	3.6 ± 11.0	2.80 ± 9.8	DSP1	49.9 ± 18.1	50.5 ± 13.0
R-2on	48.8 ± 10.3	48.6 ± 12.4			
R-3off	12.4 ± 7.4	11.71 ± 11.0	DSP2	36.4 ± 11.6	36.8 ± 12.5
R-3on	43.5 ± 11.2	49.0 ± 6.7**			
R-4off	6.8 ± 8.7	7.07 ± 9.4	DSP3	36.7 ± 7.7	41.9 ± 8.8*
R-4on	40.8 ± 13.3	39.9 ± 10.5			
Release	-32.6 ± 9.3	-27.6 ± 7.2*	DSP4	73.5 ± 7.0	67.5 ± 12.1

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

示された。左膝関節角度 (Table 5-3) 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 (Table 5-3) 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、身体重心の投てき方向への移動距離の増大は、上体を後傾させる動作ではなく、股関節や膝関節の屈曲動作によって引き起こされる椅子に腰掛けるような動作、および上体を左傾させる動作によるものであったと推察される。

Table 5-4 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と報告している。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 (室伏, 1994; 尾縣, 1990; 藤井ほか, 2010)。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. 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することであった。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（7.26kg）試技と高重量ハンマー（8.0kg）試技の比較を行った。得られた結果は以下の通りである。

1) 高重量ハンマー試技は、ハンマーヘッド速度および投てき距離の低下を引き起こすことが確認された。

2) 高重量ハンマー試技は、4 ターン合計時間のターン所要時間の増大が認められた。

また、ハンマーヘッドの積極的加速区域である DSP の所要時間および所要時間比の増大を引き起こし、ハンマーヘッド加速区間の増大が確認された。

3) 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。また、下肢関節の屈曲動作が強調されることが明らかとなった。

以上の結果から、高重量ハンマーによる投てきは、ハンマーヘッド速度の低下による投てき距離の減少を引き起こすものの、DSP において椅子に腰掛けるような動作を遂行していたことが明らかとなった。

VI. 高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討

1. 目 的

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関して、スプリント走においては、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、野球における投球運動に関しては、加重球によるトレーニングを行った群において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、レジスティッドトレーニングの継続的な実施によって、当該種目のパフォーマンス向上に有効であることが認められている.

ハンマー投のレジスティッドトレーニングに関しては、第4章および第5章によって、高重量ハンマーによる投てきの特性が明らかとなったが、高重量ハンマーによるトレーニングの累積効果を検討した研究は実施されていない. このような背景から、スプリント走、野球における投球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トレーニング効果を明らかにすることができれば、トレーニング実践への有用な知見を得ることができると考えられる. よって、本研究では高重量ハンマーによるトレーニングの累積効果を明らかにすることを目的とした.

2. 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（以下：「CT 群」と略す）に 8 名ずつに分類した（Table 6-1）。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。

(2) 重量設定、実験試技およびデータ収集

本研究における高重量ハンマーの重量は 8.0kg に設定した。測定は 2 回実施し、トレーニング前（以下：「Pre」と略す）およびトレーニング後（以下：「Post」と略す）の両測定において、正規重量ハンマー、高重量ハンマーの順で投てきを行った。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（EX-F1, CASIO 社製）を用い、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（LED 型シンクロナイザ PTS-110, ディケイエイチ社製）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（Frame-DIAS

IV, ディケイエイチ社製)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, 左右の第 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 : 0.007m, Y 軸 : 0.007m, Z 軸 : 0.007m 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 (5Hz-9Hz) を決定し, Butterworth digital filter を用いて平滑化した.

(3) 分析項目

1) ターンの局面分けに関して

ターンの局面分けに関しては, 研究課題 1, 2 と同様の手順で分析を実施した.

2) リリースパラメータの算出

リリースパラメータに関しては, 研究課題 2 と同様の手法によって算出した.

3) 遠心力の算出

遠心力に関しては, 研究課題 1 と同様の手法によって算出した.

4) ハンマーヘッド方位角，体幹捻転角度，ドラッキングアングル，体幹前後傾角度，体幹左右傾角度，左股関節角度および左膝関節角度の算出

以上の 7 つの角度については研究課題 2 と同様の手法によって算出した

(4) トレーニング

本研究では専門的準備期にあたる 7 月中旬から 8 月中旬のメゾ周期レベル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，Harnes (1988) は円盤投のレジスティッドトレーニングに関して，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%であったことを報告している。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。

(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 2 群 (TR 群・CT 群) × Pre・Post, 群内において時系列が存在する項目においては, 2 群 (Pre・Post) × 局面の 2 元配置分散分析を行い, 交互作用が認められた場合は単純主効果検定を実施した．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, 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．

Table 6–1 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 (yrs)	22.13 ± 3.30	22.38 ± 2.23	n.s
Career (yrs)	6.88 ± 3.14	7.00 ± 2.45	n.s

n.s: non significant

3. 結 果

Table 6-1 は Pre および Post における投てき距離, R-1off 時点におけるハンマーヘッド速度 (以下:「スタート速度」と略す), リリースパラメータおよびターン所要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. 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. 投射高において, Pre-Post 間を比較した結果, CT 群に有意差が認められた. 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. ターン所要時間において, Pre において CT 群が TR 群よりも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.

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. 6-1). 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.

Fig. 6-2 に Pre-Post 間の各ターン局面のハンマーヘッド加速区間を示した. TR 群および CT 群において, いずれの項目間においても有意差は認められなかった.

Fig. 6-3 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 6-3, 6-4 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 CT 群において差は認められなかった. 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 において屈曲位を示した. ドラッグングアングルに関して, TR 群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. 体幹捻転角度に関して (Table 6-3), TR 群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 が有意に低値を示した.

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 (Fig. 6-4).

TR 群の DSP における身体重心 Y 成分移動距離の Pre-Post 間を比較した結果, 項目間に有意差は認められなかった (Fig. 6-5)

Table 6–2 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)

4. 考 察

(1) 高重量ハンマーを使用したトレーニングの累積効果について

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一投パフォーマンス向上に有効であることが示された（Table 6-2）．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）．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．一方，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ると言える．

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ハンマーヘッド速度増加量が増大した（Fig. 6-1）．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ハンマーヘッド速度増加量の増大によるものであることがわかる．また，TR 群における Pre-Post 間の各ターン局面のハンマーヘッド加速区間の比較を行った結果，いずれの項目間においても有意差は認められなかった（Fig. 6-2）．このことから，高重量ハンマーによるトレーニングはハンマーヘッド加速区間を増大させるトレーニング方法ではな

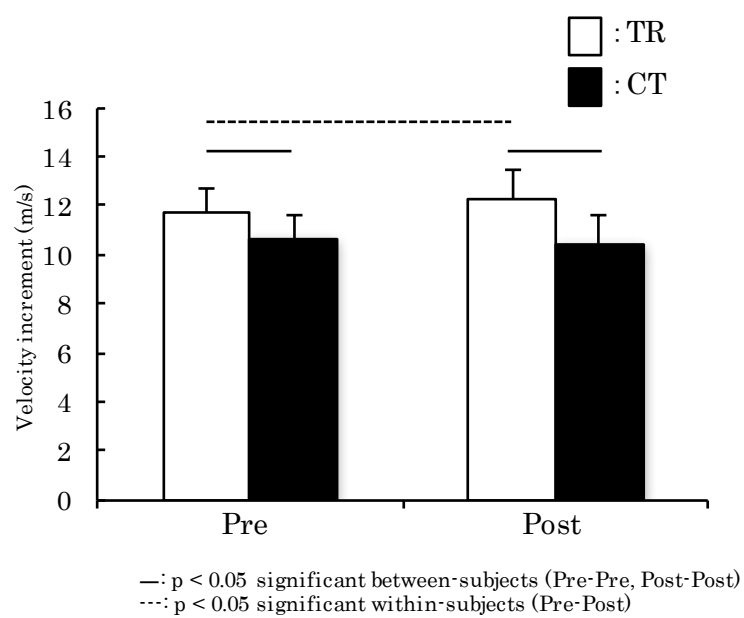


Fig. 6-1 Comparison of the velocity increment.

いことが示された。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ハンマーヘッド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ことが考えられる。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増大したことから、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方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ヘッドの動態について

Fig. 6-3 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。このことから、競技者は DSP においてより高い求心力を発揮していたと考えられる。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)。よって、競技者は高重量ハンマーによるトレーニングによって、ハンマーヘッドを加速させる局面において、より高い負荷に耐えることが可能になったと考えられる。Post においてより高い負荷に耐えることが可能になった背景を検討するために、Pre-Post 間における TR 群の身体動作を各関節運動の比較を行った。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 6-3)。エッカー (1999) はターン局面において遠心力に対抗するためには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。その

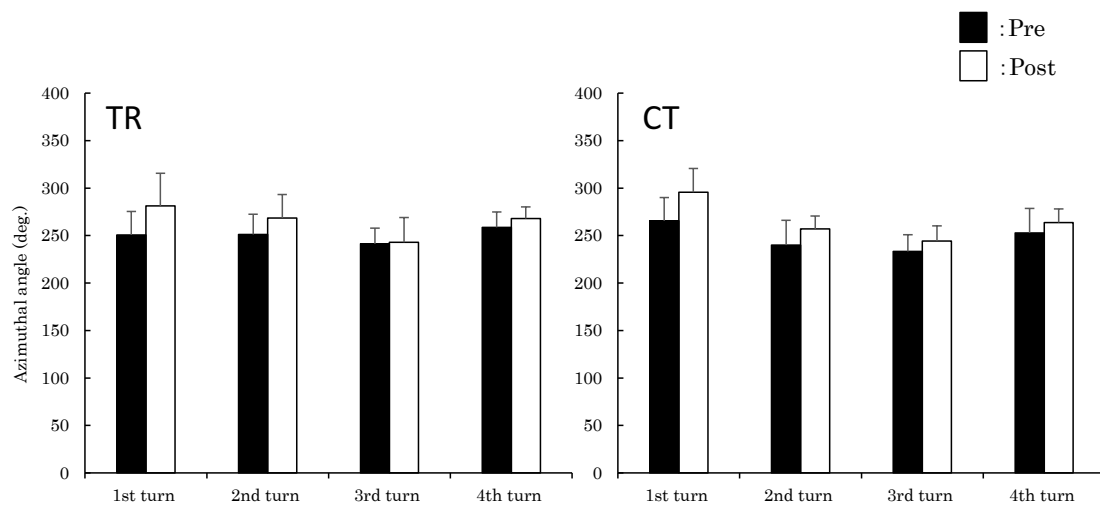


Fig. 6-2 Comparison of the duration of acceleration in each turn.

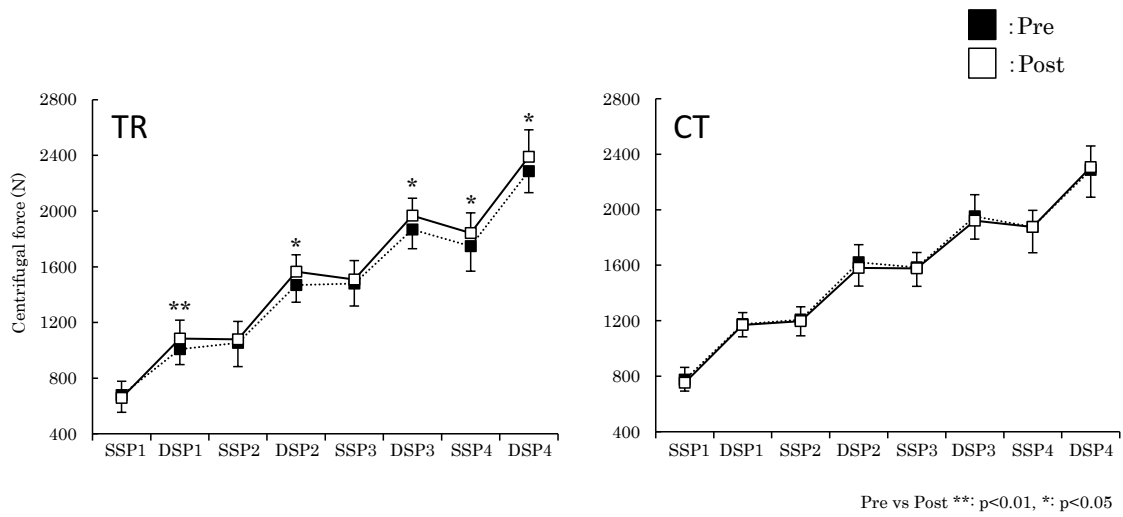


Fig. 6-3 Comparison of maximum centrifugal force in each group.

Table 6-3 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	66.9±5.1	59.8±5.6	66.7±5.7	63.9±6.3	67.2±4.6	62.7±5.2	66.6±6.1	64.4±4.5	72.5±8.5
	Post	64.6±4.2	61.5±4.9	67.6±5.1	63.0±5.0	68.0±5.0	64.3±4.6	69.4±5.2	65.7±3.5	72.0±2.7
Trunk forward/backward tilt angle (deg.)	Pre	11.9±4.6	16.5±4.7	5.3±3.7	15.4±2.9	-5.1±2.6	9.6±3.0	-10.8±5.5	5.1±4.5	-23.7±3.2
	Post	16.0±4.6*	14.3±2.3	8.5±2.8#	13.3±3.3#	-3.0±3.4#	8.2±2.1	-7.9±4.3	7.0±3.1	-23.6±3.1
Trunk lateral flexion angle (deg.)	Pre	-5.6±2.0	6.9±5.4	-2.0±4.4	2.8±4.9	-1.1±3.1	-5.3±3.8	0.8±2.1	-6.8±3.9	-2.0±3.9
	Post	-4.2±3.3	6.8±5.4	-2.2±3.0	-1.0±3.6	-2.7±3.0	-7.8±4.0	-1.4±4.2	-7.6±3.3	0.8±6.6
Hip joint angle (deg.)	Pre	117.1±7.4	134.8±11.2	123.2±8.8	139.4±7.6	133.6±5.2	143.9±7.2	146.7±6.9	145.1±6.1	169.7±4.5
	Post	112.3±4.2#	136.4±8.1	118.6±6.0#	139.5±5.2	130.6±5.5#	144.0±5.0	139.7±6.0*	140.5±5.6#	168.3±4.2
Knee joint angle (deg.)	Pre	134.2±13.1	100.4±9.5	142.3±12.9	102.3±9.5	135.2±9.3	95.6±6.5	140.6±9.6	90.8±8.5	153.6±7.8
	Post	132.8±14.4	99.4±9.1	138.9±11.4	98.2±8.1**	133.9±9.2	90.0±8.7*	131.0±7.7**	88.5±8.8	152.9±10.7
Twist angle of trunk (deg.)	Pre	-10.8±5.2	49.6±13.0	3.7±11.0	51.8±7.8	13.0±7.8	42.9±11.5	5.7±10.9	39.7±13.7	-30.6±9.5
	Post	-3.6±10.3	55.1±9.7	8.0±9.3	51.2±10.9	11.9±9.8	49.3±12.0	11.0±7.8	44.3±6.9	-31.0±9.0

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

Table 6-4 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	59.8±4.2	65.3±4.0	63.4±5.2	63.0±5.4	66.5±3.6	68.6±6.1	68.6±2.8	68.6±5.9	70.6±4.8
	Post	61.3±5.0	58.0±4.4*	66.0±6.9	60.4±3.4	68.6±5.4	64.2±3.9#	68.9±4.4	63.8±3.4#	72.3±8.2
Trunk forward/backward tilt angle (deg.)	Pre	14.0±4.4	15.6±3.6	2.4±7.5	13.5±3.6	-7.9±6.3	8.2±3.4	-12.6±5.7	4.7±5.2	-19.5±3.8
	Post	14.8±5.1	18.0±3.5	3.1±5.8	13.7±3.4	-6.7±6.4	7.8±4.1	-11.8±5.1	3.1±5.1	-21.2±4.1
Trunk lateral flexion angle (deg.)	Pre	-6.9±2.4	9.7±5.2	-3.9±3.3	-0.6±5.9	-3.8±2.9	-7.4±2.5	0.9±3.4	-10.0±4.6	2.6±6.8
	Post	-8.4±1.8	8.0±5.6	-4.0±2.8	-2.5±3.7	-1.4±2.7	-9.1±2.6	0.8±4.1	-11.9±4.8	2.8±8.8
Hip joint angle (deg.)	Pre	113.5±9.0	137.3±11.5	126.6±10.3	140.6±10.2	138.5±7.1	144.3±9.3	149.6±5.7	144.8±10.6	172.5±4.2
	Post	109.3±12.0	130.0±9.1	123.0±11.5	137.4±10.7	136.2±8.6	145.6±10.8	145.9±4.1	147.1±10.8	172.9±6.2
Knee joint angle (deg.)	Pre	136.8±9.3	95.6±10.9	142.6±6.7	95.7±5.1	139.9±8.2	90.7±5.7	141.4±7.2	86.5±5.2	158.7±5.4
	Post	130.7±9.3	93.6±11.6	137.2±11.3	92.1±5.0	137.5±7.9	89.9±7.2	135.6±7.9	87.7±5.2	153.9±8.9
Twist angle of trunk (deg.)	Pre	-10.3±5.6	57.3±12.8	3.4±11.0	45.8±11.5	11.8±6.9	44.2±10.8	7.9±5.4	41.9±12.5	-34.6±8.7
	Post	-10.7±6.1	42.3±5.5*	5.3±5.7	42.7±10.8	9.0±5.6	43.5±9.9	8.8±7.2	34.4±9.1	-33.5±12.8

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

ため、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量が増大したと考えられる。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 6-3)。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の減少させることは、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、ハンマーヘッド速度は回転半径と角速度で決定することから、体幹の極端な後傾は回転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、大きな回転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。研究課題 2 からターン局面における動作について高重量ハンマーによる投てきは椅子に腰掛けるような動作が強調され、ドラッキングアングルには影響を及ぼさないことが明らかとなっている。以上から、高重量ハンマーによるトレーニングによって、上肢の動作には影響を及ぼさず、下肢関節の動作が定着したと考えられる。

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 6-3, Fig. 6-4)。Isele and Nixdorf (2010) は R-on 時点の体幹の捻

りの程度は競技者によって異なる傾向を示したが、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と報告している。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（藤井ほか，2010；室伏，1994；尾縣，1990）。本研究結果から、TR 群は Post において、より大きな負荷が掛かった局面においても、通常と同様の体幹の捻転動作および捻り戻し動作を遂行していたことが示された。

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量を増大させるトレーニング方法として利用可能であると考えられる。

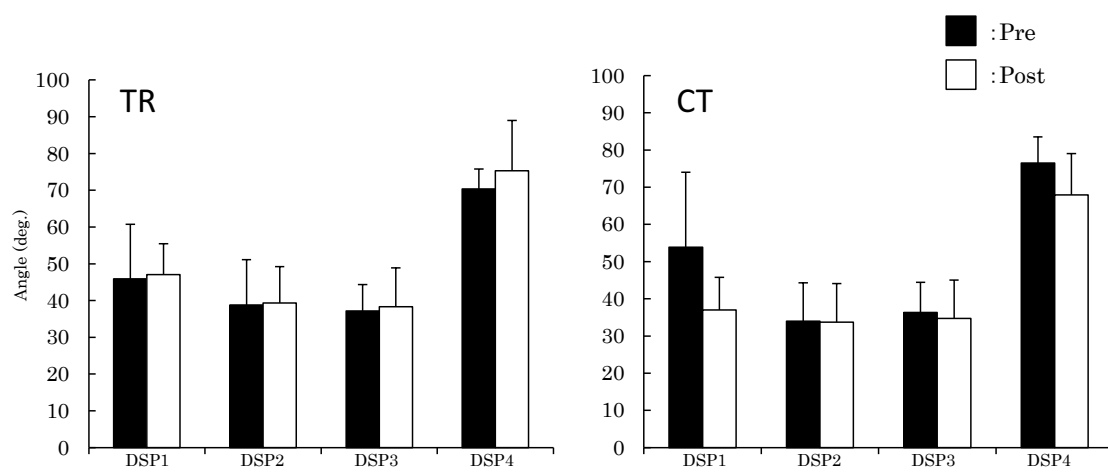


Fig. 6-4 Comparison of unwind angle in each group.

5. 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の累積効果を検討することであった。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、TR 群および CT 群に 8 名ずつに分類した。TR 群は高重量ハンマー（8.0kg）によるトレーニングを 4 週間行った。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。得られた結果は、以下の通りである。

- 1) TR 群において投てき距離の向上が認められた。また、TR 群において、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。
- 2) TR 群のターン局面中の遠心力最大値を比較した結果、すべての DSP において Post が高値を示した。
- 3) 身体動作に着目した結果、TR 群は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。

以上の結果から、高重量ハンマーによるトレーニングはハンマー投のパフォーマンスを改善させることが明らかとなった。また、トレーニングによって椅子に腰掛けるような動作を伴ったターン技術が定着することが確認されたことから、技術トレーニング的手段としての知見が示された。

VII. 総合考察

レジスティッドトレーニングは、試合運動に近縁的な運動に対して、外的負荷を増大させる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専門的なパワーや筋力を強化することを主たる目的として実施されている (Escamilla et al., 2000 ; マトヴェイエフ, 1985 ; 村木, 1994). トレーニング現場において専門的なトレーニングが実施されるようになった経緯に関して、村木 (1998) が歴史的な視点から以下のように述べている. 「1960 年代は (ウエイトリフティング種目の : 引用者注) 挙上重量を挙げられるところまで挙げていこうという発想だったが、ハンマー界のみならず、スポーツ全体にそういう風潮があった」. 「しかし、70 年代で頭打ちとなり、挙上重量が強い選手が強いわけではないと現場で認識され始めたのがその時期だった. ウエイトリフティングをやっても伸びないじゃないかと」. このような背景から挙上重量絶対主義であったスポーツ界に専門的トレーニングの重要性が認識され広まったとされている. さらに村木 (1989) は、競技者の一般的なトレーニング水準が高度化された結果、競技達成に寄与する一般的体力の重要性は、前提条件的な最低必要基準 (ミニмумリクワイアメント) の見極めに限られてきていると述べている. 実際、村木 (2005) はハンマー投の世界記録は 70 年代から 80 年代にかけて大きな伸びを示したが、トレーニングで行うウエイトリフティング種目の成績については低下していたことを報告している. その理由として、一般的体力トレーニングの見直しを図ったことによる、投げに直結する専門的トレーニングの普及によるものであると述べている. Judge et al. (2013)

によると、砲丸投競技者の競技パフォーマンスとウエイトトレーニング種目との間には有意な正の相関関係が認められた一方で、競技パフォーマンスとクリーンの挙上重量との二次回帰曲線を求めた結果、競技パフォーマンスがある一定水準を超えると曲線の傾きが水平に近くなることを報告している。これは村木（1989）が主張するミニマムリクワイアメントが存在することを示唆する知見であると推察される。

ハンマー投におけるレジスティッドトレーニングの実践について、ハンマー投の指導書（Bingisser, 2010 ; Bondarchuk, 1981 ; Hinz, 1991 ; 川田, 2013 ; 室伏, 1994 ; Petrov, 1980）においては、専門的体力養成法として高重量ハンマーを使用する方法が挙げられており、負荷が増大することによって、ハンマー投に直結した体力を高めることを目的として実施されることが紹介されている。しかし、上述の指導書等で見受けられる大半の報告が経験則に基づいて論じられているのが現状であった。また、ハンマー投のレジスティッドトレーニングに関する研究に関して、負荷特性を検討した報告においては、わずかに Bartonietz（1994）が最大張力についてのみ言及しているが、計測条件が不明瞭であり、ターン局面中の詳細な分析は行っていないことから、実践的な示唆を得るまでには至っていなかった。また、高重量ハンマーによる投てきにおける、速度・時間に関する時空間パラメータおよび身体動作に代表されるキネマティクスの特性に焦点を当てた研究、並びに高重量ハンマーによるトレーニングを長期的に実施し、累積効果を検討した研究は確認されなかった。そのため、高重量ハンマーによるトレーニングを主題とした研究を実施し、そこで明らかとなった知見を提示することで、トレーニング現場への実践的な示唆を得ることができると考えられた。

このような背景を基に本研究では、ハンマー投における専門的トレーニング手段であるレジスティッドトレーニングに関して、「高重量ハンマーによる投てきの負荷特性の検討」、「高重量ハンマーによる投てきのキネマティクスの特性の検討」および「高重量ハンマーによるトレーニングの有効性の検討」、以上 3 つの研究課題を設定し検討を行った。本章ではそれぞれの研究課題で明らかになった知見を基にして、トレーニング現場での実践方法を考察していく。

1. 高重量ハンマーを使用したトレーニングの実践方法について

研究課題 1 において、遠心力を算出した結果、両試技において DSP4 の遠心力最大値はターン局面における遠心力最大値を示した (Fig. 4-2)。この結果は先行研究 (遠藤ほか, 2009b ; Murofushi et al., 2007) を支持するものであった。このことから、重量に関わらず、ハンマー投競技者は 4 回転を通して、徐々にハンマーヘッドの遠心力を高めながらターンを行い、最終局面である DSP4 において遠心力が最も大きくなることが明らかとなった。高重量ハンマー試技におけるターン局面毎の遠心力最大値を比較した結果, DSP3 および DSP4 において正規重量ハンマー試技よりも有意に高値を示すことが明らかとなった (Fig. 4-2)。また、遠心力の増大はハンマーヘッドが HP から LP に移動する局面であることが確認された (Fig. 4-5)。ハンマーヘッドが HP から LP に移動する局面は体幹の捻り戻し動作と平行して、牽引力の発揮が要求されることから、これらの動作に対して特異的に負荷をかけることが可能なトレーニング方法であることが示された。

研究課題 2 において、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とされてい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 (Table 5-1) . また、4 ターン合計のターン所要時間が増大することも明らかとなった (Table 5-2) . 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競技者の速度・時間的要因に影響を及ぼすと言える. 動作に着目した結果、高重量ハンマー投てき時に下肢関節の屈曲動作が確認され (Table 5-3), DSP における身体重心 Y 成分 (投てき方向側) の移動距離が増大することが示されている (Fig. 5-6) . この動作は研究課題 1 で明らかとなった DSP で高まった遠心力に対抗するために遂行された技術であると推察される. 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 LP 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. 研究課題 1 では DSP における遠心力の向上が見られたことから、競技者はそれに対抗する求心力を発揮していたと考えられる. グロッサー・ノイマイヤー (1995) は、通常よりも重い用具を使って運動を行わせることによって、運動知覚の基礎となっているフィードバック情報を強化することができる」と述べている. 実際、高重量ハンマー投てき後に被験者 P から「いつもより両足で踏ん張る感じがある」という内省を得ることができた. この内省からも DSP において、ハンマー遠心力に対抗する動作獲得およびフィードバック情報の強化が促されたと推察される.

研究課題 3 において、Pre-Post 間の比較を行った結果、Post において 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

グはハンマー投パフォーマンス改善に有効であることが示された (Table 6-2). 各局面の遠心力最大値を比較した結果, TR 群のすべての DSP において Post が有意に高値を示した (Fig. 6-3). また, 下肢関節の屈曲動作が定着し, 椅子に腰掛けるような動作が強調されていたことも示唆されている (Table 6-3). 村木 (1994) によると, 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. また, 森本 (2004a) は試合期が長期間にわたる場合には, 途中に挟まれる中間段階において, いわば「刺激剤」として専門的トレーニングを挿入する利用方法もあると述べている. 研究課題 3 の結果から, 4 週間の高重量ハンマーによるトレーニングはトレーニングの時期的な位置付けを考慮したメゾ周期レベルでのトレーニングの目的を満足させるものであったと推察される. 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). 研究課題 3 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, 技術トレーニング的手段としての知見を得ることができたと考えられる.

2. 競技レベルに着目した高重量ハンマーによるトレーニングの実践方法について

研究課題 1 において, 自己ベスト記録と遠心力増加量との関係を検討した (Fig. 4-4).

その結果、自己ベスト記録と遠心力増加量との間に有意な相関関係は認められなかった。このように、本研究で対象としたレベルの競技者（学生レベルから日本トップレベル：52.11-71.51m）であれば、高重量ハンマーによる投てきは、競技力に関わらず負荷を増大させるトレーニング方法として利用可能であると考えられる。また、研究課題 3 においては、メゾ周期レベルでのトレーニングを行った結果、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方法であったと考えられる。しかしながら、初心者や経験の少ない競技者が高重量ハンマーのトレーニング利用を図る場合、回転中に生じる負荷に耐えることができず、投てき技術に悪影響を及ぼす可能性も考えられる。実際、室伏（1994）は、重量を増大したハンマーによるトレーニングは技術レベルがある程度高くなった段階で行うべきであると指摘している。しかしながら、ハンマー投は遠心力に耐え、投てきを行う競技であることから、高まった負荷へ対応することは極めて重要であると考えられる。高重量ハンマーによる投てきによって、ターン局面後半において負荷の増大が確認された。そのため、フルターン（本研究の被験者においては 4 回転）による投てきではなくとも、ターンの回転数を少なくすることにより、回転の最終局面からリリース局面にかけて増大した負荷への適応を促すトレーニングとして有効であると推察される。よって、高重量ハンマーをトレーニングで使用する際は、競技者のレベルや目的に応じた練習方法を選択することで、効果的なレジスティッドトレーニングとして活用できると考える。

3. 高重量ハンマーによるトレーニング実践に対する指導の留意点

研究課題 2 において、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、ターン所要時間の増大を引き起こすことが示された。トレーニング現場においては、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、ターン所要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，2016a）。しかしながら、研究課題 3 において、高重量ハンマーによるトレーニングによってターン所要時間が有意に短縮することが明らかとなった（Table 6-2）。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方法であると言える。本研究では、高重量ハンマーによるトレーニングを週 3 回、4 週間の計 12 回実施した。また、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。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方法であると言える。

研究課題 2 において、高重量ハンマーを投てきすることによってターン動作の変容が確認された。実験の手順としては、即時効果をねらいとするものではなく、技術的な指示を与えない条件での試技であったことから、高重量ハンマーによる投てきはターン動

作の強制的な変容を引き起こすトレーニング方法であると推察される。ハンマー投はルール上、 34.92° の有効範囲内に投てきする必要があるため、ハンマー投競技者は遠心力に耐えながら高速の動作を遂行し、正確なタイミングでハンマーを投げ出さなければならない。室伏（2013）によると、ハンマーを有効範囲内に投げ出すタイミングの難しさを「600km/h のリニアモーターカーに乗り、外にあるサッカーゴール内にボールを入れるタイミングと同じである」と比喻し、ハンマー投がいかに複雑で高度な技術を有する競技であるかを表現している。また、広瀬（2016b）はハンマー投の主要な運動であるターンはサイクリックな運動であるため、運動の初期に生じた誤差が蓄積し、最終局面までターンを継続できないことも少なくないという理由から、コーチは技術指導において、よりハンマーを加速させるために発揮する力を高める視点と運動の正確性を担保する視点を同時に持つ必要があると述べている。研究課題 2 の結果から、高重量ハンマーを投てきすることによって「倒れ込み」技術の強調や下肢関節の屈曲動作を引き起こすことが示されている。また、研究課題 3 によって、下肢関節の屈曲動作が定着し、椅子に腰掛けるような動作が強調され、DSP 局面の遠心力が高値を示したことが確認されている。このことから、高重量ハンマーによるトレーニングは、運動の正確性を担保しつつ、発揮する力を高めることを達成できるトレーニング方法として利用可能であると考えられる。

4. 今後の課題

本研究は高重量ハンマーによる投てきの負荷特性, 技術的特性およびトレーニングの有効性を提示してきた. 本研究で得られた結果を踏まえ, 今後さらに検討すべき課題を以下に示す.

(1) 被験者の特性について

本研究では学生レベルから日本トップレベル (自己ベスト記録: 52.11–71.51m) までのハンマー投競技者を対象に研究を行った. そのため, ハンマーの正規重量が異なる女性・高校生競技者および世界トップレベルの競技者に同様の知見が当てはまらない可能性も考えられる. したがって, 今後は分析対象者の性別やクラス, および競技レベルを拡大し, 検討していくことが望まれる.

(2) 分析方法について

研究課題 1 においてハンマーヘッドに作用する力は映像データを基に算出した. 張力計によって測定された張力と映像データによって得られたハンマーヘッドに作用する力の差はわずかであったものの, 張力計によって得られた波形は映像データによって得られた波形よりも棘波形のパターンを示した (Brice et al., 2008) ことから, 今後, 測定機材の性能が向上することによって, より詳細にハンマーヘッドに作用する力の測定が可能になると考えられる.

(3) トレーニング期間について

本研究では専門的準備期にあたる7月中旬から8月中旬のメゾ周期レベルの期間をトレーニング期間とした。そのため、高重量ハンマーを使用したメゾ周期レベルのトレーニングがオフシーズンにあたる冬季練習期間やシーズン直前の準備期に応用可能かどうかを検討することが望まれる。さらに、マクロ周期やそれよりも長い期間で高重量ハンマーによるトレーニングを実施することによって、トレーニング現場に対してより有用な知見を提供することができると考えられる。また、本研究では大学生と社会人の競技者を対象としたが、高校生やジュニア期の競技者にトレーニングを実施することによって、競技者の発達段階に応じたハンマー重量の選択やトレーニング効果を検討することができると考えられる。

VIII. 結 論

本研究の目的は、高重量ハンマーによる投てきの負荷特性、技術的特性およびトレーニングの有効性を明らかにすることで、トレーニング現場への実践的な示唆を得ることであった。本研究結果を基に得られた結論は以下の通りである。

- 1) 高重量ハンマーによる投てきは、レジスティッドトレーニング本来の目的である過負荷を引き起こすことが確認された。加えて、ターン局面中のハンマーヘッドの加速に関わる局面において負荷の増大が引き起こされることが示された。また、負荷の増大の程度は競技レベルに左右されるものではないことが明らかとなった。
- 2) 高重量ハンマーによる投てきは、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。技術面に着目した結果、高重量ハンマーによる投てきは、増大した負荷に対抗するための椅子に腰掛けるような動作（投てき方向側へ重心を移動させる身体動作および下肢関節の屈曲動作）が強調されることが確認された。
- 3) 高重量ハンマーによるメゾ周期レベルのトレーニングによって、初速度の増大に伴い、競技パフォーマンスの向上が確認された。また、トレーニングによって椅子に腰掛けるような動作を伴ったターン技術が定着することが確認された。

以上から、高重量ハンマーを使用したレジスティッドトレーニングは、増大した負荷に対抗するための身体動作を習得し、競技パフォーマンスを向上させる一助となり得るトレーニング方法であることが明らかとなった。

謝辞

本論文の作成にあたり，尾縣貢教授には終始親切丁寧なご指導・ご助言をいただきました。明敏博学を極める尾縣先生のお力添えがなければ，博士論文を上梓することは叶わなかったと思います。ここに心から感謝の意を表します。

大山卞圭悟准教授には，研究活動のみならず，競技そして学生生活の様々な面で熱いご指導を賜りました。出藍の誉れという言葉があるそうですが，先生を追いかけてはみたものの，結局先生の背中すら確認できないまま（あんなに大きいのに...!）修了してしまうことが悔やまれます。今後も気合いと根性で学びを深めていく所存でございます。

佐野淳教授，村田芳子教授，浅井武教授，高木英樹教授には快く副査をお引き受けいただき，卓越した研究者・指導者の視点からご指導をいただきました。木越清信助教，環太平洋大学の藤井宏明講師には陸上競技の専門家の立場から貴重なご助言をいただきました。また，順天堂大学の青木和浩教授には，研究の立ち上げ段階から多大なご指導をいただきました。ここに改めて深く御礼申し上げます。

本研究を行うにあたり，実に多くの方々のご好意をかたじけなくしております。特に陸上競技研究室（とりわけ卞さんとお茶をしばく会の皆様），コーチング学専攻の友人諸姉兄（とりわけ体育科学系 B 棟 410 号室の皆様）にはこの場を借りて心からの御礼とお詫びとを申し上げさせていただきます。

最後に，長きに渡る学生生活を常に暖かく見守ってくれた両親には衷心より感謝の言葉を捧げたいと思います。

2017 年 3 月 広瀬健一

文献

[A]

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.

[B]

Baker, D. (1996) Improving vertical jump performance: The application of general, special and specific strength training. The Journal of Strength and Conditioning Research, 10: 131-136.

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.

Bartonietz, K. (2000) Javelin Throwing: an Approach to Performance Development. In: Zatsiorsky, V.M (ed) Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention, pp.401-434.

Bartonietz, K. (2003) Throwing training with varied weight implements. South Australian Sports Institute, pp.1-13.

Bingisser, G.M. (2010) Simplifying Bondarchuk: Understanding the principles behind one of the world's top throws coaches. *Modern Athlete and Coach*, 48: 27-31.

Black, L.S. (1980) Hammer throw. *Track and field quarterly review*, 80: 27-28.

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.

Brice, S.M., Ness, K.F., Rosemond, D., Lyons, K., and Davis, M. (2008) Development and validation of a method to directly measure the cable force during the hammer throw. *Sports Biomechanics*, 7: 274-287.

Brose, D.E. and Hanson, D.L. (1967) Effects of overload training on velocity and accuracy of throwing. *Research Quarterly*, 38: 528-533.

[D]

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.

Dapena, J. (1985) Factors affecting the fluctuations of hammer speed in a throw.

Winter, D. A., Norman, R. W., Wells, P. R., Hayes, K. C., and Palta A. E. (Eds.)

Biomechanics IX, Human Kinetics, pp. 499-503.

Dapena, J. and Feltner, M.E. (1989) Influence of the direction of the cable force and

of the radius of the hammer path on speed fluctuations during hammer throwing.

Journal of Biomechanics, 22: 565-575.

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.

DeRenne, C., Ho, K.W., Hetzler, R.K., and Chai, D.X. (1992) Effects of warm-up with

various weighted implement on baseball bat swing velocity. The Journal of

Applied Sport Science Research, 6: 214-218.

DeRenne, C., Buxton, B.P., Hetzler, R.K., and Ho, K.W. (1995) Effects of weighted

bat implement training on bat swing velocity. Journal of Strength and

Conditioning Research, 9: 247-250.

Dyson, G.H.G. (1973) The mechanics of athletes, 6th ed. University of London Press,

pp.188.

[E]

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.

遠藤 彰・眞鍋芳明・櫻井健一・石毛勇介（2009a）ハンマー投ターン中における身体軸の傾斜角度とピアノ線張力との関係 -片足支持局面の減速に着目して-．陸上競技研究, 78: 27-34.

遠藤 彰・眞鍋芳明・櫻井健一・石毛勇介（2009b）ハンマー投ターン中における身体軸傾斜角度および回転軸傾斜角度とピアノ線張力との関係 -片足支持局面の減速に着目して-．陸上競技研究, 79: 51-57.

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.

[F]

藤井宏明・大山卞圭悟・田内健二・持田 尚・遠藤俊典・末松大喜・大宮真一（2008a）ハンマー投における世界一流選手と日本一流選手のバイオメカニクスの分析．陸上競技研究紀要, 4: 128-132.

藤井範久・小山陽平・阿江通良（2008b）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.

藤田健祐・青山利春・竹内 亮・熊川大輔・青山慎一郎・角田直也（2007）ハンマー投選手における体幹筋群の出力特性と投動作中の筋活動様相. 日本体育学会大会予稿集, 58: 228.

[G]

グロッサー・ノイマイヤー：朝岡正男・佐野淳・渡辺良夫訳（1995）技術トレーニング. スポーツ技術のトレーニング. 大修館書店, pp. 58-171.

[H]

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.

Hay, J.G. (1978) The biomechanics of sports techniques, 2nd ed., Prentice-Hall, Inc.

Hay, J.G. and Yu, B. (1995) Critical characteristics of technique in throwing the discus. Journal of Sports Sciences, 13: 125-140.

Hinz, L. (1991) Leichtathletik Wurf und Stoss. Sportverlag GmbH.

広瀬健一・大山卞圭悟・前田 奎・梶谷亮輔・山元康平・中野美沙・木越清信・尾縣 貢

(2016a) 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.

広瀬健一・大山卞圭悟・尾縣 貢 (2016b) ハンマー投におけるターン局面への指導に

関する事例報告ー予備動作の形態を変更した投げ練習に着目してー. コーチング学

研究, 30: 65-72.

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ーケトルベル投に着目してー. 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.

[I]

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.

[J]

Jaede, E. (1991) The main elements of modern hammer throwing technique. *Modern Athlete and Coach*, 29: 16-19.

Judge, L.W. (2009) The application of post activation potentiation to the track and field thrower. *Strength and Conditioning Journal*, 31: 34-36.

Judge, L.W., Bellar, D., and Judge, M. (2010) Efficacy of potentiation of performance through overweight implement throws on male and female high-school weight throwers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24: 1804-1809.

Judge, L.W., Bellar, D., Judge, M., Gilreath, E., Bodey, K.J., and Simoni, L. (2012) Efficacy of potentiation of performance through over weight implement throws on female shot putters. *Track and Cross Country Journal*, 1: 9-16.

Judge, L.W., Bellar, D., Thrasher, A., Simon, L., Hindawi, O.S., and Wanless, E. (2013) A pilot study exploring the quadratic nature of the relationship of strength to performance among shot putters. *International Journal of Exercise Science*, 6: 171-179.

[K]

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.

[L]

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.

[M]

マトヴェイエフ：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・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.

森本吉謙（2004a）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学的研究. 筑波大学博士（体育科学）学位論文.

森本吉謙・伊藤浩志・川村 卓・村木征人（2004b）野球の投球運動におけるアシスティッドトレーニングおよびレジスティッドトレーニングがボールスピードと正確性に及ぼす影響. トレーニング科学, 15: 171-178.

Morley, M. (2003) Hammer throwing: The turns, Part 1. The Coach, 16: 21-25.

村木征人（1989）専門的トレーニングの理論と実践的応用. 体育の科学, 39: 292-299.

村木征人（1994）スポーツトレーニング理論. ブックハウス・エイチディ.

村木征人（1998）体力と技術を一体化して考える. Sportsmedicine Quarterly, 22: 20-28.

村木征人（2005）トレーニングの理論とその方法. 日本体育協会編, 公認スポーツ指導者養成テキスト. 財団法人日本体育協会, pp. 102-111.

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.

室伏広治（2013）深部感覚と運動スキル（特集 感覚と運動スキル）. 体育の科学, 63: 124-136.

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的研究: 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.

[N]

成田智春（2007）ハンマー投ターン動作における下肢・体幹部筋活動．筑波大学大学院修士論文.

[O]

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.

尾縣 貢・関岡康雄（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.

岡本 敦・桜井伸二・池上康男（1993）ハンマー投の力学的分析 -第 3 回世界陸上選手権大会におけるハンマー投の三次元分析（第 2 報）-．日本体育学会大会号, 44A: 405.

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.

岡尾恵市（1996）ハンマー投の歴史．陸上競技のルーツをさぐる．文理閣, pp.191-199.

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.

[P]

Petrov, V. (1980) Hammer throw technique and drills. *Legkaja Atletika*, 8.

[S]

西藤宏司（1975）実験投擲学. 逍遙出版.

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.

Simonyi, G. (1980) Notes on the technique of hammer throwing. *Track and Field Quarterly Review*, 80: 29-30.

Slawinski, J., Dorel, S., Hug, F., Couturier, A., Fournel V., Morin, JB., 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.

[T]

高松潤二・桜井 徹 (2013) 円盤投げのトレーニング手段に関するバイオメカニクス的研究: 円盤重量の変化が投てき動作に与える影響. *流通経済大学スポーツ健康科学部紀要*, 6: 43-53.

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.

[U]

梅垣浩二・水谷好孝 (1997) 投擲者からみたハンマー頭部の加速度について. *中京大学体育学論叢*, 38: 53-63.

[V]

Van Huss, W.D., Albrecht, L. Nelson, R., and Hagerman, R. (1962) Effect of overload warm-up on the velocity and accuracy of throwing. *Research Quarterly*, 33: 472-475.

[W]

Winter, D.A. (2004) Kinematics. Biomechanics and motor control of human movement (3rd ed.) . John Wiley and Sons, pp. 13-58.

Woicik, M. (1980) The hammer throw. Track and Field Quarterly Review, 80: 23-26.

[Y]

湯浅景元・樋口憲生・室伏重信・奥山秀雄・加納明彦 (1985) ハンマー投の回転の分析について. Japanese Journal of Sports Sciences, 4: 99-103.

[Z]

Zatsiorsky, V., and Kraemer, W. (2006) Strength exercises. Science and practice of strength Training (2nd ed.) . Human Kinetics, pp.129-132.