

やり投げにおける助走を行うことを
考慮に入れた立投げ練習の提案
— 単一被検者における検証 —

Proposal of Standing Throws
in Javelin Consider the Run-up :
from N=1 Experiment

本山 清喬・瓜田 吉久・前田 明

やり投げにおける助走を行うことを考慮に入れた立投げ練習の提案 — 単一被検者における検証 —

Proposal of Standing Throws in Javelin Consider the Run-up : from N=1 Experiment

本山清喬¹⁾ 瓜田吉久²⁾ 前田 明²⁾

キーワード：やり投げ、逆振り子モデル、立投げ、動作分析、単一被検者

【要約】

やり投げにおいては助走速度の高まりに伴い、身体の後傾が大きくなることで、運動連鎖を効率的に行っている。しかし、やり投げのトレーニングの一つとして行われる立投げは、重心速度が低値であるにもかかわらず身体の後傾を大きくして行うため、運動連鎖の面からみて適した運動とはいえない。その様なことから、運動連鎖を適切に行うことを考慮すると、身体の後傾姿勢を小さくした立投げ姿勢を取ることが適切であると考えられる。そこで、本研究は、立投げにおける後傾姿勢の差異が運動連鎖に及ぼす影響を明らかにすることを目的に行った。被検者は大学生である男子やり投げ選手1名とし、異なる後傾姿勢を伴う立投げをそれぞれ6試技行わせた。その際、光学式モーションキャプチャーシステム Mac3D (Motion Analysis 社製) を用いて、サンプリングした。その結果、大きな後傾姿勢を伴う立投げは、身体と体幹が同時に前傾していたのに対し、後傾姿勢を小さくすることを教示した立投げは、身体が前傾する際

に体幹が一度後傾した後に前傾した。すなわち、後傾姿勢を小さくすることを教示した立投げは、身体のしなりを利用した投てきを実施することが明らかとなった。

I . 緒言

男子のやり投げは、重さ800g、長さ2.60-2.70mのやりをより遠くに投げることが目的とする競技である。やりの飛距離はリリース時の投射初期条件によって決定され(池上, 1982; Komi et al., 1985)、特に投てき距離と初速度の間には高い正の相関関係があること(Bartlett et al., 1996; Best et al., 1993; Kunz et al., 1983; 村上, 2002; 村上ら, 2003; 前田ら, 1996; Mero et al., 1994)が多くの研究で報告されている。また、Morriss et al. (1996) や Campos et al. (2004) は、一流男子やり投げ選手の投局面は120-130msecの時間において、やりを20-21m/sも加速させているとしている。さらに、Bartlett et al. (1996) はやりの速度獲得の70%以上が両脚支持期に依存していることを報告していることから、両脚支持期

1) 九州産業大学

2) 鹿屋体育大学

の動作がヤリの速度獲得の大部分を占めていると考えられる。やり投げは他の投げ運動と同様に、下肢から体幹、そして上肢、さらにやりへと、二重振子の原理を用いた運動連鎖によって末端の速度を高くしている。Hirashima et al. (2010) はやり投げの投局面で身体の近位から遠位に徐々に速度を最大限に近づけることが重要であると報告している。さらに、Whiting et al. (1991) は、投てき距離が大きなやり投げ選手の投てき動作にのみ、近位から遠位の順で上肢の運動が行われていることを報告したが、Liu et al. (2010) は、一流選手のやり投げ選手の最大速度の順番と運動開始の順番は一致しないことを報告し、動作開始と停止において巧みに運動をコントロールすることで、効率の良い運動連鎖を行っているとしている。

Motoyama et al. (2013) は個人内において助走速度を変化させた際の投てき動作の特徴を検討した際、助走速度の高まりに伴ってリリース直前の左脚接地時に身体の後傾姿勢が大きくなることを明らかにし、その要因は助走速度を高くすることによって増大するエネルギーを投射方向へ変換するためであると推察している。すなわち、高い助走速度によって身体の移動速度が高い場合は身体を大きく後傾し、反対に、身体の移動速度が低い場合には身体の後傾姿勢は小さくなるとされている。ところが、実際のトレーニングにおいて多くのやり投げ選手が実施している立投げは、身体の移動速度が低いにもかかわらず、大きな後傾姿勢を取って投てきを行っている。しかし、立投げにおける身体の移動速度が低いことから、後傾姿勢を小さくすることで適切な運動連鎖を実現するのではないかと可能性があると考えられた。

そこで、本研究はやり投げの立投げにおける後傾姿勢の役割について明らかにすることを目的とした。

Ⅱ．方法

A. 被検者

被検者はインフォームドコンセントの得られた、右投げの大学男子やり投げ選手1名とし、被検者の年齢は23歳、身長は171.5cm、体重は89.2kg、そして自己記録は69.85mであった。なお、本研究は鹿屋体育大学倫理審査委員会の承認のもと実験を行った。

B. 実験内容

被検者が通常の投てき練習で実施している身体の後傾が大きい立投げと、被検者に教示を行い身体の後傾を小さくした立投げの2つの条件でそれぞれ6試技行わせた。また、2条件の測定はそれぞれ別日に実施した。

C. 評価

1. 動作分析

被検者の身体に23点、ヤリに2点の合計25点の反射マーカーを貼付し、光学式モーションキャプチャーシステム Mac3D (Motion Analysis 社製) を用いて投てき動作をサンプリングした。なお、専用カメラ (Rapter) のサンプリング周波数は300Hzとした。また、座標系は投てき者の左右方向を X 軸 (右方向が正の値)、前後方向を Y 軸 (投てき方向が正の値)、鉛直方向を Z 軸 (上方向が正の値) とした。なお、得られたデータはバターワースフィルター (10Hz) を用いて平滑化した。

2. 分析方法

分析ソフト Cortex (Motion Analysis 社製) を用いて、被検者の身体及びヤリに貼付した反射マーカーの位置座標を算出し、分析を行った。

3. 分析項目

本研究は、各データを算出するために左脚接地及びリリースのイベントを分析範囲とした。分析項目は、投てき距離、初速度、投射角、姿勢角、迎え角、ストライド、ヤリの移動距離、上肢関節速度、体幹及び身体角度・角速度を算

出した。なお、各分析項目の定義は以下の通りとした。

1) 投てき距離：リリース位置からヤリの先端が最初に落下した痕跡の距離を cm 未満の端数を切り捨てた1cm 単位で記録した。

2) 初速度：ヤリの重心の変位を時間微分することで算出し、リリースのヤリの速度を求めた。

3) 投射角：ヤリの重心の軌跡と水平線となす角度を算出した。

4) 姿勢角：ヤリの先端と重心の結んだ線分と水平線となす角度として算出した。

5) 迎え角：姿勢角と投射角の差を算出した。

6) ストライド：片脚支持期の右脚つま先と両脚支持期の左脚つま先の Y 軸上の差を算出した。

7) ヤリの移動距離：両脚支持期におけるヤリの重心の総変位量として算出した。

8) 上肢関節速度：投てき腕の肩、肘、手関節の変位を時間微分し算出した。

9) 体幹・身体角度：体幹角度は両肩の midpoint と両大転子の midpoint を結んだ線分と垂線のなす角を YZ 平面上で算出した。また、身体角度は身体重心と左脚のくるぶしを結んだ線分と垂線のなす角を YZ 平面上で算出した。また、前傾角度を正の値として示した。なお、身体角度は Fig 1. に示した。

10) 体幹・身体角速度：体幹・身体角速度は体幹・身体角度の変位を時間微分し算出した。

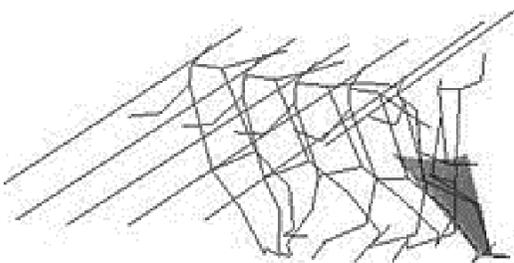


Fig 1. —やり投げ動作における身体角度

D. 統計処理

各試技群における測定項目の比較に、対応のある t 検定を用いた。

また、本研究では全ての検定において、統計有意水準は基準値5%未満とし、統計ソフト SPSS for Windows Release 20.0J (SPSS 社製) を用いて検定を行った。

III. 結果

A. 投射初期条件

Table 1. に示した投てき距離、初速度、投射角、姿勢角、迎え角をみると、投てき距離は、2条件間に統計上の差はないものの、後傾姿勢の小さな立投げと比較して、大きな後傾姿勢を伴う立投げの方が大きな値を示した。また、初速度は、後傾姿勢の小さな立投げと比較して大きな後傾姿勢を伴う立投げの方が有意に高い速度であることが認められた ($p < .01$)。さらに、投射角、姿勢角及び迎え角では、2条件間に有

	大きな後傾	小さな後傾	
投てき距離 (m)	39.96 ± 2.40	38.54 ± 0.89	n.s.
初速度 (deg)	19.96 ± 0.23	19.40 ± 0.12	$p < .01$
投射角 (deg)	33.3 ± 1.5	28.8 ± 0.5	$p < .01$
姿勢角 (deg)	23.4 ± 1.8	21.5 ± 0.7	$p < .05$
迎え角 (deg)	-9.8 ± 2.1	-7.3 ± 0.7	$p < .05$
ストライド (m)	1.01 ± 0.04	0.99 ± 0.04	n.s.
ヤリの移動距離 (m)	1.34 ± 0.03	1.27 ± 0.03	$p < .01$

Table 1.—後傾姿勢の差異における投射初期条件及び基礎データ

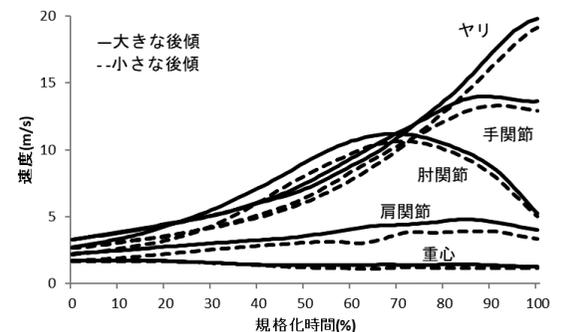


Fig 2. —異なる後傾姿勢における立投げの重心及び上肢関節、ヤリの速度

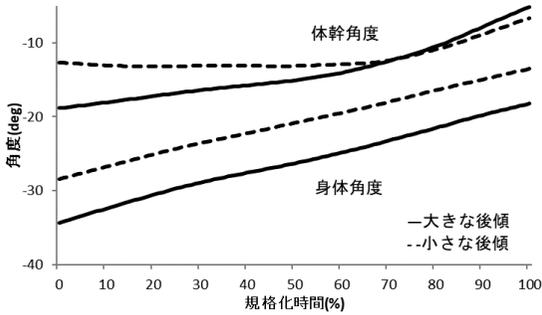


Fig 3. —異なる後傾姿勢における立投げの
体幹・身体角度

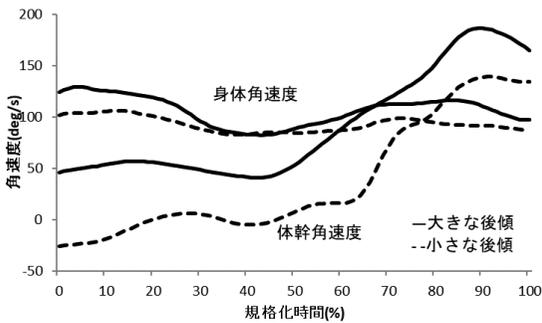


Fig 4. —異なる後傾姿勢における立投げの
体幹・身体角速度

意な差が認められた (投射角: $p < .01$, 姿勢角: $p < .05$, 迎え角: $p < .05$)。

B. スライドとヤリの移動距離

Table 1. に示したスライドとヤリの移動距離をみると、スライドの違いによる差は認められなかった。しかし、ヤリの移動距離は、大きな後傾姿勢を伴う立投げの方が有意に長くなった ($p < .01$)。

C. 上肢関節速度

Fig 2. に示した上肢関節の最高速度をみると、肩・肘・手関節の最高速度はいずれも、大きな後傾姿勢を伴う立投げは後傾姿勢が小さい立投げと比較して有意に高い速度であることが認められた (肩関節: $p < .01$, 肘関節: $p < .01$, 手関節: $p < .01$)。

D. 体幹及び身体角度・角速度

Fig 3. に示した体幹及び身体角度、並びに Fig 4.

に示した体幹及び身体角速度をみると、体幹角度は、両脚支持期の前期において大きな後傾姿勢を伴う立投げの方が体幹を大きく後傾していた ($p < .01:0-55\%$, $p < .05:56-62\%$)。しかし、両脚支持期の75%を境に大きな後傾姿勢の方が体幹をより前傾させていた ($p < .01:95-100\%$)。

また、身体角度は、両脚支持期において常に大きな後傾を伴う立投げの方が体幹をより有意に大きく後傾していることが認められた ($p < .01:0-71\%$, $p < .05:72-100\%$)。さらに、大きな後傾姿勢を伴う立投げは体幹角度と身体角度が一定の角度の差が保たれたのに対して、後傾姿勢が小さい立投げで両脚支持期の前期において体幹角度と身体角度の値が近づいた。そして、体幹角速度は、両脚支持期において常に大きな後傾姿勢を伴う立投げの方が有意に大きく後傾していることが認められた ($p < .01:0-51,61-71,82-97\%$)。

身体角速度は、両脚支持期中盤において身体後傾の差異による変化はほとんど認められないが、両脚支持期の前期 ($p < .05:3-10,18-28\%$) と後期 ($p < .01:62-70\%$, $p < .05:58-61,71-100\%$) において、大きな後傾姿勢を伴う立投げの方がより速く前傾していることが認められた。

IV. 考察

立投げの後傾姿勢の差異による投てき距離の違いは認められなかったものの、後傾姿勢が小さい立投げは、大きな後傾姿勢を伴う立投げと比較して、初速度は低い値であった。このことは、後傾姿勢の大きさによってヤリに与える速度が変容する可能性があることが示唆している。また、後傾姿勢の差異によるスライドの大きさは変化しないという結果から、著しく低い重心速度で行われる立投げにおいて、身体が前方へ乗り込むことが可能であるスライドの大きさには限界があると考えられる。また、ス

トライドに変化が無い中で、大きな後傾姿勢を伴う立投げの方がヤリの移動距離が大きくなったことから、後傾姿勢の大きさが直接的に影響を及ぼしていると考えられる。前田ら(1997)は、やり投げの投てき距離増大を目指すとき、仕事率の低い局面での仕事率を高めることが有効な方策であることと述べている。また、佐藤(1979)は、投てきの原理として、全身の力をできるだけ長い距離にわたって作用させること(力×距離=仕事)や、できるだけ長い時間作用させること(力×時間=力積)が効果的な投てき技術であるとし、さらに桜井(1991)は投げ動作を含むスポーツでは、高いパフォーマンスを発揮するために身体全体を使ってしなやかに大きなパワーを発揮することが効果的であると述べている。これらのことから、大きな後傾姿勢を伴う立投げは身体の動作範囲が大きくなることで、ヤリの移動距離が拡大し、さらに、ヤリの初速度を高くしたものと考えられる。また、大きな後傾姿勢を伴う立投げは、後傾姿勢が小さい立投げと比較して、重心及び上肢関節の最高速度は、有意に高い値であった。この結果においても、身体を大きく後傾させることが、振れ幅やヤリの移動距離を拡大することが影響を与えていると考えられる。また、身体重心や上肢関節の速度においても、大きな後傾を伴う立投げが大きな値を示していたことから、上肢関節の運動連鎖に寄与していたと推察される。

しかし、池上(1982)が、立投げと全力投てきの投てき距離の間に相関関係が認められないことを報告していることから考えても、立投げにおいて大きな投てき距離を獲得することにとられることなく動作そのもの(つまり、助走を行うことを考慮した動作)に着目することが求められていると考えられる。そして、Fig. 3の結果では、大きな後傾を伴う立投げにおいて体幹角度と身体角度で一定の差が保たれていた

のに対して、後傾姿勢が小さい立投げにおいては、両脚支持期の前期において体幹角度と身体角度の値が近づいたことが明らかとなったこと。さらに、後傾姿勢が小さい立投げはブロック直後に一度後傾し、その後前傾したことが明らかとなったことから、大きな後傾姿勢を伴う立投げは身体を一つの振り子のように前傾させていたが、後傾姿勢が小さい立投げは、身体の前傾に対して体幹を一度後方への置き去りにする動作を行うことで二重振り子のようにしなりを用いて前傾させていると推察された。佐藤(1979)は、立投げは胸を張り、肘と肩を残した弓なりの構えを作ることが必要であると報告している。したがって、本研究の結果から、後傾姿勢を小さくした立投げを実施することが、弓なりの構えを作ることにより有効に働くことが示唆された。

次に、投射初期条件において異なる後傾姿勢における立投げは大きく異なる結果を示した。やり投げにおいてパワーポジションを形成する際、ヤリの姿勢を決定し加速させようとするため、姿勢角が低い値となる。しかし、身体の後傾が大きな立投げでは、投てき距離を獲得しようとするため、出来る限り大きな投射角を発生しようとしていると考えられ、その結果として、迎え角が非常に大きな値を示したと考えられる。立投げはリリース時のヤリの挙動が大きく異なることが明らかとなった。

V. 現場へのフィードバック

身体の後傾を小さくする立投げが身体にしなりを発生させていることが明らかとなり、運動連鎖を適切に実施することを矯正するためのトレーニングとして、利用することが可能であると考えられる。また、後傾姿勢を小さくすることで体幹の前後における振れ幅やヤリの移動距離が小さくなり、腕振りによる加速が小さいこ

とが明らかとなった。腕振りの速度を高めるためのトレーニングとしては大きな後傾を伴う立投げの方が適していると考えられる。しかし、立投げは投射初期条件が助走を伴う投てきと大きく異なるため、身体のしなりを発生させることができるとしても、練習の多くの時間を立投げに充てるべきではないと考えられる。

VI. まとめ

後傾姿勢を小さくした立投げは、体幹の振れ幅やヤリの移動距離が小さくなったことで、高い上肢関節速度を獲得することはできず、初速度は後傾の大きな立投げよりも小さくなる。しかし、身体を前傾させる際に、大きな身体後傾を伴う立投げは身体と体幹を一体のものとして前傾させていたが、身体後傾が小さい立投げは身体が前傾する際に体幹が一度後傾し、しなりを伴って投てきしていることが明らかとなった。

VII. 文献

1. 阿江 通良, 湯 海鵬, 横井 孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定, バイオメカニズム, 11, 23-33.
2. Bartlett R., Müller E., Lindinger S., Brunner F., Morriss C. (1996) Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels, *J. Appl. Biomech.*, 12, 58-71.
3. Best R.J., Bartlett R.J. (1987) Computer flight simulation of the men's new rules javelin, In G.de Groot, A.P.Huijing, & G.J.van Ingen Schenau (Eds.), *Biomechanics XI B*, 588-594, Amsterdam, Free University Press.
4. Campos, J., Brizuela, G. Ramon, V. (2004) Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics, *New Studies in Athletics*, 19, 47-57.
5. Hirashima M., Kadota H., Sakurai S., Kudo K., Ohtsuki T. (2010) Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing, *J Sports Sci.*, 20 (4), 301-310.
6. 池上 康男 (1982) やり投げ考, *JJSS*, 1 (2), 99-103.
7. Komi P. V. and Mero A. (1985) Biomechanical analysis of Olympic javelin thrower, *Int. J. Sport Biomech.* 1. 139-150.
8. Kunz H., Kaufmann D.A. (1983) Cinematographical analysis of javelin throwing techniques of decathletes, *Brit J. Sports Med.*, 17 (3), 200-204.
9. Liu H., Leigh S., Yu B. (2010) Sequences of upper and lower extremity motions in javelin throwing, *J. Sports Sci.*, 28 (13), 1459-1467.
10. 前田 正登, 野村 治夫, 社本 英二, 森脇 俊道 (1997) ヤリの弾性を考慮に入れたやり投げの力学的解析, *体育学研究*, 42, 270-282.
11. 前田 正登, 野村 治夫, 柳田 泰義, 宮垣 盛男 (1996) 人間の動きを考慮に入れたヤリの最適投射条件, *デサントスポーツ科学*, 17, 270-277.
12. Mero A., Komi P. V., Korjus T., Navarro E., Gregor R. J. (1994) Body segment contributions to javelin throwing during final thrust phases. *J. Appl. Biomech.* 10, 166-177.
13. Morriss C., and Bartlett R. (1996) Biomechanical factors critical for performance in the men's javelin throw, *Sport Med*, 21 (6), 438-446.
14. Motoyama K., Urita Y., Kintaka H., Maeda A. (2013) Features of invulserse pendulum model using high-speed run-up in javelin throwing, *Chinese Journal of Sports Biomechanics*, 5 (2), 307-310.

15. 村上 雅俊 (2002) やり投げにおける三次元動作分析, 大阪体育大学紀要, 33, 128-129.
16. 村上 雅俊, 伊藤 章 (2003) やり投げのパフォーマンスと動作の関係, JJBSE, 7 (2), 92-100.
17. 佐藤 政之 (1979) 槍投げの効果的技術と実践, 北海道駒澤大學研究紀要, 13, 13-25.
18. 桜井伸二 (1991) 投げる科学, 大修館書店, 東京, 77-229.
19. Whiting W. C., Gregor R. J., Halushka M. (1991) Body segment and release parameter contributions to new-rules javelin throwing, Int. J. Sport Biomech., 7, 111-124.