

## 2024 年日本陸上競技選手権大会における 男子三段跳上位入賞者のキネマティクスの特徴

柴田 篤志<sup>1)</sup> 景行 崇文<sup>2)</sup> 杉浦 澄美<sup>3)</sup> 小山 宏之<sup>4)</sup>

1) 新潟医療福祉大学 2) 国立スポーツ科学センター 3) 筑波大学 4) 京都教育大学

### 1. はじめに

男子三段跳の現在の日本記録は 1986 年に樹立された 17.15 m であり 30 年以上更新されておらず、フィールド種目としては最古の日本記録となっている。また、2024 年に開催されたパリ五輪、2025 年に開催される東京 2025 世界陸上競技選手権大会においても参加標準記録は 17.22 m に設定されている。一方で、2024 年パリ五輪における出場者の自己最高記録が 18.18 m – 16.85 m の範囲であったことや決勝進出ラインが 16.79 m であったことから、日本人競技者も日本記録と同程度の 17 m 近いパフォーマンスを安定して発揮することができれば世界大会への出場および決勝進出の可能性があるといえる。

三段跳は助走からの連続したホップ、ステップ、ジャンプそれぞれの跳躍の合計距離を競う種目である。国内の男子三段跳競技者を対象とした研究では、助走スピードについての報告が多く（小山ほか、2006；小山ほか、2007）、U20 競技者を対象とした各歩の跳躍距離の報告がわずかにあるのみである（小山ほか、2017）。一方で、国内の女子三段跳競技者を対象とした研究では、女子三段跳競技者が 14 m 以上の記録を目指すために必要な各歩の跳躍距離や助走の最高スピードの目標値の提案（柴田ほか、2019）、ホップからジャンプにかけての各歩における跳躍動作についての検討などが行われている（築野ほか、2011；築野ほか、2012）。また、女子三段跳では 2023 年度に日本記録が 24 年ぶりに更新され、日本記録を更新した競技者の助走スピードおよび各歩の跳躍距離の変化も報告されている（柴田ほか、2024）。

世界の一流競技者のキネマティクスの特徴については、世界選手権出場者の各歩の跳躍における特徴が報告されている（Tucker et al., 2018）。このこ

とから、国内における男子三段跳の競技力向上のためには、現在の日本人男子三段跳競技者の跳躍の特徴を、安定して 17m 以上の跳躍を行う世界一流競技者との比較から明らかにすることが重要になると考えられる。

そこで、本報告では 2024 年日本陸上競技選手権大会において男子三段跳で上位に入賞した競技者の各歩の踏切におけるキネマティクスの特徴を世界選手権入賞レベルの競技者との比較から明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

#### 2. 1. 対象者および分析試技

本研究の対象者は 2024 年日本陸上競技選手権大会の男子三段跳で 6 位までに入賞した競技者であり、各対象者の最も記録の良い試技を分析試技とした。

#### 2. 2. データ収集

全ての分析試技を競技場の観客席上段に設置した 2 台のハイスピードカメラ（LUMIX DC-GH6, Panasonic 社製）を用いて 240fps で固定撮影した。撮影範囲はホップの踏切 1 歩前から砂場の助走路側の端までとし、ホップからジャンプまでの跳躍動作を助走路前方および助走路後方から撮影した。競技会の試技撮影前にキャリブレーションポールを撮影範囲内の計測地点に順に立てて撮影した。なお、この撮影は日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われたものであり、競技会主催者に撮影許可を得た上でデータ収集を行った。

#### 2. 3. データ処理

分析試技のホップ、ステップ、ジャンプそれぞれの踏切接地（Touch down; TD）の 15 コマ前から踏

切離地 (Toe-off; T0) の 10 コマ後までの身体分析点 23 点をビデオ動作分析システム (Frame-DIAS V, Q'sfix 社製) を用いてデジタイズした。なお, 2 台のカメラの同期には各歩の踏切接地コマを用いた。そして, 2 台のカメラから得られた身体分析点とコントロールポイントの座標から, 3 次元 DLT 法を用いて身体分析点の 3 次元座標を得た。3 次元座標は進行方向右向きを x 軸, 進行方向を y 軸, 鉛直方向を z 軸とした。身体分析点の座標は Wells and Winter (1980) の方法を用いて分析点ごとに最適遮断数周波数を決定し, 4 次の Butterworth low-pass digital filter を用いて 3.6–6.0 Hz で平滑化した。

## 2.4. 算出項目

### 2.4.1. 跳躍距離に関する変数

各跳躍における支持脚つま先の座標値を用いて, 柴田ほか (2019) を参考に跳躍距離に関連する以下の項目を算出した。

#### (1) 踏切損失距離

ファールラインからホップにおける支持脚つま先までの y 軸方向の距離を踏切損失距離とした。

#### (2) 実測距離

公式記録に踏切損失距離を加算した距離を実測距離とした。

#### (3) 各歩 (ホップ・ステップ・ジャンプ) の跳躍距離

ホップおよびステップの跳躍距離は各歩における支持脚つま先間の y 軸方向の距離とし, ジャンプ距離は実測距離からホップおよびステップの跳躍距離を減算した距離とした。

#### (4) ホップ・ステップ距離

ホップ・ステップ距離はホップにおける支持脚つま先からジャンプにおける支持脚つま先間の y 軸方向の距離とした。

#### (5) 各歩の跳躍比

実測距離に対する各歩の跳躍距離の割合を各歩の跳躍比とした。

#### (6) ホップ・ステップ比

ホップの跳躍距離に対するステップの跳躍距離の割合をホップ・ステップ比とした。

### 2.4.2. キネマティクス変数

身体分析点の 3 次元座標から, 阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて身体重心座標を算出した。身体分析点の座標値および身体重心の座標値を用いて以下の項目を算出した。

#### (7) 身体重心速度

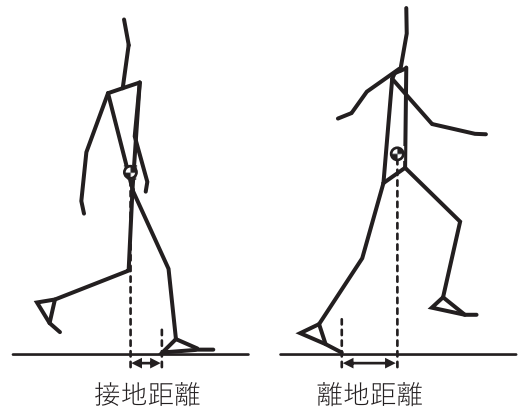


図 1 接地距離および離地距離

身体重心の座標値を時間微分することで身体重心の水平および鉛直速度を算出した。各跳躍における TD と T0 の身体重心速度の差を身体重心速度の変化量とした。

#### (8) 跳躍角度

各歩の T0 における身体重心速度ベクトルが水平面となす角度を跳躍角度とした。

#### (9) 踏切時間

各歩における支持期の時間を踏切時間とした。

#### (10) 接地距離および離地距離

各歩の TD における身体重心と支持足の踵の水平距離を接地距離, T0 における身体重心と支持足のつま先の水平距離を離地距離とした (図 1)。

## 3. 結果および考察

### 3.1 各歩の跳躍距離と跳躍比

表 1 は各対象者の公式記録および実測距離, 各歩の跳躍距離およびホップ・ステップ距離を示したものである。表 2 は各対象者の各歩の跳躍比とホップ・ステップ比を示したものである。

ホップの跳躍距離をみると全ての競技者が 6.0 m を超えており, 小田選手のホップ距離が 6.45 m と最も大きかった。世界選手権入賞者の平均値が 6.03 ± 0.17 m であったことから, 本報告における日本人選手はホップ距離が大きい傾向にあったといえる。

一方で, ステップ距離をみると安立選手のステップ距離は 5.14 m と世界選手権入賞者と比較しても同程度の距離であったが, その他の選手のステップ距離は 4.0 m 台にとどまっており, より大きなステップ距離を獲得することも 17 m 台の跳躍に近づくためには課題になるといえるであろう。さらに, ホップとステップの合計であるステップまでの距離をみると安立選手のステップまでの距離は 11.49 m

表 1 公式記録, 実測距離および各歩の跳躍距離

| 競技者       | 公式記録<br>(m)  | 踏切ロス<br>(m) | 実測距離<br>(m)  | 各歩の距離 (m)   |             |             | ステップ<br>までの距離(m) |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
|           |              |             |              | ホップ         | ステップ        | ジャンプ        |                  |
| 安立 選手     | 16.70 +0.4   | 0.10        | 16.80        | 6.35        | 5.14        | 5.32        | 11.49            |
| 山下 選手     | 16.26 +0.6   | 0.15        | 16.41        | 6.10        | 4.95        | 5.36        | 11.05            |
| 水野 選手     | 16.11 +0.4   | 0.12        | 16.23        | 6.30        | 4.79        | 5.14        | 11.09            |
| 小田 選手     | 16.11 +0.5   | 0.13        | 16.24        | 6.45        | 4.15        | 5.65        | 10.59            |
| 荒木 選手     | 15.96 +0.4   | 0.13        | 16.09        | 6.06        | 4.29        | 5.74        | 10.35            |
| 伊藤 選手     | 15.90 +0.7   | 0.19        | 16.09        | 6.17        | 4.85        | 5.07        | 11.02            |
| Mean ± SD | 16.17 ± 0.26 | 0.14 ± 0.03 | 16.31 ± 0.25 | 6.24 ± 0.14 | 4.69 ± 0.36 | 5.38 ± 0.24 | 10.93 ± 0.37     |
| 2017 WCH  | 17.24 ± 0.27 | 0.06 ± 0.05 | 17.30 ± 0.28 | 6.03 ± 0.17 | 5.19 ± 0.22 | 6.08 ± 0.18 | 11.22 ± 0.21     |

表 2 各歩の跳躍比とホップ・ステップ比

| 競技者       | 跳躍比率 (%)   |            |            | ホップ・<br>ステップ比 (%) |
|-----------|------------|------------|------------|-------------------|
|           | ホップ        | ステップ       | ジャンプ       |                   |
| 安立 選手     | 37.8       | 30.6       | 31.6       | 80.9              |
| 山下 選手     | 37.2       | 30.2       | 32.6       | 81.2              |
| 水野 選手     | 38.8       | 29.5       | 31.7       | 76.1              |
| 小田 選手     | 39.7       | 25.5       | 34.8       | 64.3              |
| 荒木 選手     | 37.7       | 26.7       | 35.7       | 70.8              |
| 伊藤 選手     | 38.3       | 30.1       | 31.5       | 78.6              |
| Mean ± SD | 38.3 ± 0.8 | 28.8 ± 1.9 | 33.0 ± 1.6 | 75.3 ± 6.0        |
| 2017 WCH  | 34.9 ± 1.1 | 30.0 ± 0.9 | 35.2 ± 0.8 | 86.1 ± 5.1        |

と世界選手権入賞の平均値である  $11.22 \pm 0.21$  m を上回っており、ステップまでの距離としてはすでに 17 m を超える水準にあると考えられる。さらに、山下選手、水野選手および伊藤選手もステップまでの距離が 11.0 m を超えていることから、ステップまでの跳躍距離では 17 m 近くの跳躍ができるような距離を獲得できていたと考えられる。

ジャンプ距離をみると小田選手および荒木選手が 5.5 m を超えていた。一方で、世界選手権入賞者の平均値は 6.0 m を超えていたことから、日本人選手全体の傾向としてジャンプ距離は小さいと考えられる。また、日本人選手の中ではジャンプ距離が大きかった小田選手、荒木選手はステップ距離が他の日本人選手と比較して小さい傾向がみられ、その結果としてステップまでの距離が他の選手と比較して小さかった。このことから、ジャンプ距離のさらなる獲得を目指す必要はあるものの、そのためにス

テップ距離を抑えるという戦略は合計の跳躍距離向上のためには最適ではない可能性がある。

各跳躍の比率をみると全ての日本人選手のホップ比率が 37 % を超えており、Hay (1992) の分類をもとにすると全選手がホップ型に該当した。これに対して、世界選手権入賞者はホップとジャンプの比率が同程度でありバランス型の跳躍を行っていた。日本人選手は世界選手権入賞者と比較すると、ホップの比率が平均で 3.4 % 大きく、ジャンプの比率が 2.2 % 小さかった。また、ホップ距離に対するステップ距離の比率であるホップ・ステップ比も日本人選手で小さい傾向がみられた。これらのことから、日本人選手が 17 m 台の跳躍を目指していくためには、ホップ距離をわずかに抑えつつステップ距離を大きくすることを目指すことが有効である可能性がある。日本記録を更新した女子競技者の事例では、助走スピードが向上したことでホップの距離を同程度

表3 各歩における身体重心の水平速度と変化量

| 競技者       | 水平速度 (m/s)  |             |              |             |             |              |             |             |              |
|-----------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
|           | ホップ         |             |              | ステップ        |             |              | ジャンプ        |             |              |
|           | TD          | TO          | Δ TD-TO      | TD          | TO          | Δ TD-TO      | TD          | TO          | Δ TD-TO      |
| 安立 選手     | 10.11       | 9.25        | -0.86        | 8.96        | 8.03        | -0.93        | 7.85        | 6.54        | -1.31        |
| 山下 選手     | 9.78        | 8.97        | -0.81        | 8.73        | 7.94        | -0.80        | 7.75        | 6.53        | -1.22        |
| 水野 選手     | 9.89        | 8.99        | -0.90        | 8.68        | 8.04        | -0.64        | 7.78        | 6.29        | -1.49        |
| 小田 選手     | 9.73        | 8.74        | -0.98        | 8.48        | 7.96        | -0.52        | 7.96        | 6.67        | -1.30        |
| 荒木 選手     | 10.00       | 9.41        | -0.59        | 8.98        | 8.62        | -0.36        | 8.48        | 7.55        | -0.93        |
| 伊藤 選手     | 10.01       | 9.47        | -0.54        | 9.07        | 8.15        | -0.93        | 7.66        | 6.94        | -0.72        |
| Mean ± SD | 9.92 ± 0.14 | 9.14 ± 0.26 | -0.78 ± 0.16 | 8.82 ± 0.20 | 8.12 ± 0.23 | -0.70 ± 0.21 | 7.91 ± 0.27 | 6.75 ± 0.41 | -1.16 ± 0.26 |
| 2017 WCH  |             | 9.28 ± 0.35 |              |             | 8.16 ± 0.37 |              |             | 6.73 ± 0.48 |              |

表4 各歩における身体重心の鉛直速度

| 競技者       | 鉛直速度 (m/s)   |             |              |             |              |             |
|-----------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|           | ホップ          |             | ステップ         |             | ジャンプ         |             |
|           | TD           | TO          | TD           | TO          | TD           | TO          |
| 安立 選手     | -0.14        | 2.92        | -2.52        | 2.42        | -1.84        | 2.64        |
| 山下 選手     | -0.84        | 2.87        | -2.30        | 2.35        | -2.13        | 2.63        |
| 水野 選手     | -0.61        | 3.02        | -2.56        | 2.33        | -1.61        | 3.11        |
| 小田 選手     | -0.20        | 3.21        | -2.38        | 1.97        | -1.57        | 2.87        |
| 荒木 選手     | -0.25        | 2.61        | -2.15        | 1.89        | -1.58        | 2.30        |
| 伊藤 選手     | -0.52        | 2.70        | -2.38        | 2.38        | -1.98        | 2.14        |
| Mean ± SD | -0.42 ± 0.25 | 2.88 ± 0.20 | -2.38 ± 0.14 | 2.22 ± 0.21 | -1.79 ± 0.22 | 2.61 ± 0.32 |
| 2017 WCH  |              | 2.95 ± 0.19 |              | 2.37 ± 0.32 |              | 2.92 ± 0.35 |

にとどめつつもジャンプ距離を向上させることができたことが報告されている（柴田ほか, 2024）。ジャンプ距離の獲得とジャンプの跳躍比の改善は本報告の全ての対象者の課題である可能性が高いことから、助走スピードや各歩における重心速度について検討することで日本人選手の課題をより詳細に明らかにできると考えられる。

### 3.2. 各歩における身体重心速度に関する変数および接地時間

表3および表4は各対象者の各歩におけるTDおよびTOにおける身体重心の水平速度および鉛直速度とその変化量を示したものである。また、表5は各歩における跳躍角度と接地時間を、表6は各歩における接地距離および離地距離を示したものであ

る。

各歩における身体重心の水平速度をみるとホップのTDでは安立選手、荒木選手および伊藤選手が10.0 m/sを超えており、この2選手がステップのTDにおいても他の選手と比較して水平速度が大きい傾向がみられた。ジャンプのTDでは荒木選手が8.48 m/sと大きな水平速度を維持しており、ジャンプのTOにおいても他の選手と比較して水平速度が大きかった。各歩のTOにおける水平速度は日本人選手と世界選手権入賞者とを比較しても大きな差はなく、ホップでは日本人選手がやや小さいものの、ジャンプでは日本人選手がわずかに大きかった。すなわち、17 m以上の跳躍を行っていた世界選手権入賞者とのステップおよびジャンプでの跳躍距離の差はTOにおける身体重心の鉛直速度による影響が

表 5 各歩における跳躍角度と接地時間

| 競技者           | 跳躍角度 (deg)     |                |                | 接地時間 (sec)        |                   |                   |
|---------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|               | ホップ            | ステップ           | ジャンプ           | ホップ               | ステップ              | ジャンプ              |
| 安立 選手         | 17.5           | 16.8           | 22.0           | 0.100             | 0.133             | 0.150             |
| 山下 選手         | 17.7           | 16.5           | 21.9           | 0.125             | 0.133             | 0.167             |
| 水野 選手         | 18.5           | 16.2           | 26.3           | 0.117             | 0.133             | 0.150             |
| 小田 選手         | 20.1           | 13.9           | 23.3           | 0.108             | 0.125             | 0.142             |
| 荒木 選手         | 15.5           | 12.3           | 16.9           | 0.108             | 0.133             | 0.158             |
| 伊藤 選手         | 15.9           | 16.3           | 17.1           | 0.117             | 0.150             | 0.167             |
| Mean $\pm$ SD | 17.5 $\pm$ 1.6 | 15.3 $\pm$ 1.6 | 21.3 $\pm$ 3.3 | 0.112 $\pm$ 0.008 | 0.135 $\pm$ 0.007 | 0.156 $\pm$ 0.009 |
| 2017 WCH      | 17.7 $\pm$ 1.5 | 16.2 $\pm$ 1.9 | 23.5 $\pm$ 3.1 | 0.121 $\pm$ 0.007 | 0.152 $\pm$ 0.013 | 0.176 $\pm$ 0.012 |

表 6 各歩における接地距離および離地距離

| 競技者           | 接地距離 (m)        |                 |                 | 離地距離 (m)        |                 |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|               | ホップ             | ステップ            | ジャンプ            | ホップ             | ステップ            | ジャンプ            |
| 安立 選手         | 0.32            | 0.38            | 0.40            | 0.37            | 0.46            | 0.39            |
| 山下 選手         | 0.36            | 0.31            | 0.38            | 0.47            | 0.52            | 0.48            |
| 水野 選手         | 0.36            | 0.28            | 0.37            | 0.44            | 0.52            | 0.37            |
| 小田 選手         | 0.33            | 0.21            | 0.30            | 0.35            | 0.51            | 0.44            |
| 荒木 選手         | 0.34            | 0.31            | 0.37            | 0.40            | 0.54            | 0.53            |
| 伊藤 選手         | 0.39            | 0.44            | 0.38            | 0.48            | 0.55            | 0.54            |
| Mean $\pm$ SD | 0.35 $\pm$ 0.02 | 0.32 $\pm$ 0.07 | 0.37 $\pm$ 0.03 | 0.42 $\pm$ 0.05 | 0.52 $\pm$ 0.03 | 0.46 $\pm$ 0.07 |

大きかったと考えられる。

各歩における身体重心の鉛直速度をみると、ホップでは TD における水平速度が大きかった荒木選手と伊藤選手の T0 における鉛直速度が他の選手と比較して小さい傾向がみられた。また、ホップの TD における水平速度が最も小さかった小田選手の鉛直速度が 3.21 m/s と他の選手と比較して大きかった。ステップの T0 では小田選手と荒木選手の鉛直速度が 2.0 m/s 以下と小さく、この 2 選手は先述したようにステップ距離が小さくジャンプ距離が大きいことが特徴であった。ジャンプの T0 では水野選手の鉛直速度が 3.11 m/s と最も大きく、伊藤選手が 2.14 m/s と最も小さな値であった。この 2 選手は他の日本人選手と比較してジャンプ距離が小さかった対象者であり、水野選手はジャンプで鉛直速度を獲得したもののジャンプにおける水平速度の減少が大きかったこと、伊藤選手はジャンプで鉛直速度を獲得できなかったことがジャンプ距離に影響していたと

考えられる。

各歩の T0 における鉛直速度はいずれの跳躍でも世界選手権入賞者が大きかった。特にジャンプにおける日本人選手と世界選手権入賞者との T0 における鉛直速度の差は平均で 0.31 m/s であり、3 つのジャンプの中で最も差が大きく、17 m 以上の跳躍を安定して行うことができるような世界選手権入賞者はジャンプで大きな鉛直速度を獲得できていたといえる。各歩における跳躍角度をみても各選手の特徴はあるものの、平均値では全ての跳躍で日本人選手の跳躍角度が世界選手権入賞者と比較して小さい傾向がみられた。また、世界選手権入賞者は T0 における鉛直速度および跳躍角度が大きかったことから、ホップからステップおよびステップからジャンプの滞空期にも時間的な余裕があった可能性がある。大きな鉛直速度の獲得は次の跳躍の接地時の大きな負の鉛直速度につながることも予想されるが、世界選手権入賞者がステップおよびジャンプの接地

に向けてどのような動作を行っていたかについては、今後さらに検討する必要があるといえる。

各歩における接地時間はホップからジャンプにかけて徐々に長くなる傾向がみられ、日本人選手と世界選手権入賞者を比較するといずれの跳躍でも世界選手権入賞者が 0.01-0.02 sec 長かった。この結果と世界選手権入賞者がホップ、ステップおよびジャンプの各歩で日本人選手と比較して T0 における鉛直速度が大きく、跳躍角度も大きかったことを踏まえると、各歩においてより大きな鉛直方向の力積を獲得するために必要な接地時間を確保することも技術的な課題になる可能性があるといえる。

各歩における接地距離は全体の傾向としてはステップの接地距離が小さく身体重心の近くに支持脚を接地しており、ジャンプで最も大きく身体重心に対してより前方に接地していた。一方で、対象者の中で最も実測距離の大きかった安立選手はホップの接地距離が最も小さくステップおよびジャンプでは身体重心に対してより前方に支持脚を接地しており、他の選手とは異なる特徴を有していた。離地距離は全体の傾向としてステップで最も大きく、身体重心がより前方に移動したタイミングで踏切離地しており、ホップの離地距離が最も小さかった。なお、接地距離および離地距離については世界選手権入賞者のデータが報告されていないため比較は行っていない。そのため、17 m 以上の跳躍を目指す際の踏切接地および離地における接地位置と身体重心の位置関係については、今後さらに検討する必要があるであろう。

#### 4. まとめ

本報告は、2024 年日本陸上競技選手権大会において男子三段跳で上位に入賞した競技者の各歩の踏切におけるキネマティクス変数の特徴を世界選手権入賞レベルの競技者との比較から明らかにすることを目的としていた。

本報告の結果から、日本選手権で上位入賞した日本人選手の特徴を世界選手権入賞者と比較すると、ホップ距離はすでに 17 m 以上の跳躍が可能な水準にあり、各歩の T0 における身体重心の水平速度も劣っていないことが明らかになった。一方で、ステップおよびジャンプではさらに跳躍距離を獲得する必要がある、ステップおよびジャンプの踏切でより大きな鉛直速度を獲得することが課題になることが示唆された。なお、国内の男子三段跳競技者を対象としたキネマティクスに関する分析は限られているた

め、今後も継続的なデータ収集を行いより詳細な動作の分析も進めていく必要があるといえる。

#### 文献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Sciences, 15: 155-162.
- Hay, J. G. (1992) The biomechanics of triple jump: A review. Journal of Sports Science, 10: 343-378.
- 小山宏之・村木有也・武田理・阿江通良・伊藤信之 (2006) 競技会における一流男女走幅跳、三段跳および棒高跳選手の助走速度分析. 陸上競技研究紀要, 2: 129-143.
- 小山宏之・村木有也・武田理・阿江通良・伊藤信之 (2007) 競技会における一流男女棒高跳、走幅跳および三段跳選手の助走速度分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第 6 巻 (2007) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2006). 陸上競技研究紀要, 3: 104-122.
- 小山宏之・柴田篤志・柳谷登志雄・安藤格之助・渡辺圭佑・山元康平・高松潤二 (2017) 2016 U20 世界選手権における男女三段跳の分析 (日本陸連科学委員会研究報告 第 15 巻 (2016) 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2016). 陸上競技研究紀要, 12: 138-145.
- 柴田篤志・清水悠・小山宏之 (2019) 女子三段跳における助走スピードと各歩の跳躍距離および跳躍比とパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 64 (2): 573-585.
- 柴田篤志・荻山靖・清水悠・小山宏之 (2024) 女子三段跳競技者の日本記録更新に至るまでの助走スピードおよび各歩の跳躍距離の変化. 陸上競技研究紀要, 19: 40-47.
- 築野愛・阿江通良・小山宏之・村木有也・高本恵美 (2011) 世界一流女子三段跳選手の踏切動作に関するバイオメカニクス的研究—同程度の競技記録を持つ男子選手との比較—. 陸上競技研究, 84: 23-31.
- 築野愛・阿江通良・小山宏之 (2012) 記録水準の異なる女子三段跳の跳躍動作に関するバイオメカニクスの研究. 陸上競技研究, 90: 17-26.
- Tucker, C., Nicholson, G., Cooke, M., Bissas, A., and Merlino, S. (2018) Biomechanical report for the IAAF world championships 2017: Triple Jump Men's. 2017 IAAF world

championships biomechanics research project.  
Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980)  
Assessment of signal and noise in the  
kinematics normal, pathological and sporting  
gaits. In: Human Locomotion 1 (Proceedings  
of the first biannual conference of the  
Canadian Society of Biomechanics). pp. 92  
93.