

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K13173

研究課題名(和文) 棒高跳の助走におけるストライド調整メカニズムの解明

研究課題名(英文) Elucidation of the gait adjustment mechanism of the approach in pole vault.

研究代表者

田村 雄志 (Tamura, Yuji)

福岡大学・スポーツ科学部・助教

研究者番号：30759254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、棒高跳の助走におけるストライド調整についてKinematics的に検討し、以下のことが明らかとなった。

High Bend群では、踏切位置とポール湾曲率の間に相関関係を示さなかった一方で、Low Bend群では、踏切位置と踏切中の身体重心水平速度減少に中程度の負の相関がみられ、ストライド調整の巧みさが跳躍パフォーマンスに影響を与えていることが示唆された。また、棒高跳選手はストライド調整を行うために1) 踏切2歩前の支持脚膝関節伸展角度、2) 踏切1歩前接地時の支持脚膝関節角度、3) 踏切脚接地時の股関節角度を調整して、歩幅を制御していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、実践指導の現場で重要視されているにも関わらず、そのメカニズムが明らかにされていない棒高跳の助走におけるストライド調整メカニズムの解明を試みた。本研究の結果は、これまで一部の専門指導者の経験則に頼った指導がなされていた指導現場に科学的根拠に基づいた助走技術指導のためのエビデンスを提供することが期待できる。

また、ストライド調整のための動作制御は、多くのスポーツ場面において必要とされる能力であるため、本研究手法は様々な競技スポーツのパフォーマンス分析に応用可能であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, kinematics approach was utilized to reveal gait adjustment of pole vault approach run-up. High bend group showed no correlation between the foot contact position at take-off phase and maximum rate of pole bend. However, a moderate negative correlation between the reduction of COG horizontal velocity and foot contact position at take-off phase was observed in Low bend group. Furthermore, we succeeded in extracting three individual gait adjustment patterns: 1) to adjust the 2nd last step length using the knee extension motion of the kicking leg (left leg), 2) to adjust the 2nd last step length using the knee extension motion of the landing leg (right leg), and 3) to adjust the final step length using the left hip flexion motion.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：歩幅制御 動作のばらつき 助走 棒高跳

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

棒高跳を対象としたこれまでのバイオメカニクス研究では、そのほとんどが踏切動作やそれ以降の空中動作、あるいは弾性ボールの湾曲率に着目したものであった。しかし、実際の指導現場では、助走に重点をおいた指導がなされることが多く、これまでの棒高跳に関するバイオメカニクス研究の着眼点と実際の指導現場での指導ポイントは必ずしも一致しなかった。

棒高跳は、助走で得た運動エネルギーを弾性ボールを介して鉛直方向の位置エネルギーへと変換する競技であるため、助走ではできる限り大きな水平速度を獲得することが求められる(高松ほか, 2000)。しかし、その一方で Angulo-Kinzler et al. (1994) は、棒高跳の助走において選手に課せられる重要な課題の一つとして踏切位置の正確性を挙げ、適切な踏切位置が得られなければ、どんなに大きな助走速度を獲得したとしても役にたたないと指摘している。このように、選手は大きな助走速度を生み出すと同時にストライド調整によって適切な踏切位置の獲得というトレードオフの関係にある2つの課題を同時に遂行しなければならない。田村ほか(2012)は、棒高跳の助走における各ステップのつま先接地位置の試技間の標準偏差から、棒高跳選手が助走後半において、走幅跳選手や三段跳選手と同じように接地位置のズレを修正していることを明らかにし、助走中に蓄積する接地位置の最大誤差には、競技力の違いによる有意な差がないことを明らかにした。しかし、日本一流競技者は学生競技者よりもストライド誤差が漸減しはじめるタイミングが早く、踏切2歩前までにストライド調整の大部分を終了させていたとも報告している。しかしながら、先行研究ではストライド調整の様相を接地位置のばらつきによって評価したに過ぎず、適切な踏切位置を獲得するために“どのような動作制御”を用いてストライド調整を実行しているかのメカニズムについては、いまだ明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、陸上競技棒高跳において適切な踏切位置を獲得するために選手が助走中に行うストライド調整のメカニズムを解明することであった。助走における疾走動作の Kinematics を各ステップの接地位置および助走動作の変動性から分析し、選手がどのような動作機序によってストライド調整を遂行しているのかのメカニズムの解明を試みた。

3. 研究の方法

本研究は、大きく分けて2つの実験および分析から構成された。それぞれの研究方法について以下に示す。

(1) 踏切位置の誤差が棒高跳の跳躍パフォーマンスに与えるパラメータに及ぼす影響

棒高跳では、助走で得た運動エネルギーによってエラスティックボールを湾曲させ、その復元によるエネルギーを用いて鉛直方向の位置エネルギーへと変換するため、ボール湾曲率は、助走でのパフォーマンスを評価する重要な指標となると考えられる。また、武田ほか(2005)は、棒高跳の競技記録とボール湾曲率に有意な正の相関があると報告している。そこで本研究では、ストライド調整の結果として生じる踏切位置のズレがボール湾曲率およびその他の運動パラメータに及ぼす影響について検討した。

研究対象となったのは混成競技者を含む棒高跳のトレーニングを日常的に実施している男子大学生5名(自己最高記録: $4.82 \pm 0.39\text{m}$ 、身長: $1.72 \pm 0.40\text{m}$ 、体重: $65.0 \pm 3.3\text{kg}$)であった。対象者には、十分なウォーミングアップを実施してもらった後に5~6本の全力跳躍を行わせ、踏切脚接地からボール最大湾曲までの動作を電氣的に同期した3台のデジタルハイスピードカメラ(FASTCAM mini AX50, PHOTRON 社製)を用いて、125fpsで固定撮影した。その際、対象者が使用するボールの長さや硬度は任意としたが、使用するボールの変更によるボール湾曲率への影響を避けるため、すべての実験試技において同一ボール、同一グリップ高で跳躍を行わせた。得られた映像から動作解析ソフト(FreamDAIS V, DKH 社製)を用い、3次元DLT法によって身体分析点の実座標を得た。分析に用いる主なパラメータとして、踏切動作中の股関節・膝関節および足関節角度、身体重心速度、踏切角度および最大ボール湾曲率($=(\text{ボールストレート時の弦長}-\text{最大ボール湾曲時の弦長})/\text{ボールストレート時の弦長} \times 100$)を算出した。各パラメータと踏切位置およびボール湾曲率の相関係数を算出し、それぞれの関係性を検討した。

(2) 踏切直前に発現するストライド調整動作のキネマティクス的特徴の解明

本研究では、棒高跳の助走において踏切直前に発現するストライド調整への股関節・膝関節および足関節動作の貢献を明らかにしようと試みた。

本研究の対象者は棒高跳または十種競技を専門とする大学生陸上競技者5名であった。対象者には事前に十分なウォーミングアップを行わせた後、任意の高さにゴム製のバーを設定し、5~6回の全力跳躍を行わせた。電氣的に同期された3台のデジタルハイスピードカメラ(FASTCAM mini AX50, PHOTRON 社製)を用いて、踏切2歩前から踏切までの疾走動作および踏切動作を固定撮影し、3次元動作解析ソフト(FreamDAIS V, DKH 社製)を用いて助走中の身体分析点の実座標を取得した。分析に用いる主なパラメータとして、股関節角度、膝関節角度および足関節角度、ステップ長、接地時間および滞空時間を算出した。助走における接地時間と滞空時間は、助走最後の2ステップの平均値をそれぞれの試技の代表値として採用し、試技間の変動係数(CV)を比較することによって選手が接地時間、滞空時間のどちらをコントロールすることによってストライド調整を実行しているかを検証した。また、股関節、膝関節およ

び足関節の最大および最小角度の試技間の標準偏差（SD）を求め、関節動作のばらつきの大きさによってストライド調整に寄与する動作を明らかにした。さらに、各動作中の関節角度とステップ長の相関係数を算出し、ステップ長の調節に貢献する動作を検討した。

4. 研究成果

(1) 踏切位置の誤差がボールの湾曲率および運動パラメータに及ぼす影響

本研究では、最大湾曲時のボール湾曲率によって異なる 2 つの跳躍スタイルの選手が存在することが明らかとなった。ボールの曲がりが比較的小さい群（最大ボール湾曲率 28.3～28.4%，以下 LB 群）は、より大きくボールを曲げる群（最大ボール湾曲率 31.4～33.0%，以下 HB 群）に比べ、踏切角度が有意に大きかった。つぎに、参加者の全分析試技をもとに回帰分析を行った結果、踏切脚接地中の身体重心水平速度減少率がボール湾曲率ともっとも強い相関関係（ $r=-0.89$ ）を示した。しかしながら、HB 群の試技のみを対象にすると有意な相関関係はみられなかった。また、HB 群では踏切位置やボール湾曲率とその他のパラメータに有意な相関が認められなかったのに対し、LB 群では踏切位置と踏切脚接地中の水平速度減少率（ $r=-0.78\sim-0.84$ ）に強い負の相関が認められた。さらに、LB 群では踏切脚接地中の身体重心水平速度減少率とボール湾曲率（ $r=-0.73\sim-0.84$ ）、踏切角度とボール湾曲率（ $r=-0.90\sim-0.95$ ）の間にそれぞれ強い負の相関が認められた。（表 1）。

棒高跳では、ボールを大きく湾曲させることによってボール-身体系の慣性モーメントを小さくすることで、より大きなグリップ高を獲得することが期待できる。本研究の結果から LB 群では、踏切位置が踏切脚接地中の身体重心水平速度減少率と負の相関を示し、さらに踏切脚接地中の身体重心水平速度減少率がボール湾曲率と負の相関関係にあることから特に LB 群において適切な踏切位置を獲得するためのストライド調整が跳躍パフォーマンスに重要な影響を及ぼす可能性があることが示唆された。

表 1 ポール湾曲率、踏切位置、踏切角度、踏切における身体重心の水平速度減少率
表中の r はボール湾曲率の各パラメータの相関を示している。

		ボール湾曲率	踏切位置	踏切角度	水平速度減少率
		%	m	deg.	%
High Bend Group	A	Mean±SD	33.0±0.7	3.56±0.06	20.3±0.7
		r	—	0.15	-0.49
	B	Mean±SD	31.8±0.6	3.56±0.13	21.5±0.7
		r	—	-0.43	-0.65
	C	Mean±SD	31.4±0.6	3.38±0.07	23.0±0.9
		r	—	0.64	-0.46
Low Bend Group	D	Mean±SD	28.3±0.9	3.64±0.15	26.4±1.3
		r	—	0.93	-0.90
	E	Mean±SD	28.4±1.5	3.43±0.16	27.8±2.4
		r	—	0.49	-0.95

(2) 踏切直前に発現するストライド調整動作のキネマティクス的特徴

はじめに接地時間と滞空時間のばらつきから選手が接地時間または滞空時間のどちらをコントロールすることによってステップ長を変動させているのかの解明を試みた。その結果、助走の終末局面（ラスト 2 歩）において滞空時間の変動係数（CV：0.06±0.04）が接地時間の変動係数（CV：0.03±0.01）に比べ高値を示し、棒高跳選手は、助走の終末局面において滞空時間を変更することでステップ長の調整を行っていることが明らかとなった。つぎに、試技間の動作のばらつき（標準偏差の大きさ）によってストライド調整に寄与する動作の検討を行った。その結果、以下のパラメータにおいて標準偏差が大きく、動作にばらつきがある選手が複数確認された（図 1）。

- ①踏切 2 歩前における左膝の最大伸展角度の SD（±3.0deg. ～±3.9deg.）。
- ②踏切 1 歩前接地時の右膝関節角度の SD（±2.3deg. ～±3.31deg.）。
- ③最終ステップにおける左股関節屈曲角度の SD（±3.2deg. ～±4.2deg.）。
- ④踏切脚接地時の左膝関節角度の SD（3.5deg. ～±3.7deg.）。

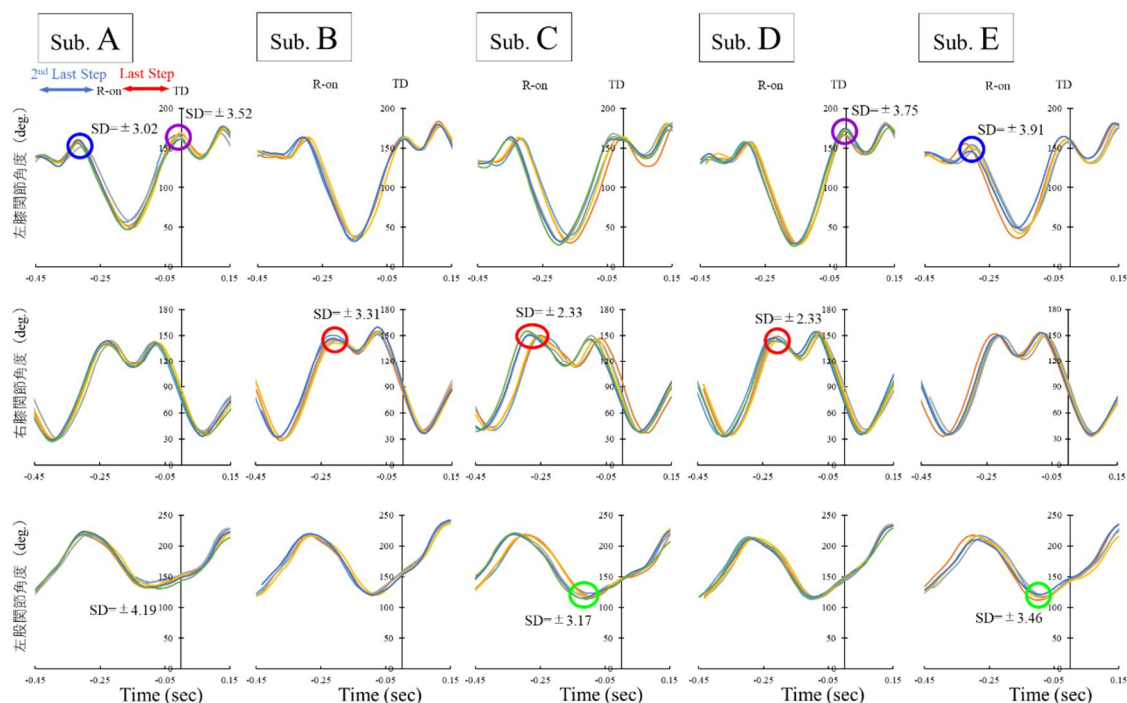


図1 助走終末局面（踏切2歩前から踏切脚離地）における各被験者の股関節，膝関節，足関節角度の変容 ※横軸の0secは踏切脚接地を示している。

最後に、これらのパラメータとステップ長との相関係数を求め、ステップ長のコントロールに貢献する動作を検討した。その結果、ステップ長との間に強い相関を示した動作は対象者毎に異なっており、すべての対象者に共通した動作特性を見出すことはできなかった。しかしながら、複数の対象者に共通するストライド調整に関するいくつかの動作制御パターンが存在することが明らかとなった。複数の対象者においてステップ長と強い相関が示された動作パターンを以下に示す（図2）。

- ①踏切2歩前の蹴り脚（左）膝関節伸展動作によって1歩前の歩幅を調節する。
- ②踏切1歩前接地時の右膝関節の屈曲／伸展動作によって1歩前の歩幅を調節する。
- ③踏切歩における踏切脚（左）股関節の屈曲動作によって最終歩の歩幅を調整する。



図2 棒高跳の助走終末局面におけるストライド調整パターン

本研究では、棒高跳の助走の終末局面における下肢関節動作の変動性に着目し、選手がどのようにストライド調整を実行しているかの動作機序の解明を試みた。本研究によって、ストライド調整に用いられる動作機序については一様ではなく、いくつかの動作制御パターンが存在することが明らかとなった。本研究結果を礎として助走パフォーマンスの向上および安定を図る指導法の開発および傷害リスクを考慮したストライド調整動作の解明など今後の発展的な継続研究が望まれる。

参考文献

- Angulo-Kinzler, R., Kinzler, S., Balias, X., Turro, C., Caubet, J., Escoda, J., Prat, A. (1994): Biomechanical Analysis of the Pole Vault Event. Journal of Applied Biomechanics. Vol. 10: pp147 - 165.
- 高松潤二, 阿江通良, 藤井範久 (2000): 棒高跳におけるボルターとポール間の力学的エネルギーの伝達. バイオメカニクス研究. Vol. 4. No. 2: pp108 - 115.
- 武田理, 村木有也, 小山宏之, 阿江通良 (2005): 身体重心速度およびポール湾曲度からみた男子棒高跳選手のバイオメカニクスの分析. 陸上競技研究紀要. Vol. 1: pp30 - 35.
- 田村雄志, 湯浅景元, 石村和博, 磨井祥夫 (2012): 棒高跳の助走におけるストライド調整様式 - ストライド調整開始位置に着目して -. 体育学研究. Vol. 57. NO. 1: pp47 - 57.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Yuji TAMURA, Hiroyuki NUNOME, Takashi KATAMINE
2. 発表標題 Adjustments in gait characteristics during final approach phase in pole vault.
3. 学会等名 12th International Sports Science Conference
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田村 雄志、布目 寛幸、片峯 隆
2. 発表標題 棒高跳における踏切動作がボールの湾曲率に及ぼす影響－異なる跳躍スタイルの踏切動作比較から－
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村雄志、片峯隆、岡部優真
2. 発表標題 ディスタンスマーカーを利用した助走速度測定を試みーレーザー式速度測定器との測定誤差の検討ー
3. 学会等名 日本陸上競技学会第16回大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

—

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	布目 寛幸 (Nunome Hiroyuki)	スポーツ科学部・教授	