

[原著論文：査読付]

長さの異なるワイヤーを用いた投擲の特徴による ハンマー投げ競技者分類の試み

木村 友大¹⁾, 八板 昭仁^{1,2)}, 疋田 晃久²⁾

An attempt to classify hammer throwers based on the characteristics of throwing due to different-length wires

Yudai KIMURA¹⁾, Akihito YAITA^{1,2)}, Akihisa HIKITA²⁾

Abstract

The aim of this study is to clarify the characteristics of throwing movements based on the axis of turning and footwork in a turning phase that is involved with the acceleration of a hammer directly influencing the performance of hammer throwing. Twenty-four university students (16 males and 8 females) specialized in the hammer throw were asked to throw a hammer with five different length wires i.e. the standard length, and 10 cm shorter, 5 cm shorter, 5 cm longer and 10 cm longer than the standard length. After measuring the thrown distances, ratios of them to the thrown distance using the standard length wire were computed. Finally, their characteristics were investigated using cluster analysis. As a result, the following three types were grouped: 1) “A type good for adjusting the posture,” which is excellent to hold the body axis that keeps good posture against the heavy loads. In this type, as the wire gets long, a tendency for an improved throwing distance was found. 2) “A type good for footwork,” which was conducted using a short wire and of which the decline in the thrown distance was small, and was high in adaptability for the turning speed, and 3) “A normal type,” of which performance is best when using a normal wire, but which cannot skillfully cope with a change in the length of the wire.

KEY WORDS : turning and footwork, A type good for adjusting the posture, A type good for footwork, A normal type

1) 九州共立大学大学院スポーツ学研究科
2) 九州共立大学スポーツ学部

1) Graduate School of Sports Science, Kyushu Kyoritsu University
2) Faculty of Sports Science, Kyushu Kyoritsu University

1. 緒言

陸上競技のハンマー投げは、一般男子では7.26kg、ワイヤー長1.175-1.215m、一般女子では4.0kg、ワイヤー長1.160-1.195mのハンマーを2-3回のスイング後に、3-4ターンでハンマーを加速させ、振り切り動作によって投げ出して飛距離を競う競技である。ハンマー投げの記録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という多くの報告¹⁻⁶⁾があり、坂東¹⁾は記録に関係なくハンマーヘッドの加速度は一定で、記録の高い選手が1ターン目を高い速度で開始しているとして1ターン目の重要性に言及している。ターンでは、両足支持期と片足支持期を繰り返すことによってハンマーヘッドを加速させており⁷⁾、Simonyi⁸⁾、Susanka et al.⁹⁾やWoicik¹⁰⁾は、ハンマーヘッドの速度は片足支持期に減少し両足支持期に増加するので、両足支持期が長いほど初速度の高い投げ法になると述べている。

以上の観点から競技者はターン速度を速くするためのトレーニング方法として正規のハンマーよりも軽い重量のハンマーを用いることでターン速度を高める手段として実施している。また田内ほか¹¹⁾は、正規のワイヤーよりも短くしたワイヤーを用いた投擲によって両足支持期を長くする効果について検討しており、投擲記録が減少する傾向が見られると報告しているが、トレーニングの効果については一定の成果を得るには至っていない。広瀬ほか¹²⁾は、高重量ハンマーを用いたトレーニングでターン時の負荷を増大させ、大きな遠心力に耐えることができれば、ハンマーヘッドの加速度を増大させ初速度の増大が期待できると報告している。

ターン時の投擲者への負荷の変化には、ハンマーの重量を変えるほか田内ほか¹¹⁾のようにワイヤーの長さを変えることが考えられ、短くすることによってハンマースピードが速くなることや遠心力が小さくなるなどの影響が考えられる。長ワイヤーを用いるとターン時のハンマー回転半径が大きく遠心力が増大し、高重量ハンマーを用いた投擲と同様にハンマーの回転軸方向への牽引力や運動姿勢を維持する体力が必要となる。また、角速度の低下が考えられることから、片足支持期から両足支持期になる動作（以下、キャッチ動作と表記する）後の軸足の前方までハンマーが移動する時間が長くなるので、ハンマー牽引力の維持や姿勢維持の難易度が高くなり、両足支持期から片足支持期にかけての回転軸作りがより重要度を増すことになる

と考えられる。逆に短ワイヤーを用いるとターン時のハンマー回転半径が小さくなるので、角速度が増大しキャッチ動作後のハンマーが移動する時間は短くなり、ハンマー牽引力の維持や姿勢維持に関する動作は容易になるが、片足支持期から両足支持期への移行を素早く行うためのフットワーク能力が必要になると考えられる。

以上のことから、ワイヤー長を変えた投擲では、キャッチ動作後のハンマーが移動する時間における両足支持期から片足支持期におけるターンの回転軸の作り方の優劣や、片足支持期から両足支持期へ移行するためのフットワークの得手不得手によって投擲記録の傾向が異なると考えられ、競技者の投擲動作の特徴によるパフォーマンスへの影響が考えられる。そこで本研究は、ハンマー投げの投擲記録に直結するハンマーの加速に大きく関わるターン局面に注目し、長さの異なるワイヤーを用いたハンマーの投擲結果からターンの重要な要素である「ターンの軸」や「フットワーク」を視점에検討し、投擲動作におけるターンの特徴から競技者を分類することを目的とする。投擲動作におけるターンの特徴が明らかになることは、各競技者のトレーニング方法の改善に貢献することができると考えられる。

II. 方法

1. 対象

ハンマー投げを専門とする大学生24名（男子16名、女子8名）とした。対象となった被験者の年齢、身長、体重、自己ベストなどの特性を表1に示した。なお、本研究の実施に当たっては、九州共立大学研究倫理審査委員会の承認（2019-08）を得た上で、被験者に研究趣旨、測定内容および研究データが研究目的以外に使用されないこと、研究発表時に個人が特定されないことを書面と口頭によって説明し、書面による研究協力の同意を得た。

表1. 被験者の特性

	男子	女子
被験者（人）	16	8
身長（cm）	176.16±6.21	163.1±4.61
体重（kg）	98.06±10.27	70.65±7.26
年齢（歳）	20.13±0.78	20.00±1
自己ベスト(m)	57.62±5.40	54.68±3.69

2. 測定方法

本研究においては、男子は全長1.215m、女子は全長1.195mを正規ハンマーとして使用し、それよりも5cm及び10cm長いワイヤーと5cm及び10cm短いワイヤーの各ハンマーを用いた5つの条件による投擲結果を測定した。各条件とも1-2回の練習試技の後、対象者の主観による成功試技2-3回を計測試技とした。各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い、計測試技の中で最も記録の良い投擲を分析対象とした。ワイヤー長の変化への慣れを防ぐために、投擲試技の5つの条件の順序は無作為に実施した。

3. 分析方法

測定したワイヤー長の異なる各条件の投擲の記録は、正規ワイヤーの記録に対する比率を算出し、それらの比率を用いてクラスター分析を行った。クラスターリングには、個体間の距離はユークリッド距離、クラスター間の距離の測定はWard法をそれぞれ用いた。分類されたクラスターについて、投擲動作におけるターンの特徴を検討した。

III. 結果

表2・表3は、ワイヤー長の異なる各条件における投擲記録を示したものであり、表4・表5はそれらの記録の正規ワイヤーの記録に対する比率を表したものである。

各条件における投擲記録の男子全体の平均は、10cm短いワイヤーの投擲（以下、-10cmと表記する）が $47.89 \pm 4.94\text{m}$ 、5cm短いワイヤーの投擲（以下、-5cmと表記する）が $48.53 \pm 4.75\text{m}$ 、正規ワイヤーの投擲（以下、Nと表記する）が $51.03 \pm 4.78\text{m}$ 、5cm長いワイヤーの投擲（以下、+5cmと表記する）が $51.41 \pm 4.92\text{m}$ 、10cm長いワイヤーの投擲（以下、+10cmと表記する）が $51.90 \pm 4.97\text{m}$ であった。各ワイヤー条件における最大値と最小値は、-10cmが 57.38m と 36.81m 、-5cmが 56.61m と 36.32m 、Nが 60.19m と 39.39m 、+5cmが 59.64m と 39.52m 、+10cmが 61.64m と 38.30m であった。また、各ワイヤー条件の正規ワイヤーにおける最大比率と最小比率は、-10cmが 98.7% と 87.3% 、-5cmが 100.0% と 90.1% であり、+5cmは 107.8% と 90.4% 、+10cmは 110.3% と 95.7% であった。

女子全体の平均は、-10cmが $46.85 \pm 3.40\text{m}$ 、-5cmが

$47.67 \pm 2.94\text{m}$ 、Nが $48.85 \pm 3.36\text{m}$ 、+5cmが $50.35 \pm 2.87\text{m}$ 、+10cmが $50.31 \pm 2.90\text{m}$ であった。各ワイヤー条件における最大値と最小値は、-10cmが 53.12m と 42.70m 、-5cmが 52.25m と 43.47m 、Nが 53.77m と 42.68m 、+5cmが 56.07m と 45.93m 、+10cmが 56.00m と 46.97m であった。各ワイヤー条件の正規ワイヤーにおける最大比率と最小比率は-10cmが 101.4% と 88.8% 、-5cmが 105.4% と 90.4% 、+5cmが 107.6% と 99.4% 、+10cmが 110.1% と 99.5% であった。被験者全体の各ワイヤー条件の正規ワイヤーにおける最大比率と最小比率は、-10cmで 101.4% と 87.3% 、-5cmで 105.4% と 90.1% 、+5cmで 107.8% と 90.4% 、+10cmは 110.3% と 95.7% であった。全体的にワイヤー長が長くなるほど記録が向上する傾向がみられた。

図1は、5つの条件による投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率からクラスター分析したデンドログラムである。距離を0.2で区切ると3つのクラスターに分類され、第1クラスターは、Q、RとE、Pが結合したものと、A、LとC、KさらにOが結合したものが結合した9名と、B、Mの2名が結合した11名が含まれた。第2クラスターは、S、DとHが結合したものと、T、FにNとGが順次結合したものが結合した7名が含まれるクラスターとなった。第3クラスターは、W、IとX、Jが結合したものに、VとUが順次結合した6名によるクラスターとなった。

表6は、3つのクラスターに分類された対象者の5つの条件による投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率の平均値を表わしたものである。第1クラスターは、-10cmが 93.8% 、-5cmが 94.8% 、+5cmが 97.9% 、+10cmが 99.4% であり、ワイヤー長の長さに関わらずすべての記録が正規ワイヤーの記録よりも低値を示した。第2クラスターは、-10cmが 91.2% 、-5cmが 94.6% 、+5cmが 103.6% 、+10cmが 105.4% であり、ワイヤー長が長くなるにしたがって記録が向上する傾向がみられた。第3クラスターは、-10cmが 99.8% 、-5cmが 99.7% 、+5cmが 106.3% 、+10cmが 104.5% であり、短ワイヤーを用いたときの減少率が少ない傾向がみられた。

表2. 男子におけるワイヤー長の異なる各条件における投擲記録

(m)

被験者	-10 †)	-5	N	5	10
A	57.38	56.61	60.19	59.64	60.01
B	48.11	52.14	52.56	47.52	51.50
C	36.81	36.32	39.39	39.52	38.30
D	54.47	54.68	58.88	59.56	61.64
E	50.28	52.06	53.42	51.96	54.57
F	46.26	48.97	50.17	53.01	51.80
G	43.61	45.73	46.58	49.60	50.27
H	41.61	43.47	47.65	49.23	52.55
I	48.76	48.27	49.53	53.38	49.53
J	52.36	53.03	53.05	56.77	54.85
K	49.04	46.92	52.05	51.83	50.80
L	50.95	48.25	52.41	52.86	51.06
M	50.30	49.61	53.21	48.55	53.69
N	45.31	47.01	49.04	51.39	51.79
O	48.02	49.56	52.34	52.78	50.11
P	42.95	43.86	46.06	45.02	47.87
平均値	47.89±4.94	48.53±4.75	51.03±4.78	51.41±4.92	51.90±4.97

†) -10: 規定の長さより10cm短いワイヤーの投擲

-5: 規定の長さより5cm短いワイヤーの投擲

N: 規定の長さのワイヤーの投擲

+5: 規定の長さより5cm長いワイヤーの投擲

+10: 規定の長さより10cm長いワイヤーの投擲

表3. 女子におけるワイヤー長の異なる各条件における投擲記録

(m)

被験者	-10 †)	-5	N	5	10
Q	48.24	50.89	52.67	52.50	53.45
R	48.53	50.22	51.39	51.08	51.11
S	42.70	43.47	48.08	47.79	49.67
T	43.18	45.33	47.07	49.05	48.36
U	42.97	44.98	42.68	45.93	46.97
V	48.23	46.77	47.57	49.85	47.45
W	53.12	52.25	53.77	56.07	56.00
X	47.85	47.47	47.57	50.52	49.50
平均値	46.85±3.40	47.67±2.94	48.85±3.36	50.35±2.87	50.31±2.90

†) -10: 規定の長さより10cm短いワイヤーの投擲

-5: 規定の長さより5cm短いワイヤーの投擲

N: 規定の長さのワイヤーの投擲

+5: 規定の長さより5cm長いワイヤーの投擲

+10: 規定の長さより10cm長いワイヤーの投擲

表4. 男子におけるワイヤー長の異なる各条件における投擲記録の正規ワイヤーに対する比率 (%)

被験者	-10/N †)	-5/N	+5/N	+10/N
A	95.3	94.1	99.1	99.7
B	91.5	99.2	90.4	98.0
C	93.5	92.2	100.3	97.2
D	92.5	92.9	101.2	104.7
E	94.1	97.5	97.3	102.2
F	92.2	97.6	105.7	103.2
G	93.6	98.2	106.5	107.9
H	87.3	91.2	103.3	110.3
I	98.4	97.5	107.8	105.5
J	98.7	100.0	107.0	103.4
K	94.2	90.1	99.6	97.6
L	97.2	92.1	100.9	97.4
M	94.5	93.2	91.2	100.9
N	92.4	95.9	104.8	105.6
O	91.7	94.7	100.8	95.7
P	93.2	95.2	97.7	103.9
平均値	93.8±2.72	95.1±2.90	100.8±4.95	102.1±4.09

†) -10/N: -10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

-5/N: -5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+5/N: +5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+10/N: +10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

表5. 女子におけるワイヤー長の異なる各条件における投擲記録の正規ワイヤーに対する比率 (%)

被験者	-10/N †)	-5/N	+5/N	+10/N
Q	91.6	96.6	99.7	101.5
R	94.4	97.7	99.4	99.5
S	88.8	90.4	99.4	103.3
T	91.7	96.3	104.2	102.7
U	100.7	105.4	107.6	110.1
V	101.4	98.3	104.8	99.7
W	98.8	97.2	104.3	104.1
X	100.6	99.8	106.2	104.1
平均値	96.0±4.63	97.7±3.88	103.2±3.05	103.1±3.12

†) -10/N: -10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

-5/N: -5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+5/N: +5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+10/N: +10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

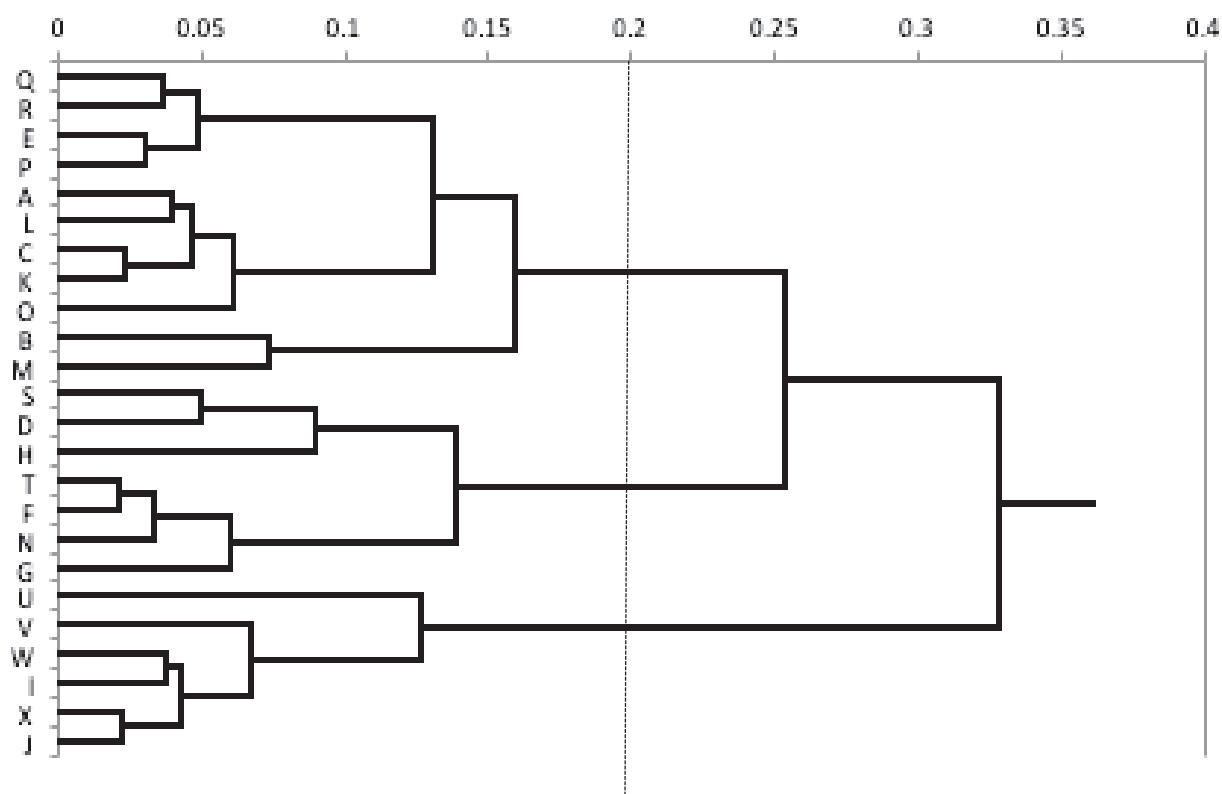


図1. 5つの条件による投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率からクラスター分析したデンドログラム

表6. 3つのクラスターに分類された各条件の投擲記録の正規ワイヤー記録に対する比率の平均値 (%)

クラスター	-10/N †)	-5/N	+5/N	+10/N
第1クラスター	93.8	94.8	97.9	99.4
第2クラスター	91.2	94.6	103.6	105.4
第3クラスター	99.8	99.7	106.3	104.5

†) -10/N: -10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

-5/N: -5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+5/N: +5における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

+10/N: +10における投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率

IV. 考察

ワイヤー長の異なる5つの条件による投擲記録の正規ワイヤーの記録に対する比率によって3つのクラスターに分類することができた。第1クラスターは、ワイヤーの長さに関わらず正規ワイヤーの記録よりも低値を示す傾向が見られた。三浦・橋本¹³⁾は、野球選手を対象にボールの重量とピッチング初速度の関連について、日常使用している規定の重さのボールが最も

大きな初速度が得られたと報告しており、吉澤¹⁴⁾も同様に重量の変化に対する違和感や抵抗感によって初速度は増大されなかったと述べている。ハンマー投げでは、ワイヤーが長くなればターンにおける遠心力は増加するので、投擲記録は伸びると考えられるが、このクラスターの多くの競技者は正規ワイヤーの記録よりも低調であり、三浦・橋本¹³⁾や吉澤¹⁴⁾の報告と同様に日常的に使用しているハンマーの正規ワイヤーに対する適応現象によって長さの変化への対応がうまく

できなかったと考えられる。したがって、正規ワイヤー以外のワイヤー長に対応が上手くできない「適応現象タイプ」と考えられる。

第2クラスターは、ワイヤーが長くなるに連れて記録が向上する傾向がみられた。ワイヤーが長くなるとターン時のハンマー回転半径が大きく遠心力が増大するので、それらのための体力的な負荷が大きくなりそれに耐え得る筋力や姿勢が必要になる。エッカー¹⁵⁾は、ハンマーの大きな遠心力に耐えるためにターン局面で腰を下ろした姿勢をとることが重要と述べており、広瀬ほか¹²⁾は、高重量ハンマーを用いたトレーニング報告において下肢関節各部が椅子に腰掛けるような動作遂行が見られたと報告している。このクラスターは、長ワイヤーを用いることによる増大した負荷により軸を保つことの難易度が高くなるにもかかわらず、投擲距離を伸ばすことができていることから、先行研究^{12,15)}で指摘されている投擲動作ができており、かつ、遠心力に耐える筋力を有していると考えられる。また、短ハンマーの投擲記録において記録が低値を示しており、速い回転速度に対応できるフットワーク能力は十分でないと考えられる。これらは、ターンにおいて高負荷に対抗する姿勢保持する能力が高いと考えられ、回転軸作りの得意な「姿勢作りに優れたタイプ」の選手と考えることができるであろう。第3クラスターは、短ワイヤーを用いた時の記録の減少率が小さく、ハンマーのワイヤーを短くすると投擲記録が低下するという田内ほか¹¹⁾の報告とは異なる傾向が見られた。ワイヤーが短くなれば回転半径が小さくなるのでハンマースピード（角速度）は増加することになるが、角速度が増大しても片脚支持期の時間を減少させること⁹⁾や片足支持期から両足支持期への移行を素早く行うこと¹⁰⁾で角速度の増加に対応していると考えられる。ハンマースピードは、片脚支持期に減速し、両脚支持期に加速するので片脚支持期が短いことはハンマーヘッドのスピードの減少を抑えることができる投法⁸⁻¹⁰⁾と言われている。このような投法のためには、キャッチ動作を行なう脚が離地後間延びせずに、素早くキャッチ動作を行えるフットワークが必要である。また、長ハンマーの投擲記録においては、+5cmよりも+10cmが低値を示しており、大きな遠心力に対抗して回転軸を作る能力は十分ではないと考えられる。したがって、片足支持期が間延びをしない素早いキャッチ動作を行う足運びを得意とするスピードに対応できる「フットワーク能力に優れたタイプ」と考えられる。

V. 結語

本研究は、ハンマー投げの投擲記録に直結するハンマーの加速に大きく関わるターン局面に注目し、長さの異なるワイヤーを用いたハンマーの投擲結果からターンの重要な要素である「ターンの軸」や「フットワーク」を視点に投擲動作におけるターンの特徴を明らかにすることが目的であった。ハンマー投げを専門とする大学生を対象に長さを変えたワイヤーのハンマーの投擲記録を測定したところ、正規ワイヤーの記録が最も高いワイヤー長の変化に対応が上手くできない「適応現象タイプ」、高負荷に対抗する姿勢保持する能力が高い軸作りの得意な「姿勢作りに優れたタイプ」、短ワイヤーを用いた投擲で記録の減少幅が少ないスピードに対応できる「フットワーク能力に優れたタイプ」の3つに分類することができた。本研究における方法の利用によって、競技者は各自の投擲動作の特徴を知ることができるので、自らのタイプに合致した効果的な競技力向上を志向したトレーニングを構成することができると考えられる。

文献

- 1) 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.
- 2) 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, 世界一流陸上競技者の技術. ベースボール・マガジン社: 東京, pp. 240-256.
- 3) 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.
- 4) 室伏重信, 齊藤昌久, 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 (1): 38-43.
- 5) 水谷好孝, 梅垣浩二 (1997) 両足支持期におけるハンマー頭部の移動距離の内訳. 中京大学体育学論叢, 39 (1): 99-105.
- 6) 日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス研究班編 (1997) アジア一流陸上競技者の技術: 第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究報告. 創文企画: 東京, pp. 183-190.

- 7) 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.
- 8) Simonyi, G. (1980) Notes on the technique of hammer throwing. *Track and Field Quarterly Review*, 80: 29-30.
- 9) Susanka, P., Stepanek, J., Miskos, G., and Terauds, J. (1986) Hammer-athlete relationship during the hammer throw. 4 International Symposium on Biomechanics in Sports, pp. 194-200.
- 10) Woick, M. (1980) The hammer throw. *Track and Field Quarterly Review*. 80: 23-26.
- 11) 田内健二, 墨訓熙, 疋田晃久 (2018) 短いワイヤーを用いたハンマー投げの動作特性. *陸上競技研究*, 4: 13-21.
- 12) 広瀬健一, 大山卞圭吾, 藤井宏明, 青木和浩, 前田圭, 梶谷亮輔, 尾縣貢 (2017) 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*, 62: 215-226.
- 13) 三浦望慶, 橋本勲 (1980) 投げにおける方向と初速度と重量と. *体育の科学*, 30 (7) : 473-477.
- 14) 吉澤恒星 (1996) 野球選手の負荷軽減トレーニングに関する基礎的研究. 筑波大学修士論文.
- 15) 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.

Received date 2020年6月18日

Accepted date 2020年9月3日