

日本人やり投選手における個人内の記録差に影響するキネマティクス : 2名の選手を対象とした事例報告

牧野 瑞輝¹⁾ 山本 大輔²⁾ 加藤 忠彦³⁾ 前田 奎⁴⁾ 庄司 一眞⁵⁾ 瀧川 寛子⁶⁾
1) 国立スポーツ科学センター 2) 天理大学 3) 湘南工科大学 4) 京都先端科学大学
5) 中京大学 6) 中部学院大学

1. はじめに

やり投は、同一の試合において個人内の記録差が大きい種目である。こうした特徴から、やり投に関する研究では、個人内において記録の異なる試技間のキネマティクス変数を比較することで、その記録差に影響する要因が検討されてきた。この点について、女子選手を対象とした研究では、個人内で記録の優れた試技は劣った試技よりも最後の左足接地後における左膝の屈曲角速度が低かったことが報告されている(瀧川ら、2020)。その一方で、男子選手における個人内の記録差に影響する要因を検討したものは僅かであった。そこで、我々は本年度の活動において収集された男子選手20名のデータを分析した結果、個人内の記録差に影響する動作には統計的有意差が認められないことを確認している。この結果は、男子選手における個人内の記録差を生む要因は人によって異なることを示唆するものである。このことに基づくと、個人内の記録差を生む要因をより詳細に検討するためには、個人に焦点を当てたデータを蓄積し、個人内での成功あるいは失敗が生じる要因をいくつかのパターンに類型化していく必要があるだろう。今後この点に関する知見が整理されれば、やり投の試合における3回、あるいは6回という限られた試技数のなかで、選手のポテンシャルを最大限に活かすための示唆が得られるものと考えられる。

上記の足掛かりとして、本稿では2名の男子やり投選手における個人内の記録差に影響する要因を事例的に検討することとした。

2. 方法

2.1. データ収集および処理

対象は、2024年度における科学委員会投てき班の活動対象とした試合(セイコーゴールデングランプリ陸上東京2024および第108回日本陸上競技選手権大会)に出場した、ディーン元気選手および新井涼平選手の2名であった。そのなかでも、我々は各選手の記録の最も優れた試技(以下、「成功試技」と略す)と劣った試技(以下、「失敗試技」と略す)とを分析した。なお、ファールの試技は分析対象外とした。試合における投てき動作は、助走路の右側方および後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ(FDR-AX55, SONY)を用いて、サンプリング周波数120Hz、シャッタースピード1/1000秒で撮影した。撮影範囲は、スターティングラインを基準に、後方に8m、横幅4m、高さ2.8mとした。競技開始に先立ち、撮影範囲内の9か所にキャリブレーションポールを立てて、カメラで撮影した。本稿では撮影範囲のうち、投てき方向をY軸、鉛直方向をZ軸、投てき方向に対して右方向をX軸とする静止座標系を定義した。なお、本研究で用いた映像は、国立スポーツ科学センタースポーツ医・科学事業において収集された。

撮影した映像から、身体特徴点23点およびやり2点を動作解析システム(Frame-DIAS IV, Q'sfix)を用いて、120Hzでデジタル化した。2台のカメラで撮影された映像の時系列は、やりのリリース時を基準として同期した。デジタル化された分析点の静止座標系内における座標値は、3次元DLT法によって算出した。得られた3次元座標値は、残差分析によって決定した最適遮断周波数(6~8.4Hz)のButterworth low-pass digital filterによって平滑化した。分析範囲は、最後の右足接地時からやり

表 1 ディーン選手および新井選手におけるリリースパラメータ

		ディーン元気		新井涼平	
		成功試技	失敗試技	成功試技	失敗試技
記録		81.38	77.39	80.78	72.52
リリース速度					
合成	[m/s]	27.5	26.9	27.6	27.2
右方向	[m/s]	1.0	2.5	2.8	2.4
前方向	[m/s]	23.6	22.3	23.3	23.6
上方向	[m/s]	14.0	14.7	14.4	13.4
投射角					
矢状面	[deg]	30.7	33.4	31.7	29.7
水平面	[deg]	-2.4	-6.4	-6.9	-5.8
姿勢角					
矢状面	[deg]	31.1	33.8	38.8	39.2
水平面	[deg]	-12.1	-16.1	-14.8	-15.2
迎え角					
矢状面	[deg]	0.4	0.3	7.1	9.5
水平面	[deg]	-9.7	-9.7	-7.9	-9.4
投射高	[m]	1.73	1.80	1.64	1.64

表 2 ディーン選手および新井選手における基礎的パラメータ

		ディーン元気		新井涼平	
		成功試技	失敗試技	成功試技	失敗試技
記録		81.38	77.39	80.78	72.52
身体重心速度					
R-on	[m/s]	6.5	6.5	7.5	7.7
L-on	[m/s]	5.4	5.6	6.8	7.1
Rel	[m/s]	2.7	3.0	3.9	4.2
局面時間					
準備局面	[s]	0.233	0.217	0.200	0.200
投局面	[s]	0.100	0.117	0.100	0.108
加速距離	[m]	1.77	1.88	1.74	1.91
歩幅					
前後	[m]	1.88	1.80	2.10	2.09
左右	[m]	0.42	0.42	0.49	0.55

のリリース時までとし、一連の投てき動作のうち、最後の右足接地時を R-on、左足接地時を L-on、やりのリリース時を Rel とし、R-on から L-on を準備局面、L-on から Rel までを投局面と定義した。また、算出された時系列データは、準備局面を 0-60%、投局面を 60-100% に規格化した。

2.2. 算出項目

リリースパラメータおよび基礎的パラメータは、以前の資料（牧野ら、2023）と同様の方法で算出した。上記に加えて、本稿ではやり投パフォーマンスの主な決定因子であるやりの速度がどの部位によって獲得されているのかを検討するために、以下の式によって、やり速度に対する身体各部位の貢献を評価した。

$$V_{javelin} = V_{hip} + V_{shoulder/hip} + V_{javelin/shoulder}$$

ここで、 $V_{javelin}$ はやりの速度、 V_{hip} は左右の股関節中心の速度、 $V_{shoulder/hip}$ は左右の股関節中心に対する右肩の速度、 $V_{javelin/shoulder}$ は右肩に対するやりのグリップの速度を意味している。このことから、 V_{hip} 、 $V_{shoulder/hip}$ 、 $V_{javelin/shoulder}$ はそれぞれ、下肢、体幹、上肢が獲得したやり速度である。なお、やり投では前および上方向の速度が記録と強く関係するため（瀧川と田内、2020）、ここでは前および上方向のやり速度に対する下肢、体幹、上肢の貢献を算出した。また、身体各部位が獲得したやり速度が、具体的にどのような動作によって獲得されたのかを評価するために、身体の部分および関節の角度を適宜算出した。

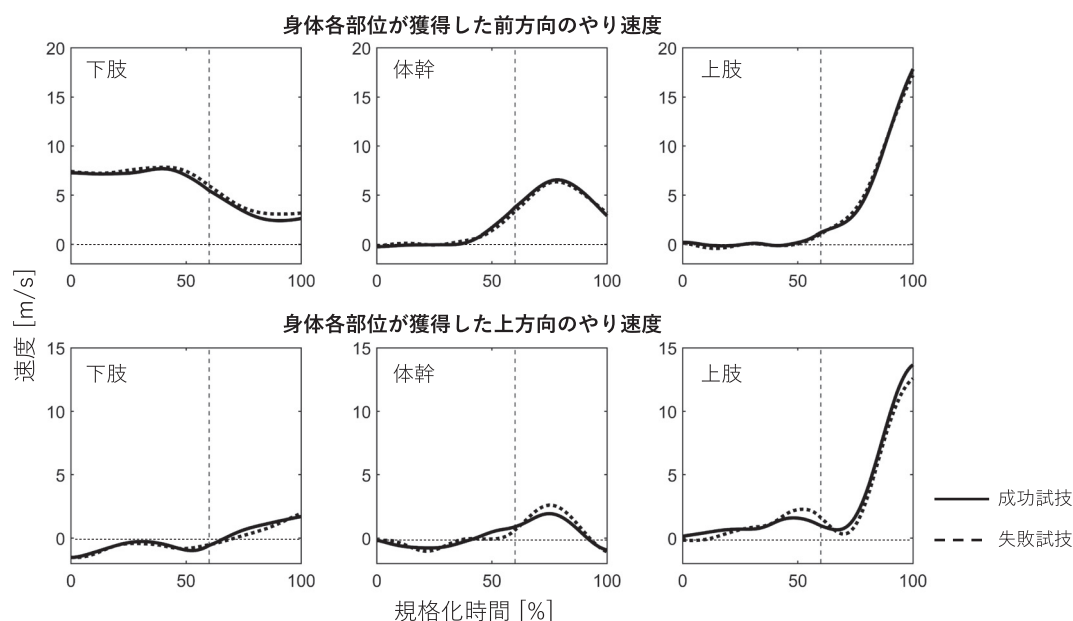


図1 ディーン選手における前および上方向のやり速度に対する身体各部位の貢献

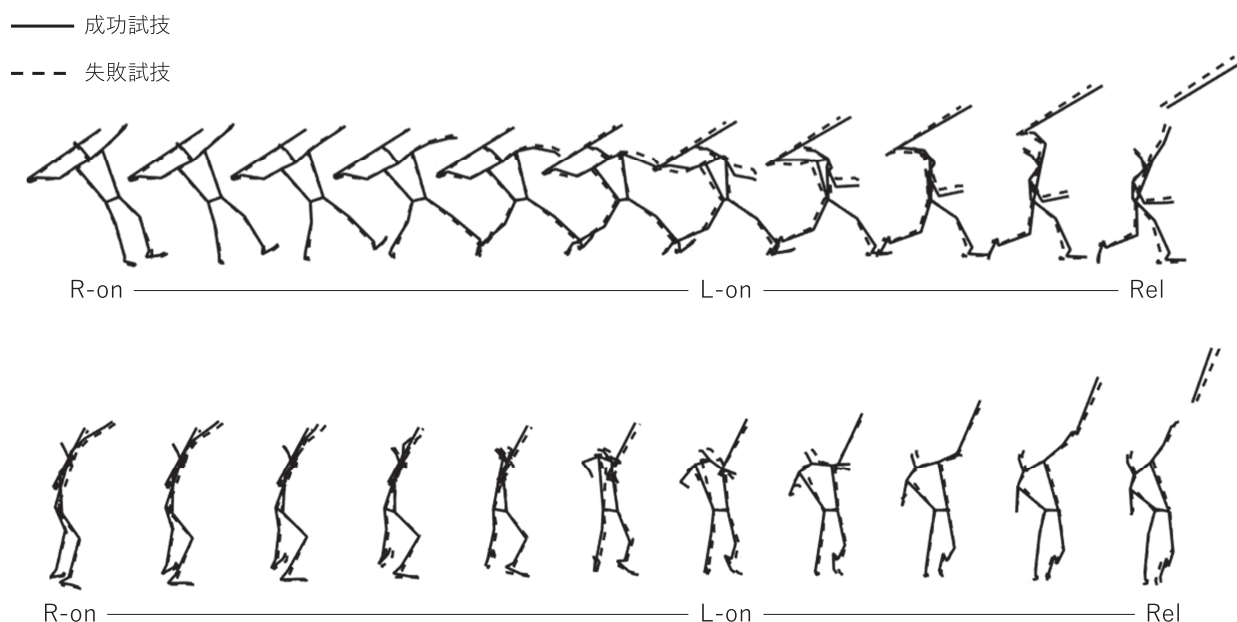


図2 ディーン選手におけるスティックピクチャ

3. 結果および考察

表1は、各選手の成功試技と失敗試技におけるリリースパラメータを示したものである。これらのパラメータのうち、合成のリリース速度は2名の選手に共通して成功試技の方が失敗試技よりも高かった。やり投に関する研究では、パフォーマンスの優れた選手ほど合成のリリース速度が高いことが明らかにされており (Pavlović, 2020)、本稿の結果はこれまでの報告と一致するものであった。また、合成のリリース速度を構成する3方向の速度のうち、前および上方向のリリース速度は記録と強い正の相関関係にある (瀧川と田内、2020)。そこで、本稿

の対象者2名における前および上方向のリリース速度に着目し、成功試技と失敗試技との差を確認した。その結果、ディーン選手では前方向、新井選手では上方向のリリース速度が成功試技において失敗試技よりも高かった。そこで以降では、本稿で対象とした2名の選手における個人内のリリース速度の変化と関係する動作を個々に議論することとした。

3.1. ディーン元気選手

ディーン選手の成功試技では、前方向のリリース速度が失敗試技よりも高かった。この結果に対して、前方向のやり速度がどの局面のどの部位の動作によって高められていたのかを図1から確認したと

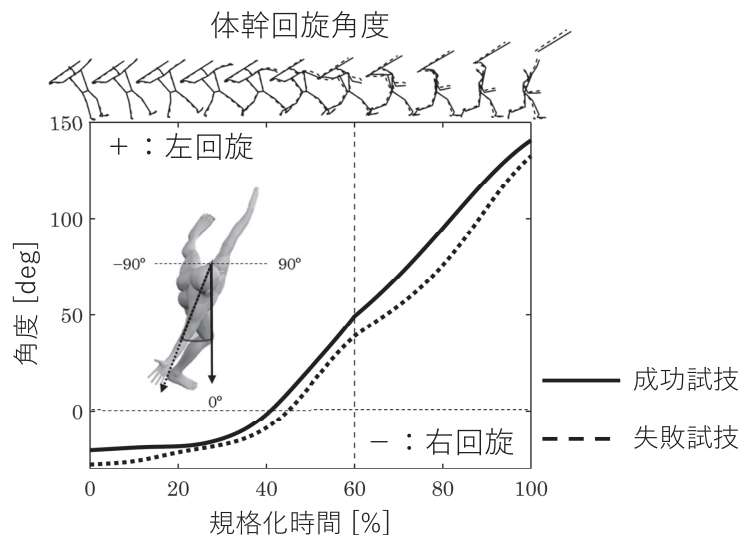


図3 ディーン選手における体幹回旋角度

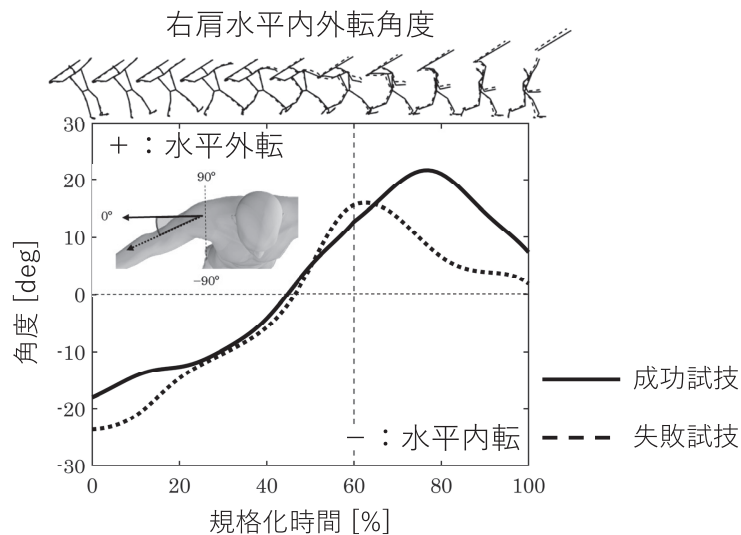


図4 ディーン選手における右肩水平内外転角度

ころ、成功試技では失敗試技よりも、L-on 付近における体幹、および Rel 前の上肢によって獲得される前方向のやり速度が高かった。また、図2に示したディーン選手におけるスティックピクチャを見ると、成功試技では失敗試技よりも L-on 付近において体幹が左回旋位、および Rel 前において上肢がより前方に引き出されていることが確認できた。

これらの動作をデータから確認するために、まずディーン選手における体幹の回旋角度（図3）をみると、規格化時間 30% 付近から Rel にかけて、成功試技の方が失敗試技よりも体幹が左回旋位であることが確認できた。このことから、ディーン選手の成功試技では、早い段階から体幹を左回旋させたことが、L-on 付近における体幹によって獲得されるやりの前方速度を高めたものと考えられる。しかしながら、やり投における指導現場では、L-on よりも前から体幹が大きく左回旋することは良く

ない動作として考えられている。この理由としては、L-on より前から体幹が過度に左回旋する動作が、上肢を早い段階で投てき方向に引き出す動作となり、L-on 後にやりを加速させる距離を短くしてしまう点にあると推察される。その一方で、やり投における国際大会上位入賞選手では下位入賞選手よりも体幹の左回旋角度が大きかったという報告もある（田内ら、2010）。この先行研究では、体幹が左に大きく回旋していたとしても、上肢が前方に引き出されない動作を行っていたとすれば、早い段階での体幹の左回旋は必ずしも高い初速度の獲得に不利に働かないことが指摘されている。そこで、ディーン選手における右肩の水平外転角度を図4によって確認したところ、成功試技では失敗試技よりも投てき局面における右肩の水平外転角度が大きかった。このことは、成功試技では失敗試技よりも左右の肩を結ぶラインに対して上肢が後方に取り残されてい

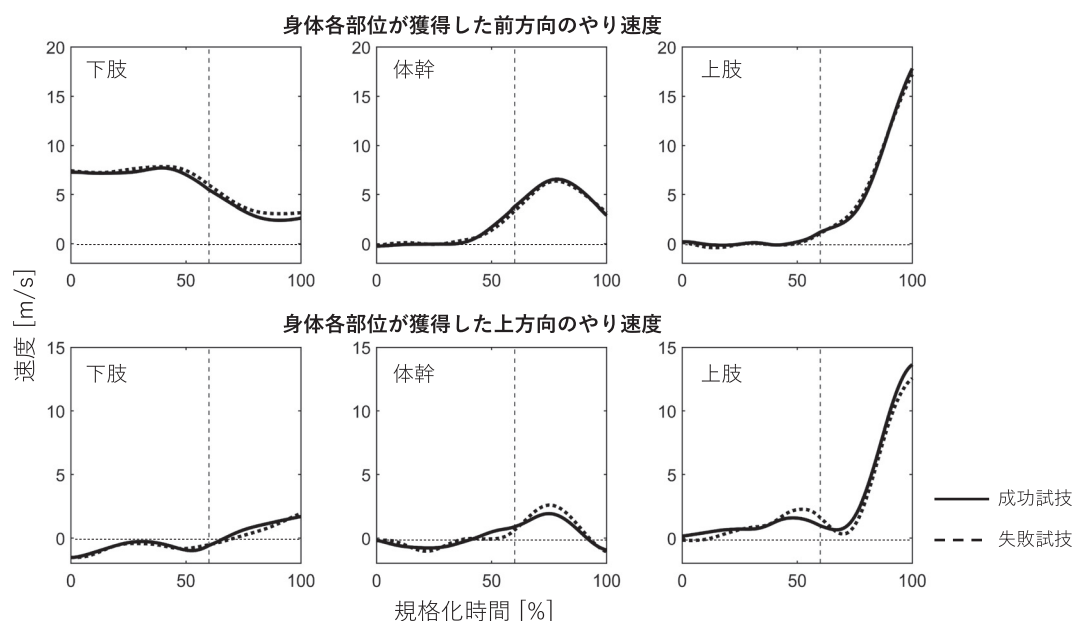


図5 新井選手における前および上方向のやり速度に対する身体各部位の貢献

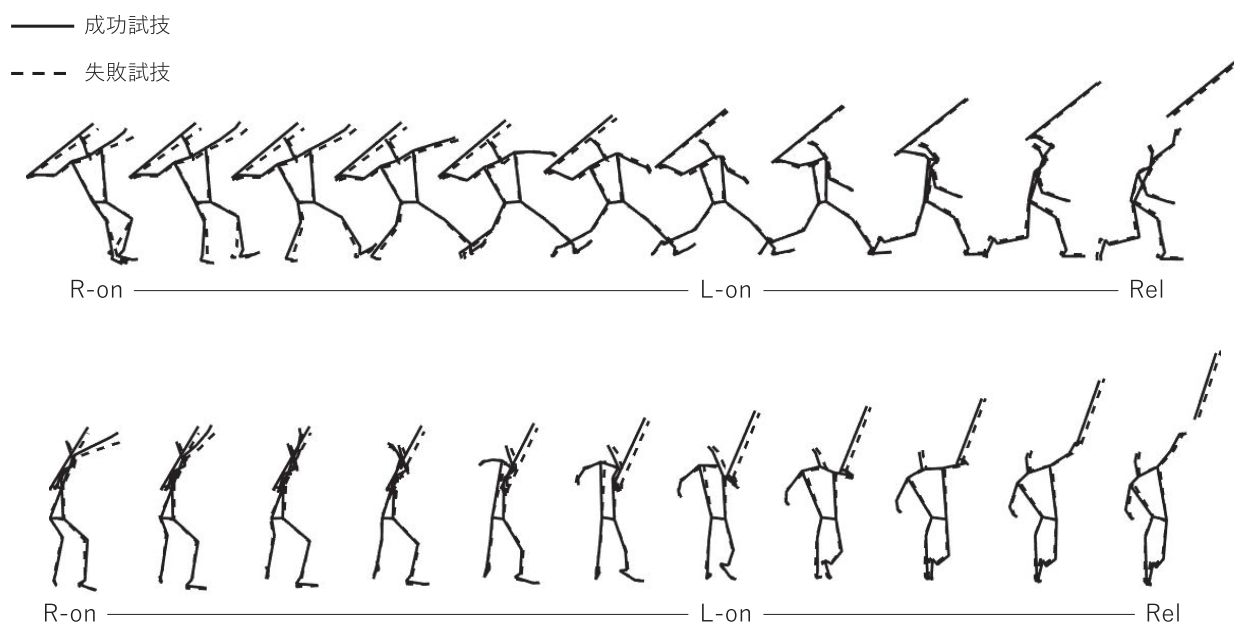


図6 新井選手におけるスティックピクチャ

たことを意味している。やり投に関する先行研究では、記録の優れた選手ほど肩関節の水平外転や外旋などの角度が大きいことが報告されており、これらの関節運動は、肩周りの筋群における伸長—短縮サイクルの効果的な利用に関与している可能性が指摘されている (Makino and Tauchi, 2022; 瀧川ら, 2020)。すなわち、ディーン選手では右肩の水平外転角度を大きくした姿勢をとることにより、肩回りの筋群の出力を高め、その状態からやりを前方に加速させたことが、上肢の貢献を高める結果に繋がったものと考えられる。

これらのことから、ディーン選手の成功試技では失敗試技よりも、体幹を早い段階で左回旋させなが

ら肩の水平外転角度を大きくし、その姿勢から腕振り動作を行うことで、体幹および上肢が獲得する前方向のやり速度を高められたことがパフォーマンスの差を生むことになったと考えられる。

3.2. 新井涼平選手

新井選手の成功試技では、上方向のリリース速度が失敗試技よりも高かった。この結果に対して、身体各部位が獲得した上方向のやり速度を図5から確認したところ、成功試技では失敗試技よりも投局面における上肢の獲得した上方向のやり速度が高かった。また、新井選手におけるスティックピクチャをみると、成功試技では失敗試技よりもRel前に

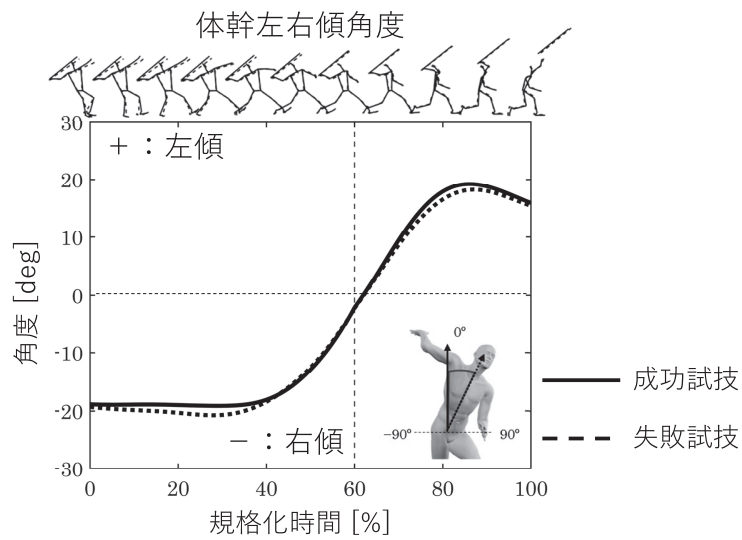


図7 新井選手における体幹左右傾角度



図8 体幹の左傾角度と上方向のやり速度の関係に関する模式図

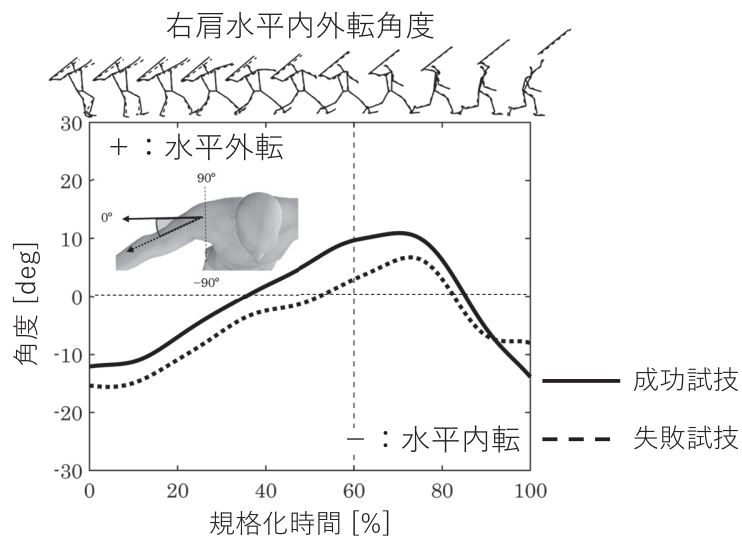


図9 新井選手における右肩水平内外転角度

において体幹が左傾位であることが確認できた（図6）。

そこで、新井選手における体幹の左傾角度（図7）を見てみると、投局面の後半では成功試技が失敗試技よりも左傾角度が大きかった。Makino and Tauchi（2022）は、上方向のリリース速度が高い選手ほど投局面における体幹の左傾角度が大きいことを報告している。体幹の左傾角度が上方向のリリース速度と関係する理由は、体幹を左に傾けることによって、肩の関節運動（主に水平内転）によって獲得されるやりの速度ベクトルをより上方向に向けられるためであろう（図8）。従って、新井選手の成功試技では、体幹の左傾角度が大きかったことが、上肢によって獲得されるやりの上方向の速度を高め、最終的な上方向のリリース速度も高めた可能性がある。

そのほかにも、新井選手の成功試技では失敗試技よりも右肩の水平外転角度が大きかった（図9）。体幹が大きく左傾した状態から肩の水平外転角度が大きくなることは、やりをより下方に位置付ける姿勢となる。この姿勢から肩を水平内転させることは、やりをより長い距離に渡って上方向に加速させる動作となることが推察される。つまり、新井選手の成功試技では失敗試技よりも体幹の左傾および肩の水平外転角度を大きくした姿勢からやりを加速させたことが、やりをより上方向に加速させられる動作となり、パフォーマンスに違いを生じさせたものと考えられる。

その一方で、村上と伊藤（2003）は、記録の優れた選手ほど、Re1 時における体幹の右傾角速度が高いことを報告している。このことから、上方向のリリース速度の獲得を意図して体幹の左傾動作を強調した場合、過度に体幹が左傾したことに伴って Re1 付近の体幹の右傾角速度が高まらない可能性がある。そのため、体幹の左傾角度に限った話ではないが、指導現場において動作の変化を意図した介入を行う場合には、それによって生じる副次的な影響についても十分に考慮されるべきであろう。

4. まとめ

本稿では、男子やり投選手における個人内の記録差を生む要因を事例的に検討するために、ディーン元気選手および新井涼平選手の個人内における成功試技と失敗試技との比較を行った。その結果、個人内での記録差を生む要因として、前方向のリリース速度が挙げられたディーン選手、および上方向のリ

リース速度が挙げられた新井選手では、成功試技と失敗試技との間で異なる動作の違いが認められた。

文献

- Makino, M. and Tauchi, K. (2022) Kinematic factors related to forward and vertical release velocity in male javelin throwers, *International Journal of Sport and Health Science*, 20: 249-259.
- 牧野瑞輝・山本大輔・前田奎・瀧川寛子（2023）男子やり投げにおける同一試合内での記録に差が生じた要因：崎山雄太選手における 83.54m と 77.36m の比較．*陸上競技研究紀要*，19: 137-141.
- 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，*バイオメカニクス研究*，7(2): 92-100.
- Pavlović, R. (2020) Biomechanical analysis in athletics: the influence of kinematic parameters on the results of javelin throw of elite athletes. *The Swedish Journal of Scientific Research*, 7(3): 1-11.
- 瀧川寛子・堀内元・田内健二（2020）女子やり投げ競技者における成功試技と失敗試技とが生じる動作要因の検討．*体育学研究*，65: 143-152.
- 瀧川寛子・田内健二（2020）やり投げの投てき記録に影響を及ぼす動作要因における男女差の検討，*体育学研究*，65: 595-606.
- 田内健二・村上雅俊・遠藤俊典・竹迫寿・五味宏生・藤井範久（2010）世界一流やり投の投てき技術，*世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術*，176-187.