

## 2025年男女日本一流棒高跳競技者のキネマティクス変数

景行 崇文<sup>1)</sup> 植松 倫理<sup>2)</sup> 廣田 元輝<sup>2)</sup> 福地 修也<sup>2)</sup> 杉浦 澄美<sup>3)</sup> 石川 稜将<sup>4)</sup>  
高松 潤二<sup>5)</sup> 小山 宏之<sup>6)</sup>  
1) 国立スポーツ科学センター 2) 筑波大学大学院 3) 筑波大学体育系 4) 宇都宮大学  
5) 流通経済大学 6) 京都教育大学

### 1. はじめに

2025年9月に東京で開催された世界陸上競技選手権大会の盛り上がりは記憶に新しい。その中でも大会を通じたハイライトシーンの1つは、デュプランティス選手（スウェーデン）が男子棒高跳決勝で魅せた世界記録樹立の瞬間であり、2025年は陸上競技関係者のみならず日本中で棒高跳が注目を浴びた年であった。一方、日本人競技者にも目を向けると、女子棒高跳では諸田選手が日本人女性競技者として16年ぶりに当大会へ出場したほか、男子棒高跳では惜しくも代表には選出されなかったものの開催国枠の参加標準記録5m70を江島選手が突破するなど、日本人棒高跳競技者が世界を舞台に今後活躍する機運を感じられる年でもあった。ただし、日本と世界とで競技水準に大きな開きがあることもまた事実であり、日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者との差を具体的に知ることは、日本棒高跳界のさらなる国際競技力向上の一助になるであろう。

そこで本報告では昨年度に引き続き、跳躍に関する基礎的なキネマティクス変数を日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者で比較することを目的とした。

### 2. 方法

対象者は2025年日本陸上競技選手権大会の男女棒高跳決勝で8位入賞した計16名であり、分析試技は各競技者の最終有効試技とした。なお、男女ともに最大重心高が高かった競技者順にラベリングした。

跳躍の様子は競技場の観客席上段に設置した2台のカメラ（GH-5s 2台、Panasonic社製；フレーム

レート120 fps、露光時間1/1000 s）を用いて撮影した。2台のカメラは踏切足接地時で同期した。ボックス奥の上縁中点を原点として助走の進行方向をY軸の正方向、鉛直上向きをZ軸の正方向、Y軸とZ軸の外積をX軸の正方向と定義した（図1）。キャリブレーションはX軸方向に7.0 m、Y軸方向に10.0 m、Z軸方向に7.0 mの範囲で行った（図1）。男子棒高跳決勝の標準誤差はX軸で0.010 m、Y軸で0.017 m、Z軸で0.008 mであった。女子棒高跳決勝の標準誤差はX軸で0.013 m、Y軸で0.010 m、Z軸で0.005 mであった。踏切2歩前からバークリアランスまでを撮影し、動作解析ソフト（Frame-DIAS VI, Q's fix社製）を用いて撮影した映像上の身体分析点23点を120Hzで手動デジタイズした。デジタイズすることで算出した各カメラ映像上の身体分析点の2次元座標値を用いて、3次元DLT法により身体分析点の実空間上の3次元座標値を算出した。残差分析法（Wells and Winter, 1980）によって最適遮断周波数（6.24 - 14.50 Hz）を決定し、4次のButterworth型ローパスフィルターを用いて身体分析点の3次元座標値を平滑化した。平滑化した3次元座標値および阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、競技者の身体を頭部・体幹・左右の上腕・前腕・手・大腿・下腿・足からなるセグメントリンクモデルにモデル化することで、跳躍動作を分析した。なお、本報告で用いた映像は国立スポーツ科学センタースポーツ医・科学研究事業において収集された。

跳躍中のキネマティクス変数は景行ほか（2025b）と同じく下記の変数①～⑤を算出した。

- ①最大重心高：身体重心の座標値Z成分の最大値を最大重心高と定義した。
- ②グリップ高：突っ込みからポールリリースまでにおけるボックス最下点の中央から、上グリップ

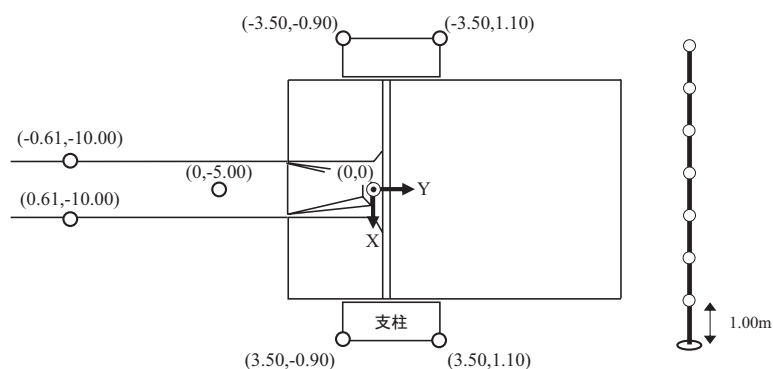


図1 コントロールポリューム

プまでの距離をポール弦長とし、ポール突っ込み時のポール弦長をグリップ高と定義した。

- ③ 抜き：グリップ高からボックスの深さ 0.2m を差し引いた距離を有効グリップ高とし、最大重心高から有効グリップ高を差し引いた高さを抜きと定義した。
- ④ ポール湾曲量：グリップ高からポール弦長を差し引いた距離をポール湾曲量と定義し、その最大値をポール最大湾曲量と定義した。
- ⑤ ポール湾曲率：グリップ高に対するポール湾曲量をポール湾曲率と定義し、以下の式より算出した。加えて、ポール湾曲率の最大値をポール最大湾曲率と定義した。

$$\text{ポール湾曲率} = \frac{\text{ポール湾曲量}}{\text{グリップ高}} \times 100$$

各変数の平均値と標準偏差（以下、「SD」と略す）を算出した。男女世界一流棒高跳競技者の各変数は Schade et al. (2004) より引用し、日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者の平均値の差は Mann-Whitney の U 検定を用いて検討した。日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者の差の大きさは効果量を用いて検討した。有意水準は 5% とした。

### 3. 結果

図 2 には、男子棒高跳決勝で入賞した日本一流男性棒高跳競技者 8 名の跳躍動作をスティックピクチャーで示した。なお、左手が上握り手となる姿勢で跳躍した競技者が 1 名含まれていたことから、当該競技者の跳躍動作は左右を反転することで右手が上握り手となる姿勢となるように調整した。

表 1 には、日本一流男性棒高跳競技者と世界一流男性棒高跳競技者の跳躍に関するキネマティクス変数を示した。日本一流男性棒高跳競技者の最大重心高は  $5.51 \pm 0.13$  m、グリップ高は  $4.78 \pm 0.10$  m、

抜きは  $0.94 \pm 0.14$  m、ポール最大湾曲量は  $1.42 \pm 0.08$  m、ポール最大湾曲率は  $29.77 \pm 1.92$  % であった。世界一流男性棒高跳競技者と比較して日本一流男性棒高跳競技者は最大重心高、グリップ高、抜きが有意に低かった（表 1）。

図 3 には、女子棒高跳決勝で入賞した日本一流女性棒高跳競技者 8 名の跳躍動作をスティックピクチャーで示した。全ての対象者は右手が上握り手となる姿勢で跳躍していた。

表 2 には、日本一流女性棒高跳競技者と世界一流女性棒高跳競技者の跳躍に関するキネマティクス変数を示した。日本一流女性棒高跳競技者の最大重心高は  $4.12 \pm 0.11$  m、グリップ高は  $4.09 \pm 0.09$  m、抜きは  $0.23 \pm 0.06$  m、ポール最大湾曲量は  $1.14 \pm 0.13$  m、ポール最大湾曲率は  $27.81 \pm 3.02$  % であった。世界一流女性棒高跳競技者と比較して日本一流女性棒高跳競技者は最大重心高、グリップ高、抜きが有意に低かった（表 2）。一方、世界一流女性棒高跳競技者と比較して日本一流女性棒高跳競技者はポール最大湾曲率が有意に高かった（表 2）。

### 4. 考察

本報告は跳躍に関する基礎的なキネマティクス変数を日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者で比較することを目的として、2025 年日本選手権における男女棒高跳決勝の動作分析を行った。その結果、世界一流棒高跳競技者と比較して男女ともに日本一流棒高跳競技者は最大重心高、グリップ高、抜きが有意に低いことが明らかとなった（表 1 および 2）。これらの結果は景行ほか（2025b）と同様であり、日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者とを比較した効果量も同程度であった。したがって、日本棒高跳界のさらなる競技力向上に求められる技術的課題もまた昨年度の報告（景行ほか、2025b）と同じく、“①高い位置を握ってもポールが

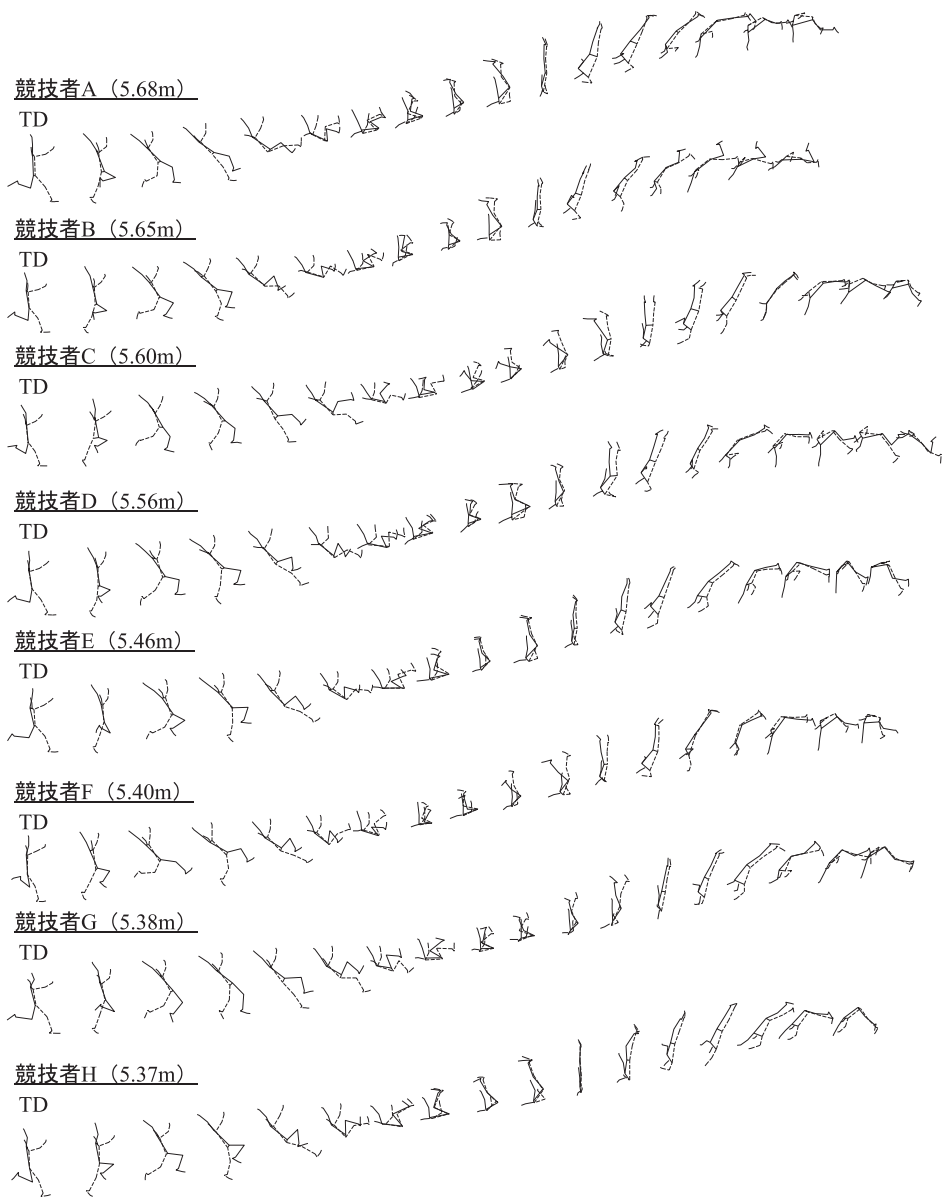


図2 日本一流男性棒高跳競技者の跳躍動作  
踏切足接地時 (TD) を基準にして、0.1s ごとのスティックピクチャーを図示  
実線は右半身、破線は左半身、( ) 内は記録した最大重心高

表1 日本一流男性棒高跳競技者の跳躍に関するキネマティクス変数

変数	競技者								平均±SD	世界一流 平均±SD	p	効果量
	A	B	C	D	E	F	G	H				
最大重心高 (m)	5.68	5.65	5.60	5.56	5.46	5.40	5.38	5.37	5.51±0.13	5.93±0.09	<0.01	3.56
グリップ高 (m)	4.89	4.70	4.82	4.84	4.62	4.69	4.87	4.79	4.78±0.10	5.00±0.07	<0.01	3.38
抜き (m)	1.00	1.15	0.98	0.92	1.04	0.91	0.71	0.78	0.94±0.14	1.13±0.05	<0.01	3.21
ポール最大湾曲量 (m)	1.39	1.40	1.51	1.33	1.54	1.41	1.45	1.34	1.42±0.08	1.40±0.15	n.s.	-1.07
ポール最大湾曲率 (%)	28.47	29.80	31.24	27.44	33.41	30.10	29.81	27.91	29.77±1.92	28.00±2.80	n.s.	-1.96

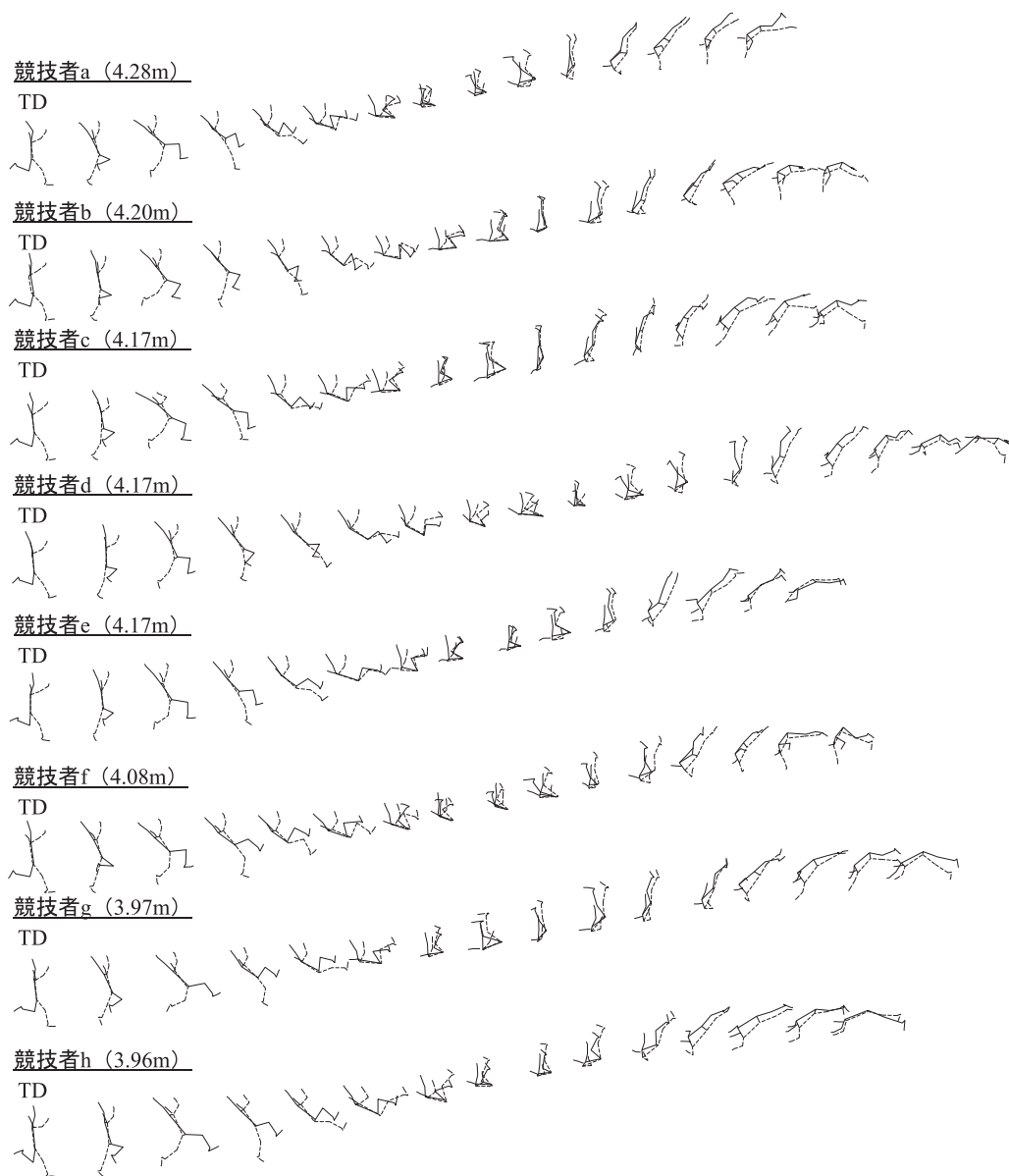


図3 日本一流女性棒高跳競技者の跳躍動作  
踏切足接地時 (TD) を基準にして、0.1s ごとのスティックピクチャーを図示  
実線は右半身，破線は左半身，( ) 内は記録した最大重心高

表2 日本一流女性棒高跳競技者の跳躍に関するキネマティクス変数

変数	競技者								平均±SD	世界一流 平均±SD	p	効果量
	a	b	c	d	e	f	g	h				
最大重心高 (m)	4.28	4.20	4.17	4.17	4.17	4.08	3.97	3.96	4.12±0.11	4.58±0.08	<0.01	3.56
グリップ高 (m)	4.16	4.10	4.13	4.19	4.12	4.15	3.96	3.95	4.09±0.09	4.25±0.09	<0.01	2.84
抜き (m)	0.32	0.30	0.24	0.18	0.25	0.14	0.22	0.21	0.23±0.06	0.53±0.10	<0.01	3.55
ポール最大湾曲量 (m)	1.22	1.20	1.05	1.14	1.05	1.32	1.22	0.92	1.14±0.13	1.03±0.15	n.s.	-1.42
ポール最大湾曲率 (%)	29.35	29.29	25.35	27.12	25.38	31.92	30.86	23.25	27.81±3.02	24.14±3.60	<0.05	-2.04

立つ技術の習得によるグリップ高の向上”ならびに“②硬いポールを曲げてポールの反発を強くしながらもその反発をもらう技術の習得による抜きの向上”であると考えられる。そこで本報告では、景行ほか(2025b)に続く形で、技術的課題の克服に繋がると考えられる棒高跳の力学的な背景に触れる。

棒高跳は助走で獲得した運動エネルギーを、ポールを介して位置エネルギーへと変換する競技である(高松, 2003)。したがって、高い助走速度(運動エネルギー)を獲得し、それを土台とした競技者-ポール間におけるエネルギーの相互変換を効果的に行うことが身体を高く上昇させる(高い位置エネルギーを獲得する)ためには重要となる。その一方、踏切足離地時と比較して最大重心高出現時に身体が持つ力学的エネルギーは増大する事象が報告されている(Arampatzis et al., 2004; 景行ほか, 2023)。この力学的エネルギーの増大は、競技者の能動的な筋の収縮に起因するとされ(Arampatzis et al., 2004)、踏切後のスウィングやロックバックからの倒立などの動作で生じると考えられる。すなわち、踏切後の動作によって身体が持つ力学的エネルギーが増えれば、最終的に身体が上昇する高さも上昇する(位置エネルギーも増大する)であろう。ただし、フランス人棒高跳競技者の動作を分析したFrère et al. (2025)は国内群(分析試技の高さが男性:4.40 - 4.80 m, 女性:3.00 - 3.80 m), 国内一流群(男性:4.80 - 5.50 m, 女性:3.80 - 4.30 m), 国際群(男性:5.50 m以上, 女性:4.30 m以上)に群分けして、競技水準間で跳躍中に身体が持つ力学的エネルギーを比較したところ、踏切足接地時に身体が持つ力学的エネルギーは男女ともに競技水準間で有意差が認められた(国内群<国内一流群<国際群)のに対し、跳躍を通して増大した身体が持つ力学的エネルギー量は男女ともに競技水準間で有意差は認められなかったことを報告している。言い換えると、競技水準が高いからといって、踏切後に身体が持つ力学的エネルギー増大量も大きいわけではなかった。これらを踏まえると、助走で高めた力学的エネルギーを効果的にポールへ伝達することが国際水準の棒高跳競技者に求められる技術的課題であると考えられる。

一方、助走速度が高まるとポール突っ込み時の衝撃が大きくなるほか、グリップ高の向上に伴ってポール突っ込み時にポールが地面となす角度も小さくなるため、ポール突っ込み後に身体に作用するブレーキも大きくなってしまふ。特に、踏切足が離地すると外力は両握り手のみから身体に作用するた

め、踏切足離地直後は振られやすくなる(振られる:踏切直後に意図せぬタイミングで身体が後方回転してしまう現象の呼称)。そこで、ポール下端に作用する力の時系列データを見ると、踏切足離地時付近では10 N/kgにおよぶブレーキがポールを介して棒高跳競技者の身体に作用していた(景行ほか, 2025a)。さらにこの間、棒高跳競技者の両肩関節では10 Nm/kgにおよぶ伸展トルクが発揮されていた(景行ほか, 2025a)。ポール突っ込み時から踏切足離地時付近にかけて肩関節は屈曲動作をしており(Frère et al., 2012)、踏切足離地時付近では肩関節伸展筋群の伸張性収縮が行われ、これは緩衝動作を担うものと推察される。緩衝動作は身体に加わる衝撃力を小さくするための動作とされ、加わる力を身体が対応できる範囲にとどめることになるため、スピードのロスを最小限に抑えることができるとされる(阿江・藤井, 2013)。物体がされた仕事量は、物体に作用した力と物体が移動した距離の積分値であるため、同じ仕事量であれば、力を受け止める距離が長くなると物体に作用する力は小さくなる(景行ほか, 2021)。これらを跳躍中の動きに置き換えると、水平方向に大きなブレーキが作用する踏切足離地時前後でグリップと身体重心との水平変位を大きくする(入っていく)動作が、ポールから身体に伝わる力を小さくできることに繋がり、振られることの抑制に寄与する可能性がある。また、Schade et al. (2004)は、世界一流女性棒高跳競技者は世界一流男性棒高跳競技者と比較して踏切足離地直後の身体重心周りにおける角運動量の増大が顕著であり、これは肩関節周りや身体前面の筋力ならびにそれら筋群のエネルギー貯蓄能力が低いことに起因することを示唆している。先述の通り、跳躍中に棒高跳競技者が両肩関節で発揮した最大伸展トルクは10 Nm/kgにおよび(景行ほか, 2025a)、この両肩関節の伸展トルクは体操競技の吊り輪種目での後方伸身懸垂回転中の肩関節最大伸展トルクに匹敵する(Springings et al., 2000)。よって、棒高跳競技者は体操競技者に匹敵する肩関節伸展筋群の高いトルク発揮能力が求められると考えられ、肩関節周りや身体前面の筋力ならびにそれら筋群のエネルギー貯蓄能力を高められるような特異的なトレーニングがより重要になる可能性がある。

以上より、日本人棒高跳競技者が世界へとさらに近づくためには、助走で獲得した運動エネルギーをポールへ効果的に伝える技術の習得が求められると考えられる。ただし、当該技術の定量化には至っていないのが研究分野の現状であることから、さらな

る研究の推進が期待される。その一方で、当該技術を経験的・暗黙的に理解し、既にトレーニングへ取り入れている指導現場があるかもしれない。したがって、効果的な技術の議論やトレーニング手段の立案といった活発な情報共有が研究 - 現場間ならびに現場 - 現場間で行われることを期待したい。

## 参考文献

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 Science*, 15(3) : 155-162.

阿江通良・藤井範久 (2013) スポーツバイオメカニクス 20 講. 朝倉書店, pp. 119-130.

Arampatzis, A., Schade, F., and Brüggemann, G.-P. (2004) Effect of the pole-human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*, 37(9): 1353-1360.

Frère, J., Göpfert, B., Slawinski, J., and Tourny-Chollet, C. (2012) Effect of the upper limbs muscles activity on the mechanical energy gain in pole vaulting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22(2): 207-214.

Frère, J., Thiriot, H., Potvin-Gilbert, M., Sanchez, H., Homo, S., and Cassirame, J. (2025) Energy balance in the pole vault: effect of sex and level of performance. *Journal of Biomechanics*, 187. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2025.112765

景行崇文 (2021) 棒高跳における最大重心高に影響を及ぼす要因 - 競技者 - ポール間のエネルギー変換に着目して -. 筑波大学博士 (コーチング学) 学位論文.

景行崇文・木越清信・横澤俊治 (2025a) 棒高跳におけるポール湾曲中の肩キネティクス: 肩関節等速性筋力との関係に着目して. *体育学研究*, 70 : 253-267.

景行崇文・松林武生・大山卞圭悟・木越清信 (2023) 棒高跳における最大重心高と関係する競技者 - ポール間でのエネルギー変換. *体育学研究*, 68 : 249-261.

景行崇文・植松倫理・廣田元輝・石川稜将・杉浦澄美・福地修也・高松潤二・小山宏之 (2025b) 日本一流棒高跳競技者と世界一流棒高跳競技者の跳躍に関するキネマティクス変数の比較. *陸上競技研究紀要*, 20 : 120-126.

Schade, F., Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P., and Komi, P. V. (2004) Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic Games. *Journal of Sports Sciences*, 22(9): 835-842.

Sprigings, E., Lanovaz, L., and Russell, W. (2000) The Role of Shoulder and Hip Torques Generated During a Backward Giant Swing on Rings. *Journal of applied biomechanics*, 16: 289-300.

高松潤二 (2003) 棒高跳びの動作. *体育の科学*, 53 (1) : 31-37.

Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1: 36-41.