

京都教育大学

平成 27 年度 修士論文

高校生男子走幅跳競技者の跳躍技術に関する研究

・跳躍タイプからみた特徴と指導現場に導入できるタイプ分け手段の検討・

京都教育大学大学院

教育学研究科 教科教育専攻 保健体育専修

柴田 篤志

指導教員

井上 文夫

小山 宏之

目次

表一覧	v
図一覧	vi
1. 緒言	- 1 -
1.1 研究の背景	- 1 -
1.2 研究目的	- 3 -
1.3 研究課題	- 4 -
1.4 作業上の仮定	- 4 -
1.5 研究の限界	- 5 -
2. 方法	- 6 -
2.1 VTR 撮影	- 6 -
2.2 データ処理	- 9 -
2.3 算出項目および算出方法	- 9 -
2.4 時系列データの規格化と平均	- 10 -
2.5 統計処理	- 15 -
3. 跳躍タイプに着目した高校生男子走幅跳競技者における跳躍技術の Kinematics 的特	

徴（研究課題 1）	- 16 -
3.1 目的	- 16 -
3.2 方法	- 16 -
3.2.1 被験者	- 16 -
3.2.2 分析試技	- 17 -
3.2.3 データ処理	- 17 -
3.2.4 算出項目	- 17 -
3.2.5 被験者のタイプ分け	- 21 -
3.2.6 規格化および統計処理	- 21 -
3.3 結果	- 23 -
3.3.1 踏切局面	- 23 -
3.3.1.1 跳躍距離および踏切時間	- 23 -
3.3.1.2 身体重心高および身体重心速度	- 23 -
3.3.1.3 関節角度，身体部分角度および角速度	- 27 -
3.3.2 踏切準備局面	- 41 -
3.3.2.1 身体重心高および身体重心速度	- 43 -
3.3.2.2 関節角度，身体部分角度および角速度	- 43 -
3.4 考察	- 55 -
3.4.1 跳躍タイプによる踏切動作の特徴の違い	- 57 -
3.4.2 跳躍タイプによる踏切準備動作の特徴の違い	- 65 -

3.4.3	各タイプの踏切準備および踏切動作がパフォーマンスに与える影響	- 71 -
3.4.3.1	H-type	- 71 -
3.4.3.2	V-type	- 75 -
3.5	要約	- 77 -
4.	走幅跳における重心速度および跳躍角の簡易的な推定方法に関する検討 (研究課題 2)	- 79 -
4.1	目的	- 79 -
4.2	方法	- 80 -
4.2.1	重心速度の推定方法	- 80 -
4.2.2	被験者	- 82 -
4.2.3	分析試技	- 82 -
4.2.4	データ処理	- 86 -
4.2.5	算出項目	- 86 -
4.2.6	統計処理	- 86 -
4.3	結果	- 87 -
4.3.1	推定式に用いた平均値	- 87 -
4.3.2	身体重心速度および跳躍角の推定	- 87 -
4.3.3	推定式を用いた高校生男子競技者のタイプ分け	- 93 -
4.4	考察	- 93 -

4.4.1	推定式の妥当性	- 93 -
4.4.2	跳躍タイプ推定への活用	- 97 -
4.5	要約	- 100 -
5.	高校生競技者に対する跳躍タイプに応じた指導を行う場合への示唆（研究課題 3）	- 102 -
5.1	指導現場における跳躍タイプの推定値と目標値の設定	- 102 -
5.2	跳躍タイプに応じた高校生競技者の指導	- 105 -
5.2.1	方法	- 105 -
5.2.2	結果	- 107 -
5.2.3	科学的根拠に基づく走幅跳の技術指導の評価ポイント	- 113 -
6.	結論	- 117 -
6.1	高校生男子走幅跳競技者の跳躍タイプによる特徴について	- 117 -
6.2	身体重心速度の推定および跳躍タイプの分類の手法について	- 118 -
6.3	今後の課題	- 119 -

参考文献

謝辞

表一覽

Table 3-1	Characteristics of subject.
Table 3-2	Competition data of analysis.
Table 3-3	Characteristics of subjects for H-type and V-type.
Table 3-4	Jump distance and takeoff time.
Table 3-5	C.G. height and the rate of change in C.G. height during the takeoff phase.
Table 3-6	C.G. velocities during the takeoff phase.
Table 3-7	Knee joint angles during the takeoff phase.
Table 3-8	Ankle joint angles of takeoff leg during the takeoff phase.
Table 3-9	Trunk angles during the takeoff phase.
Table 4-1	Characteristics of subject.
Table 4-2	Competition data of analysis.
Table 4-3	The mean values to use estimations.
Table 4-4	Comparison of motion analysis and estimation (Horizontal velocity).
Table 4-5	Comparison of motion analysis and estimation (Vertical velocity).
Table 4-6	Comparison of motion analysis and estimation (Jump angle).
Table 5-1	Parameters of takeoff motion.
Table 5-2	Correlation coefficients between increase in vertical velocity during the 1st phase of the takeoff and takeoff motions in H-type subject.
Table 5-3	Correlation coefficients between increase in vertical velocity during the takeoff phase and takeoff motions in V-type subject.
Table 5-4	Result of multiple regression analysis by forced entry method in H-type subject.
Table 5-5	Result of multiple regression analysis by forced entry method in V-type subject.

図一覧

- Figure 2-1 Experimental setup to analyze takeoff phase.
- Figure 2-2 Experimental setup to analyze landing phase.
- Figure 2-3 Definitions of joint angles and segment angles.
- Figure 2-4 Definitions of touchdown and toecoff and landing distance.
- Figure 2-5 Definitions of movement phases for preparation for takeoff.
- Figure 2-6 Definitions of movement phases for takeoff.
- Figure 3-1 Definition of movement of the center of gravity of the free leg.
- Figure 3-2 Changes in horizontal (top) and vertical (bottom) C.G. velocities during the takeoff phase.
- Figure 3-3 Changes in knee joint angles (top) and angular velocities of knee (bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.
- Figure 3-4 Changes in ankle joint angle (top) and angular velocity of ankle (bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.
- Figure 3-5 Changes in angles of thigh (left, top) and shank (right, top) of the takeoff leg during the takeoff phase, and changes in angular velocities of thigh (left, bottom) and shank (right, bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.
- Figure 3-6 Changes in angle of thigh (left, top) and shank (right, top) of the free leg during the takeoff phase, and changes in angular velocity of thigh

(left, bottom) and shank (right, bottom) of the free leg during the takeoff phase.

Figure 3-7 Changes in trunk angle during the takeoff phase.

Figure 3-8 Changes in swing height (left, top), swing length (right, top) and vertical (left, bottom) and horizontal (right, bottom) velocities of the center of gravity of free leg during the takeoff phase.

Figure 3-9 Changes in C.G. height during the preparation of the takeoff.

Figure 3-10 Changes in horizontal (top) and vertical (bottom) velocities during the preparation of the takeoff.

Figure 3-11 Changes in angle of knee joint of the takeoff leg (top) and free leg (bottom) during the preparation of the takeoff.

Figure 3-12 Changes in angle of ankle joint of the takeoff leg (top) and free leg (bottom) during the preparation of the takeoff.

Figure 3-13 Changes in angle of thigh (top) and angular velocity of thigh (bottom) of the takeoff leg during the preparation of the takeoff.

Figure 3-14 Changes in angle of thigh (top) and angular velocity of thigh (bottom) of the free leg during the preparation of the takeoff.

Figure 3-15 Changes in angle of shank (top) and angular velocity of shank (bottom) of the takeoff leg during the preparation of the takeoff.

Figure 3-16 Changes in angle of shank (top) and angular velocity of shank (bottom)

of the free leg during the preparation of the takeoff.

- Figure 3-17 Changes in angle of trunk during the preparation of the takeoff.
- Figure 3-18 Correlation between jump distance and jump angle.
- Figure 3-19 Stick picture of the standard motion of the takeoff leg during the 1st half of takeoff in H-type and V-type subject.
- Figure 3-20 Stick picture of the standard motion of the takeoff leg during the 2nd half of takeoff in H-type and V-type subject.
- Figure 3-21 Characteristics the takeoff motion during the takeoff phase of H-type.
- Figure 3-22 Characteristics the takeoff motion during the takeoff phase of V-type.
- Figure 3-23 Correlation between $\angle$ VVTD-TO and change rate of C.G. height from L2off - TD.
- Figure 3-24 Characteristics motion during the preparation of the takeoff of H-type.
- Figure 3-25 Characteristics motion during the preparation of the takeoff of H-type.
- Figure 4-1 Definitions of components of jumping distance of the long jump.
- Figure 4-2 Definitions of loss distance of takeoff and loss distance of landing.
- Figure 4-3 Correlations between motion analysis and estimation.
- Figure 4-4 Classification of jump angle.
- Figure 4-5 Classification of jump angle with M-type .
- Figure 5-1 Spreadsheet to estimate C.G. velocities and jump angle.
- Figure 5-2 Scatter plot graph of horizontal velocity and vertical velocity.

1. 緒言

1.1 研究の背景

陸上競技における近年の高校生競技者の競技力レベルは向上しており，世界ユース選手権や世界ジュニア選手権といった国際大会における活躍も目立っている．走幅跳に着目しても，国際大会において上位入賞者や決勝ラウンドへの進出者が複数見られるなど，日本の高校生走幅跳競技者は国際大会においてメダルを争うことのできるレベルにあるといえるであろう．一方で，日本国内の走幅跳の競技レベルは日本記録が 20 年以上にわたって更新されておらず，オリンピックや世界選手権における入賞者も近年は見られない．このような現状を踏まえると，高校生競技者が大学，社会人とカテゴリーを経ていく中でさらなる競技レベルの向上を目指すためのサポートが必要であり，高校生競技者に対しても長期的な競技レベルの向上を見据えた指導が求められるといえる．日本陸上競技連盟（2015）は 2020 年に開催される東京オリンピックに向けて，高校生競技者を含むジュニア世代の競技者の強化のために科学的データによるサポートも重要になると述べており，一流競技者に対する科学的データの収集とフィードバックだけでなく，高校生競技者の強化と育成にも科学的手法を用いることの重要性が指導現場においても認識されつつあるといえる．つまり，高校生競技者の活動の中心となる運動部活動における指導にも科学的な視点を段階的に導入していくべきであり，スポーツ科学の研究現場には運動部活動指導においても活用可能な科学的根拠に基づくコーチング手法の提案などが求められている．また，指導現場の教員にも科学的データを理解し活用する力がより一層要求されるようになると考えられる．

走幅跳に関するバイオメカニクス的研究や報告に注目すると、その対象は世界一流競技者や日本一流競技者が中心である。走幅跳の運動局面はその動作の特徴から助走、踏切、空中、着地の4局面、または踏切準備を加えた5局面から構成されるが、走幅跳の空中局面で身体は放物運動を行うため、跳躍距離の大部分は踏切離地時の身体重心の水平方向および鉛直方向の速度と跳躍角度によって決定する。つまり、跳躍距離を伸ばすためには助走において水平速度を高め、踏切で効果的に鉛直速度を獲得することが課題となる（村木ほか、2004）。そのため、走幅跳に関するバイオメカニクス的研究や報告は助走および踏切準備、踏切の3局面におけるKinematics的特徴やKinetics的特徴と、そのメカニズムを対象としたものが非常に多い（Nixdorf and Bruggemann, 1983 : 深代, 1983 : Hay, 1986 : Koh and Hay, 1990 : Lees ほか, 1993 : 深代ほか, 1994 : Coe, 1997 : 志賀・尾縣, 2004 : Phillips and Lees, 2005 : Panoutsakopoulos and Kollias, 2007 : 伊藤ほか, 2009 : 小山ほか, 2010 : 清水ほか, 2011）。

走幅跳の踏切動作に関する研究では、身体重心の速度やその変化に着目した類型化も行われている。斉藤と阿江（1991）は大学生競技者24人を対象に、踏切局面における身体重心の速度に関するパラメータを用いて踏切動作を12のパターンに類型化しており、清水ほか（2011）は国内外の一流走幅跳競技者19人を対象に、身体重心の速度変化に着目して踏切動作を7のパターンに類型化して、その特徴を明らかにしている。さらに Shimizu et al.（2012）は国内外の一流走幅跳競技者19人を対象に、踏切離地時の跳躍角の平均値（ $22.03 \pm 1.98^\circ$ ）を基準として跳躍角の低いH-type、跳躍角の高いV-typeの2タイプに分類し、踏切準備および踏切における各タイプの特徴を明らかにしている。このように、身体

重心の速度や跳躍角を用いて類型化された跳躍タイプによって、踏切準備および踏切局面における特徴が異なることから、競技者の跳躍タイプを知ることはコーチングやトレーニング計画の組み立てなどを行う上での手がかりの1つとなるといえるであろう。しかしながら、跳躍タイプに応じた特徴について検討した研究は一流競技者を対象としたものに限定されており、跳躍技術や体力レベルが発展途上にあり、競技レベルの変化が著しい高校生競技者を対象とした研究は見当たらない。

高校生競技者を対象とした研究では、大村ほか（2006）が全国高校総体の入賞者を対象として、その現状と課題について助走のピッチとストライドおよび2次元動作分析の結果をもとに検討している。また、柴田ほか（2015）は日本一流高校生競技者2名を対象として、縦断的な踏切動作の変化を事例的に検討している。このように、高校生競技者を対象とした研究は助走スピードに関するものや全国規模の大会における事例報告が中心であり、幅広い競技レベルの高校生競技者を対象とした研究は少なく、運動部活動指導に科学的な視点を導入するための基礎的な知見は不十分であるといえるであろう。

このような現状を踏まえ、運動部活動における指導に科学的な視点や手法を導入していくための課題は大きく分類して2つあると考えられる。まず1つ目に高校生競技者の科学的なデータが不足していること、2つ目は運動部活動指導の現場において科学的データを活用することのできる人材が不足しており、指導現場で簡易的に科学的データを収集し活用する手段が確立されていないことがあげられる。

1.2 研究目的

本研究の目的は、高校生男子走幅跳競技者における跳躍タイプごとの踏切準備および踏切動作の特徴を、バイオメカニクス的手法を用いて明らかにするとともに、跳躍のタイプ分けを指導現場で簡易的に行うことのできる方法について検討し、高校生競技者に対する科学的データを活用した跳躍タイプに応じた指導方法を提案することである。

1.3 研究課題

本研究の目的を達成するため、以下の研究課題を設定した。

研究課題 1

高校生走幅跳競技者を跳躍タイプで分類し、各跳躍タイプの踏切準備および踏切局面における Kinematics の特徴をバイオメカニクスの的に明らかにすること。

研究課題 2

一般的な指導現場で使用可能な機材を用い、走幅跳における踏切離地時の重心速度および跳躍角を推定する簡易的な方法について検討し、指導現場で簡易的に跳躍タイプの分類を行うための方法を提案すること。

研究課題 3

研究課題 1 および 2 で得られた結果から、高校生走幅跳競技者を対象として指導現場で跳躍タイプに応じた技術指導を行う際の手法に関する示唆を引き出すこと。

1.4 作業上の仮定

本研究は主に以下の仮定に基づいて行われた。

- ① 実験日時の気象条件の相違は跳躍動作に影響しなかった.
- ② 身体は 14 の部分からなるリンクセグメントモデルとみなすことができる.
- ③ 身体部分の質量や慣性特性には, 阿江 (1996) の推定式を適用できる.

1.5 研究の限界

本研究で得られた結果には, 以下に示す限界があると考えられる.

- ① 本研究において跳躍タイプの分類に用いた基準値は高校生男子走幅跳競技者の平均値である. したがって, 本研究で用いた基準値は競技レベルが異なる日本一流競技者や女子競技者のタイプ分けの基準値としてそのまま適用するのには限界がある.
- ② 研究課題 1 における被験者は高校生男子走幅跳競技者である. したがって, 本研究で得られた結果をシニア男子競技者, 女子競技者, 小中学校の児童, 生徒に対する技術指導などにそのまま適用できない可能性がある.
- ③ 研究課題 2 における推定式の被験者は日本一流男子走幅跳競技者から高校生男子走幅跳競技者である. したがって, 競技レベルや身体特性が大きく異なる女子競技者や小中学校の児童, 生徒にそのまま適用できない可能性がある.

2. 方法

本研究では、3つの研究課題を明らかにするために、3次元動作分析法により走幅跳の踏切局面および着地局面における動作の分析を行った。

各研究課題に関する被験者、分析試技、条件などについては以下の各章で詳細に述べるが、本章ではこれらに共通するデータ収集法および算出方法について述べる。

2.1 VTR 撮影

Figure 2-1 および 2-2 は本研究におけるハイスピードカメラ、デジタルビデオカメラの設置状況を示している。分析試技の撮影は各競技会が行われた競技場のスタンドに設置した2台のハイスピードカメラ(EX-F1, CASIO 社製;DMC-FZ300, Panasonic 社製;DMC-FZ200, Panasonic 社製)を用いて、被験者の跳躍を助走路の斜め前方および斜め後方から撮影した。同時に3次元DLT法により3次元座標を算出するため、各競技会の前に2.4mまたは、2.5mのキャリブレーションポールを撮影範囲内の計測点に順に立て撮影した。

踏切局面の撮影における撮影範囲は、跳躍ピットに設置された踏切板の跳躍方向2mおよび助走路6m、左右は助走路の幅(1.35m)とし、被験者の2歩前接地から踏切離地までを毎秒240field、250fieldまたは300fieldで固定撮影した(Figure 2-1)。

また、着地局面の撮影における撮影範囲は、砂場の踏切板から跳躍方向5m地点から8.5m地点(3.5m)、左右は砂場の幅(2.91m)とし、被験者の空中から着地にかけての動作を毎秒240fieldで固定撮影した(Figure 2-2)。さらに、被験者の助走から着地までの跳躍全体を撮影するために、1台のデジタルビデオカメラ(iVIS HFR52, Canon 社製)により毎秒60field

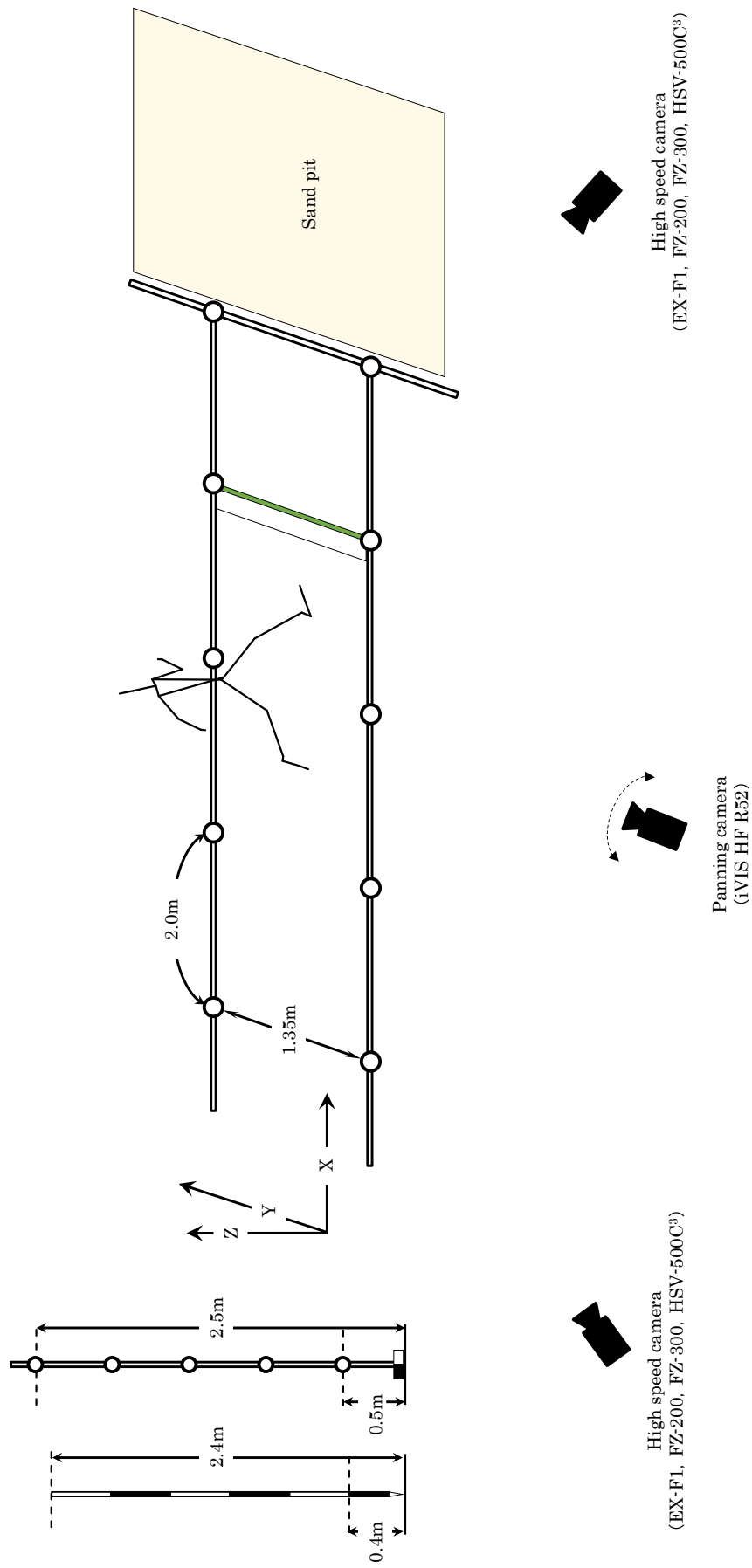


Figure 2-1 Experimental setup to analyze takeoff phase.

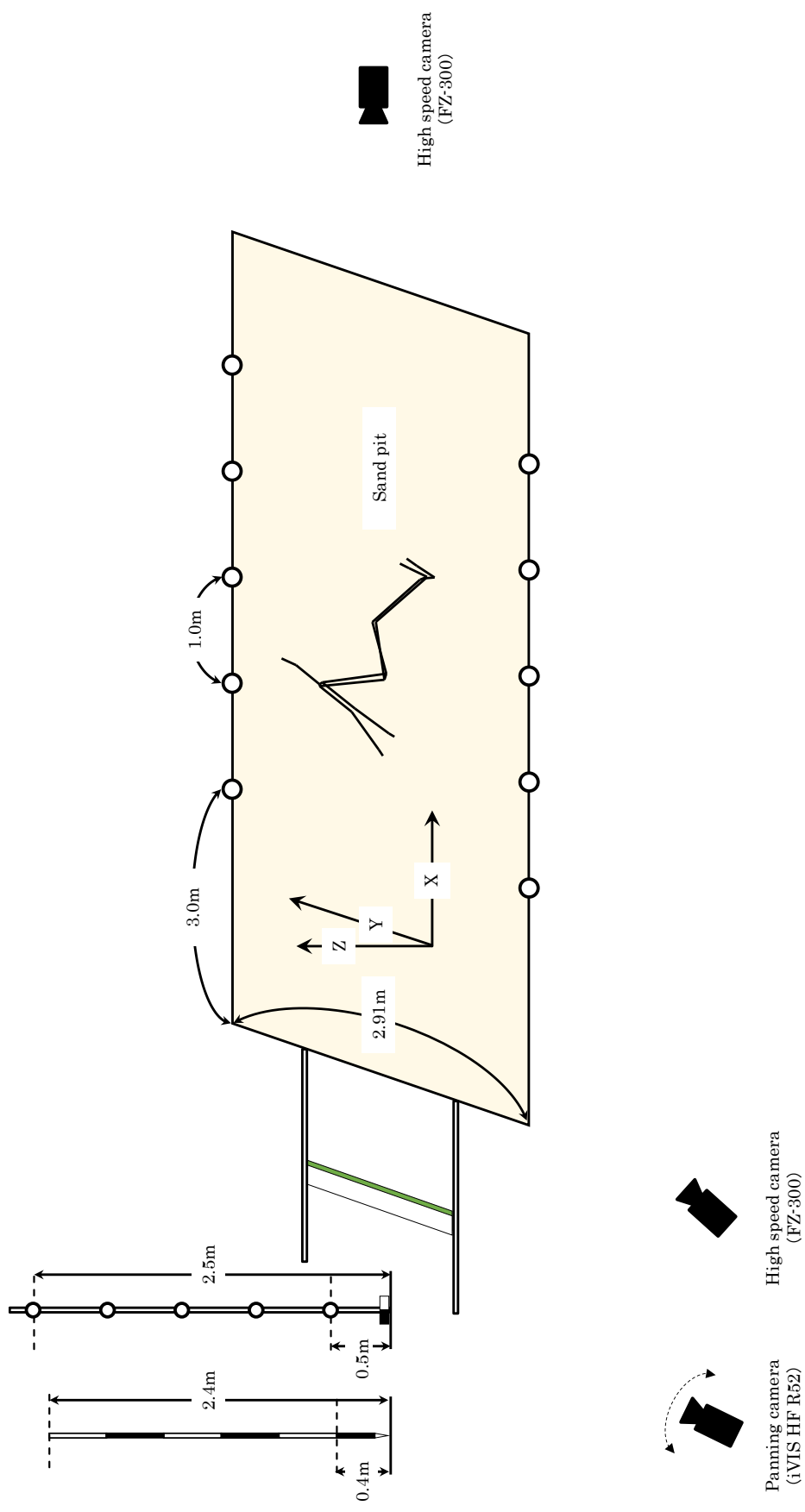


Figure 2-2 Experimental setup to analyze landing phase.

でパンニング撮影した。

2.2 データ処理

撮影した VTR 画像から、踏切局面の分析では踏切 2 歩前離地の 10 コマ前から踏切離地の 10 コマ後までを、着地動作の分析では着地の 20 コマ前から 20 コマ後までの身体分析点 23 点をビデオ動作解析システム (Frame-DIASIV, DKH 社製) によりデジタイズした。なお、2 台のカメラの同期には踏切局面の分析では踏切接地コマを、着地局面の分析では着地コマを用いた。2 台のカメラの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 次元座標を算出した。実座標は進行方向を X 軸、進行方向左向きを Y 軸、鉛直方向を Z 軸とした。得られた 3 次元座標は、Wells and Winter (1980) の方法により最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化を行った。このようにして決定された最適遮断周波数は各章で示している。

2.3 算出項目および算出方法

① 全身と部分の重心の位置、速度

平滑化した 3 次元座標から阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心位置、部分の慣性モーメントを算出した。また、全身および部分の重心位置を数値微分することで、それぞれの重心の速度を算出した。

② 滞空時間および接地時間

撮影した VTR 映像から、滞空時間および接地時間を算出した。

③ 関節角度および身体部分角度

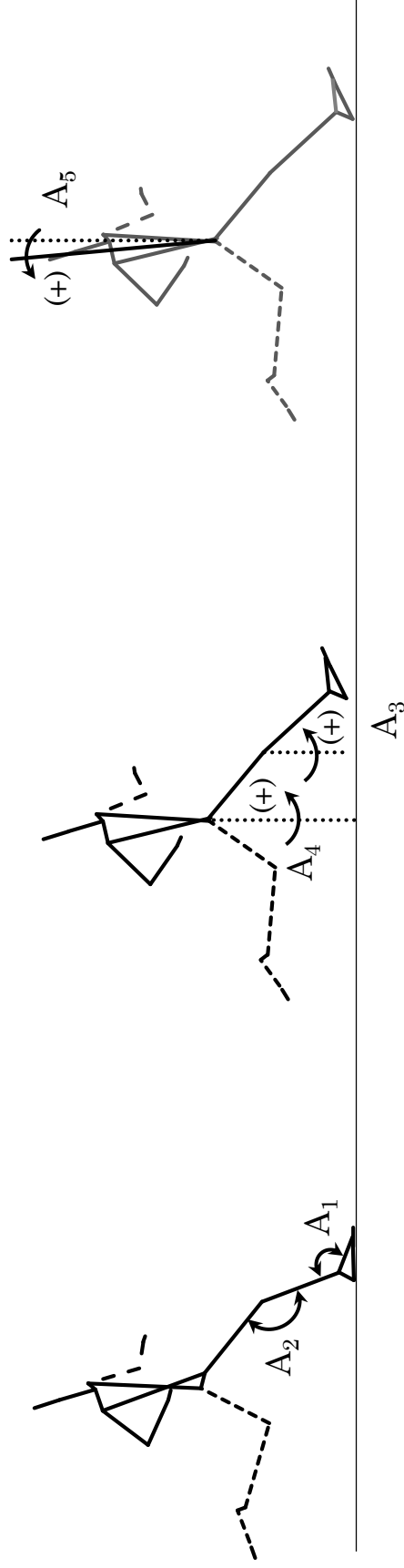
身体分析点の 3 次元座標から関節および部分の角度を算出した (Figure 2-3). 足関節角度は膝中点と外踝点を結ぶベクトルと外踝点と足先を結ぶベクトルのなす角度, 膝関節角度は大腿と下腿のなす角度とし, 底屈および伸展を正, 背屈および屈曲を負とした. 大腿角度は大転子と膝中点を結ぶベクトルが大転子から下ろした鉛直線となす角度, 下腿角度は膝中点と外踝点を結ぶベクトルが膝中点から下ろした鉛直線となす角度とし, 鉛直線に対して反時計回りを正とした. 体幹角度は左右肩の中点と左右大転子の中点を結ぶベクトルが鉛直線となす角度とし, 時計回りを正とした. また, 算出した角変位を数値微分することで角速度を算出した.

④ 接地距離, 離地距離および着地距離

Figure 2-4 は接地および離地時における足部と身体重心の距離を示している. 接地時における身体重心から支持脚の踵までの水平距離を接地距離とし, 離地時における身体重心から支持脚のつま先までの水平距離を離地距離とした. また, 着地時における身体重心から砂場に接地した脚の踵までの水平距離を着地距離とした.

2.4 時系列データの規格化と平均

時系列データは踏切 2 歩前の離地時から踏切離地までを各歩の接地および離地時の 5 時点で 4 局面に分け (Figure 2-5), 各局面を 100%として局面時間を規格化した後平均した. また, 踏切局面は踏切脚膝関節最大屈曲時 (MKF) を基準に, 前半と後半に分けた (Figure 2-6).



A_1 : Ankle joint angle

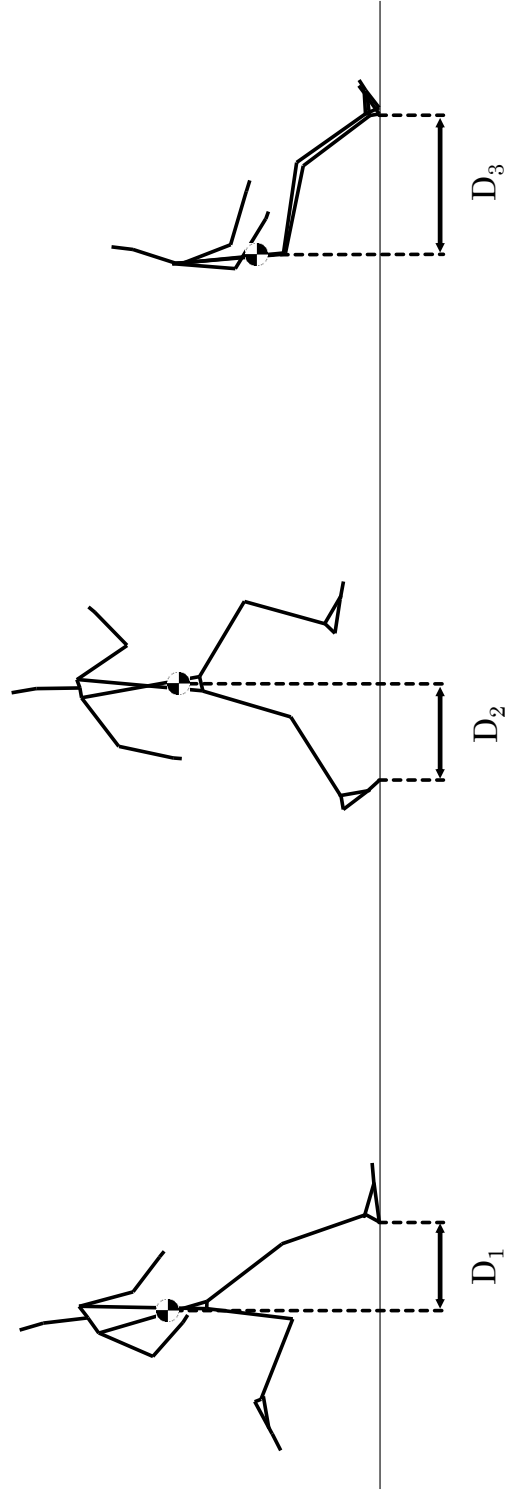
A_2 : Knee joint angle

A_3 : Shank angle (counterclockwise rotation, + ; Positive value represents backward lean of the shank)

A_4 : Thigh angle (counterclockwise rotation, + ; Positive value represents backward lean of the thigh)

A_5 : Trunk angle (counterclockwise rotation, + ; Positive value represents backward lean of the torso)

Figure 2-3 Definitions of joint angles and segment angles.



- D_1 : Touchdown distance
- D_2 : Takeoff distance (Takeoff distance)
- D_3 : Landing distance

Figure 2-4 Definitions of touchdown and takeoff and landing distance.

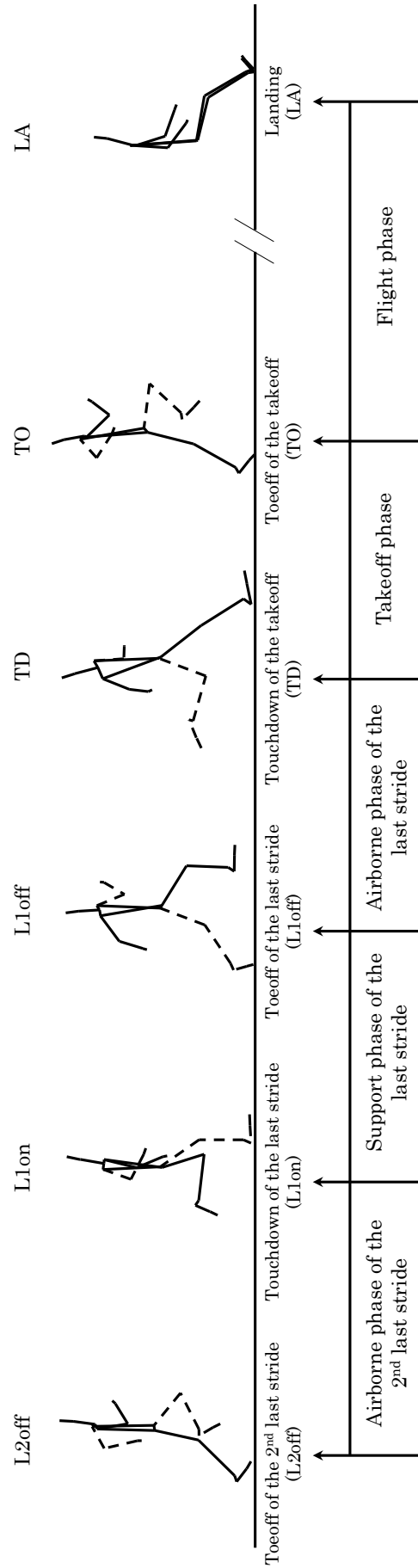


Figure 2-5 Definitions of movement phases for preparation for takeoff.

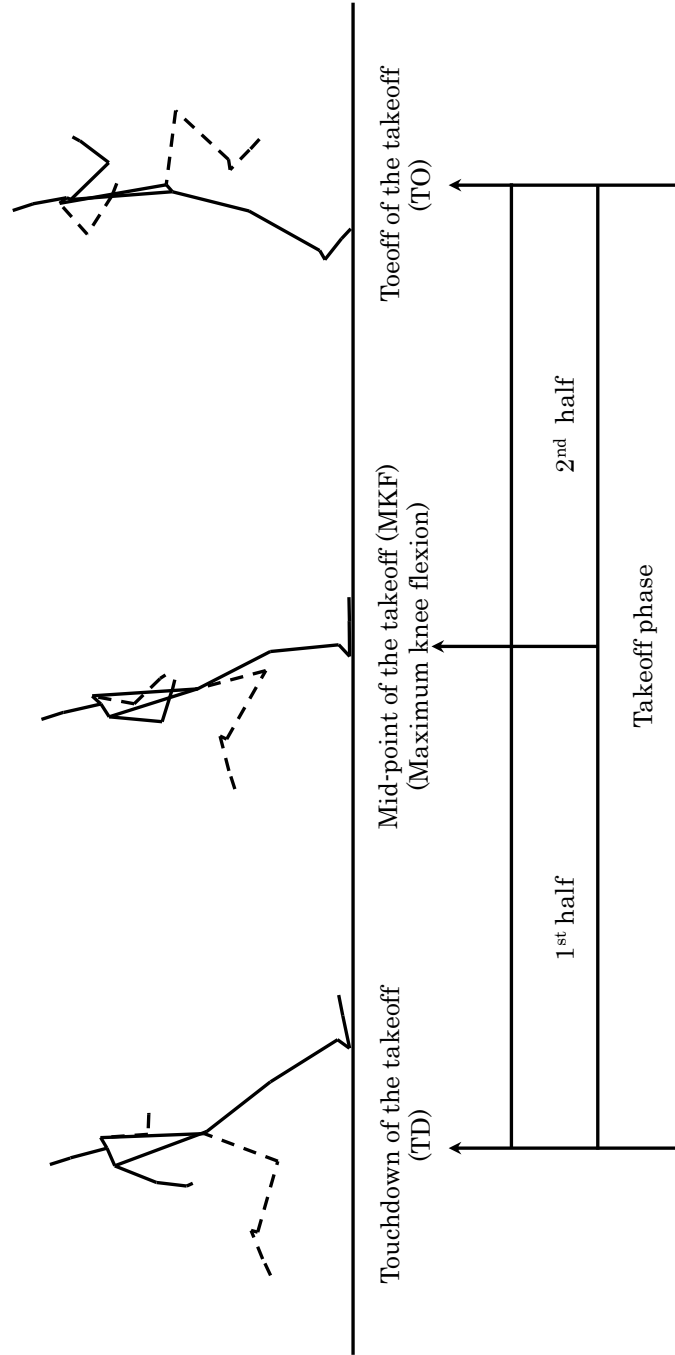


Figure 2-6 Definitions of movement phases for takeoff.

2.5 統計処理

研究課題 1, 2 および 3 では, 各分析項目間の相関の強さを検定するために, **Pearson** の相関係数 r を算出した. また, 各章ごとに用いた統計処理については各章において詳しく述べる. なお, 本研究における統計処理の有意水準はすべて 5%未満とした.

すべての統計処理には IBM SPSS Statistics 22.0 を使用した.

3. 跳躍タイプに着目した高校生男子走幅跳競技者における跳躍技術の Kinematics 的特徴 (研究課題 1)

3.1 目的

走幅跳のパフォーマンスはその大部分が踏切離地時の重心速度によって決定する。そのため、走幅跳の踏切における課題は助走で高めた水平速度の減速を最小限にし、大きな鉛直速度を得ることである (Hay, 1993)。また、踏切準備における課題は水平速度を維持しながら、身体重心を下げることでとされている (Nixdorf and Bruggemann, 1983)。

走幅跳の踏切動作および踏切準備動作に関する研究の対象は、技術が確立している世界の一流競技者や日本の一流競技者であることが多く、競技レベルの変化が大きい高校生競技者の跳躍技術に関する基礎的な研究は不十分である。また、跳躍技術が確立していないことが予想される高校生競技者の跳躍技術を明らかにするためには、競技者の跳躍を跳躍タイプで分類し、類型化した上でその特徴を検討することが有効であると考えられる。

本章の目的は、高校生男子走幅跳競技者を対象に、踏切離地時の跳躍角度を指標とした跳躍タイプによる分類を行い、各跳躍タイプの踏切局面および踏切準備局面における Kinematics の特徴を明らかにすることである。

3.2 方法

3.2.1 被験者

被験者は 2013 年から 2015 年に日本国内における競技会に出場した高校生男子走幅跳競

技者 101 人である． Table 3-1 は被験者の自己記録および分析試技の平均値を示している．

Table 3-2 は映像を撮影した競技会一覧であり， その一部は日本陸上競技連盟科学委員会の活動により収集したものである．

3.2.2 分析試技

分析試技は撮影したすべての競技会における各被験者の試技の中で最も記録の良かった試技を成功試技として分析の対象とした．

3.2.3 データ処理

第 2 章に示した方法で踏切 2 歩前離地から踏切離地までの各被験者の身体分析点 23 点の 3 次元座標を算出し， 平滑化を行った． 最適遮断周波数は 4.8-7.5Hz の範囲であった． コントロールポイントの 3 次元座標に対する標準誤差の範囲を以下に示した．

X 座標：0.006m - 0.012m, Y 座標：0.006m - 0.012m, Z 座標：0.006m - 0.015m

3.2.4 算出項目

第 2 章に示した方法で， 以下の項目を算出した．

- ① 身体重心位置および身体重心速度
- ② 滞空時間
- ③ 関節角度・身体部分角度および角速度
- ④ 下肢の合成重心位置および速度 (Figure 3-1)

Table 3-1 Characteristics of subject.

	Jump distance (m)	Personal best (m)
Subject (n=101)	6.84±0.45	7.00±0.44
(max - min)	(7.80 - 5.79)	(7.80 - 6.03)

Table 3-2 Competition data of analysis.

Competition name	Date	Stadium name
第7回日本ユース陸上競技選手権大会	2013.10.18	瑞穂公園陸上競技場
第29回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2013.10.20	瑞穂公園陸上競技場
第67回全国高等学校陸上競技対校選手権大会 京都府予選会	2014.5.30	西京極陸上競技場
第67回全国高等学校陸上競技対校選手権大会 近畿地区予選会	2014.6.19	西京極陸上競技場
第67回全国高等学校陸上競技対校選手権大会	2014.8.1	山梨中銀スタジアム
第8回日本ユース陸上競技選手権大会	2014.10.3	瑞穂公園陸上競技場
第30回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2014.10.5	瑞穂公園陸上競技場
第68回全国高等学校陸上競技対校選手権大会	2015.7.31	紀三井寺公園陸上競技場
第9回日本ユース陸上競技選手権大会	2015.10.16	瑞穂公園陸上競技場
第31回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2015.10.18	瑞穂公園陸上競技場

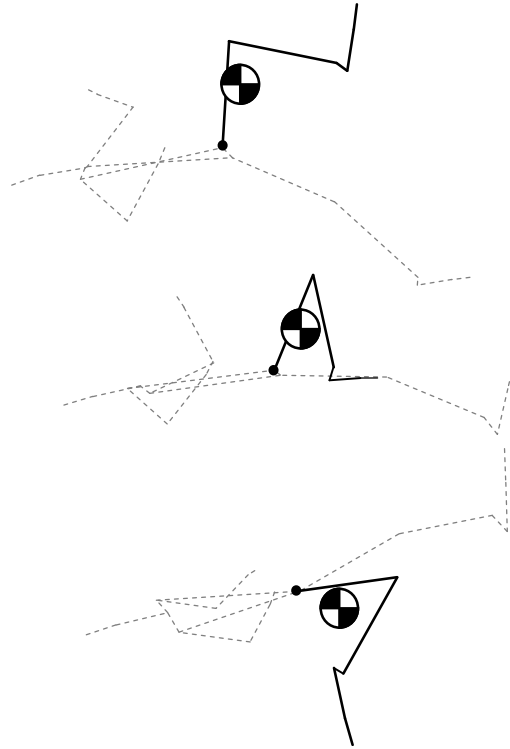
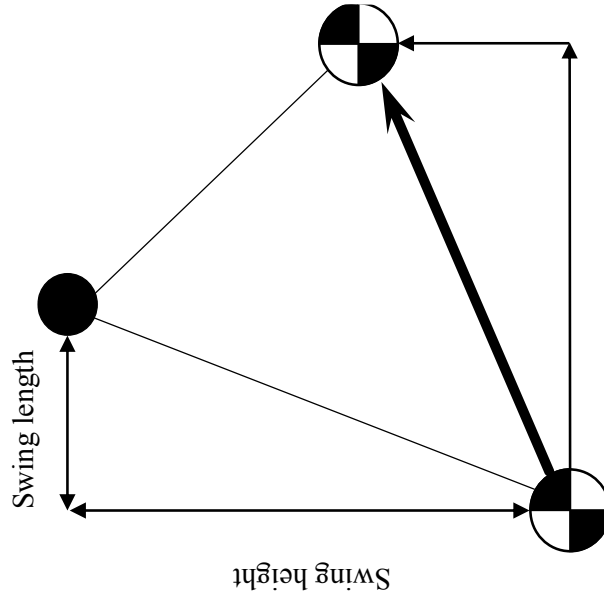


Figure 3-1 Definition of movement of the center of gravity of the free leg.

算出した下肢の3セグメント（足部，下腿，大腿）の重心位置の座標および阿江（1996）

の身体部分慣性係数を用いて，下肢の合成重心位置を算出した．

足部分重心位置・・・ (x_1, y_1, z_1)

下腿部分重心位置・・・ (x_2, y_2, z_2)

大腿部分重心位置・・・ (x_3, y_3, z_3)

下肢合成重心位置・・・

(x 座標： $(1.1x_1+5.1x_2+11.0x_3)/1.1+5.1+11.0$ ，y 座標： $(1.1y_1+5.1y_2+11.0y_3)/1.1+5.1+11.0$ ，z

座標： $(1.1z_1+5.1z_2+11.0z_3)/1.1+5.1+11.0$)

また，算出した下肢の合成重心位置と大転子の水平距離を振込幅（Swing length），鉛直距離を振込高（Swing height）とした．

3.2.5 被験者のタイプ分け

本章では，踏切離地時における全被験者の跳躍角の平均値 20.68 deg を基準とし，被験者を跳躍角が平均値未満の群（以下，H-type）および跳躍角が平均値以上の群（以下，V-type）の2群に分類した．Table 3-3 は各タイプの分析試技の平均値，自己記録の平均値および跳躍角の平均値を示している．

3.2.6 規格化および統計処理

第2章に示した方法で時系列データの規格化，統計処理を行った．さらに，本章では各タイプ間の差を検定するために対応のない t 検定を行った．

Table 3-3 Characteristics of subjects for H-type and V-type.

Subject	Jump distance (m)	Personal best (m)	Jump angle (deg)
H-type (n=52) (max-min)	6.70±0.40 (7.48 - 5.79)	6.91±0.47 (7.48 - 5.98)	19.3±1.1 (20.6 - 15.5)
V-type (n=49) (max-min)	7.00±0.46 (7.80 - 5.87)	7.11±0.37 (7.80 - 6.03)	22.1±1.0 (24.9 - 20.7)

3.3 結果

3.3.1 踏切局面

3.3.1.1 跳躍距離および踏切時間

Table 3-4 は各タイプの跳躍距離，踏切時間および各タイプの跳躍距離との相関を示している．跳躍距離は V-type が有意に大きく ($p<0.05$)，V-type は H-type と比較するとパフォーマンスが高かった．

踏切時間には有意な差は見られず，踏切の前半および後半の時間およびその割合にも有意な差は見られなかった．また，踏切局面における各時点の時間に関する項目と跳躍距離の間には各タイプともに相関は見られなかった．

3.3.1.2 身体重心高および身体重心速度

Table 3-5 は各タイプの踏切局面の各時点における身体重心高に関する項目および各タイプの跳躍距離との相関を示している．身体重心高には踏切接地時で有意な差が見られ ($p<0.05$)，V-type はより身体重心を下げた姿勢で接地していたが，踏切中間および踏切離地時の身体重心高には有意な差は見られず，踏切離地時の身体重心高は同程度であった．身体重心高の変化率は，踏切前半で有意な差は見られなかったが，踏切後半で有意な差が見られ ($p<0.05$)，V-type の踏切後半における身体重心の上昇量が大きかった．また，跳躍距離との関係を見ると，H-type では MKF および TO における身体重心高と跳躍距離の間に正の相関が見られた ($r=0.27$, $p<0.05$: $r=0.33$, $p<0.05$)．

Table 3-6 は各タイプの踏切局面における各時点の身体重心速度に関する項目および各タ

Table 3-4 Jump distance and takeoff time.

	Jump dist. (m)	Takeoff time (sec)	1st half (sec)	2nd half (sec)	TT _{1st half} / TT _{TD-TO} (%)
H-type	6.70±0.40	0.120±0.010 (N.S.)	0.048±0.009 (N.S.)	0.072±0.010 (N.S.)	40.6±7.3 (N.S.)
(Correlation between jump dist.)					
V-type	7.00±0.46	0.119±0.009 (N.S.)	0.049±0.008 (N.S.)	0.070±0.009 (N.S.)	41.3±6.4 (N.S.)
(Correlation between jump dist.)					
Significant difference	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

* significant difference (p<0.05)

Table 3-5 C.G. height and the rate of change in C.G. height during the takeoff phase.

	C.G. height			The rate of change in C.G. height	
	TD (m)	MKF (m)	TO (m)	1st half (%)	2nd half (%)
H-type	0.89±0.05	0.93±0.05	1.12±0.05	3.7±1.9	20.7±3.7
(Correlation between jump dist.)	(N.S.)	(r = 0.27*)	(r = 0.33*)	(r = 0.34*)	(N.S.)
V-type	0.88±0.04	0.91±0.04	1.12±0.04	4.2±1.7	22.4±3.1
(Correlation between jump dist.)	(N.S.)	(N.S.)	(N.S.)	(N.S.)	(N.S.)
Significant difference	*	N.S.	N.S.	N.S.	*

* significant difference (p<0.05)

Table 3-6 C.G. velocities during the takeoff phase.

Horizontal velocity						
	TD (m/s)	MKF (m/s)	TO (m/s)	$\angle$ HV (m/s)		
H-type (Correlation between jump dist.)	9.34±0.38 (r = 0.80*)	8.49±0.34 (r = 0.69*)	8.30±0.39 (r = 0.71*)	-1.03±0.23 (N.S.)		
V-type (Correlation between jump dist.)	9.34±0.45 (r = 0.92*)	8.28±0.36 (r = 0.83*)	7.99±0.41 (r = 0.89*)	-1.34±0.21 (N.S.)		
Significant difference	N.S.	*	*	*		*

Vertical velocity						
	TD (m/s)	MKF (m/s)	TO (m/s)	$\angle$ VV _{TD-TO} (m/s)	VV _{MKF/VV_{TO}} (%)	$\angle$ VV _{MKF-TO} (m/s)
H-type (Correlation between jump dist.)	-0.16±0.23 (N.S.)	1.71±0.39 (r = 0.48*)	2.91±0.17 (r = 0.61*)	3.07±0.28 (N.S.)	64.2±13.7 (N.S.)	1.20±0.38 (N.S.)
V-type (Correlation between jump dist.)	-0.21±0.20 (N.S.)	1.89±0.38 (r = 0.32*)	3.25±0.18 (r = 0.67*)	3.46±0.30 (r = 0.51*)	64.8±11.5 (N.S.)	1.36±0.37 (N.S.)
Significant difference	N.S.	*	*	*	N.S.	*

* significant difference (p<0.05)

タイプの跳躍距離との相関を示している。身体重心の水平速度には踏切接地で有意な差は見られなかったが、踏切中間および踏切離地で H-type が有意に大きく ($p<0.05$)、水平速度の減速量 ($\angle HV$) にも有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type は踏切局面における減速が大きかった。各タイプともに身体重心の水平速度の跳躍距離の間に各時点において強い正の相関が見られたが ($p<0.05$)、 $\angle HV$ と跳躍距離の間に相関は見られなかった。

身体重心の鉛直速度は踏切中間および踏切離地で V-type が有意に大きく ($p<0.05$)、踏切前半の鉛直速度獲得量 ($\angle VV_{TD-MKF}$) および後半の獲得量 ($\angle VV_{MKF-TO}$) も有意に大きかった ($p<0.05$)。一方で、踏切前半における鉛直速度の獲得比 (VV_{MKF}/VV_{TO}) に有意な差は見られなかった。跳躍距離との相関を見ると、各タイプともに MKF、TO における鉛直速度および $\angle VV_{TD-MKF}$ との間に正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type では踏切局面における鉛直速度獲得量 ($\angle VV_{TD-TO}$) との間にも正の相関が見られた ($p<0.05$)。

Figure 3-2 は身体重心速度の変化および各タイプの跳躍距離との相関の変化を示している。踏切局面における身体重心の水平速度および鉛直速度の変化を見ると、水平速度では 34-100% 時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、踏切の前半から離地にかけて V-type の水平速度の減速が大きく、各タイプとも 0-100% 時点において跳躍距離との間に正の相関が見られた ($p<0.05$)。鉛直速度では 43-100% 時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type は踏切の中間から離地にかけて鉛直速度の増加が大きかった。また、H-type では 1-100% 時点、V-type では 39-100% 時点において跳躍距離との間に正の相関が見られた ($p<0.05$)。

3.3.1.3 関節角度，身体部分角度および角速度

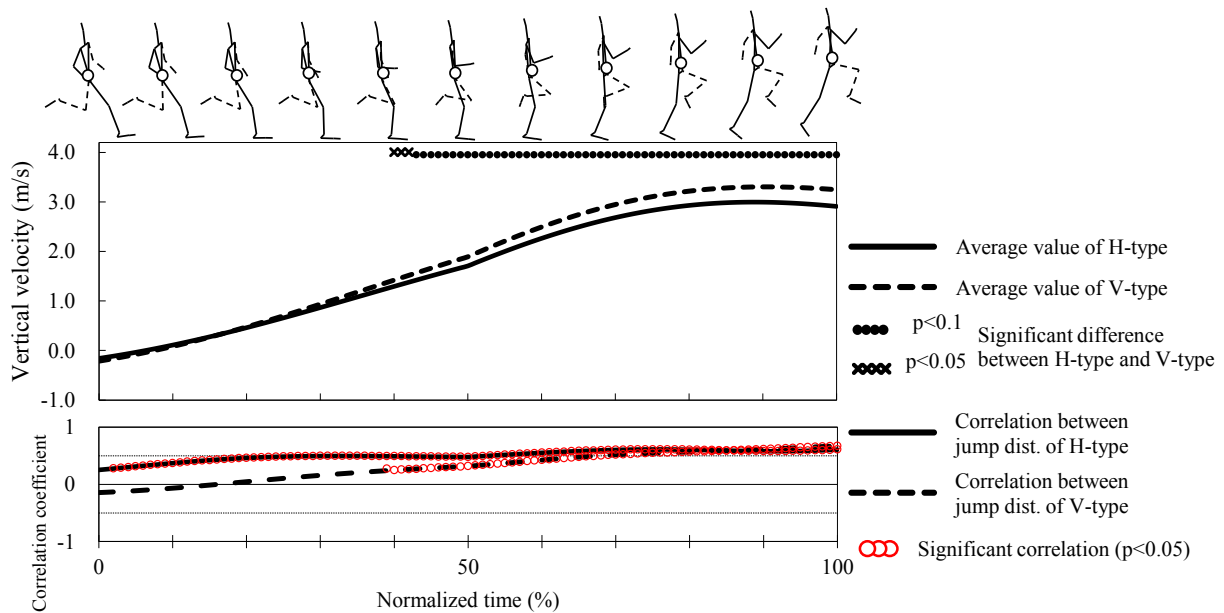
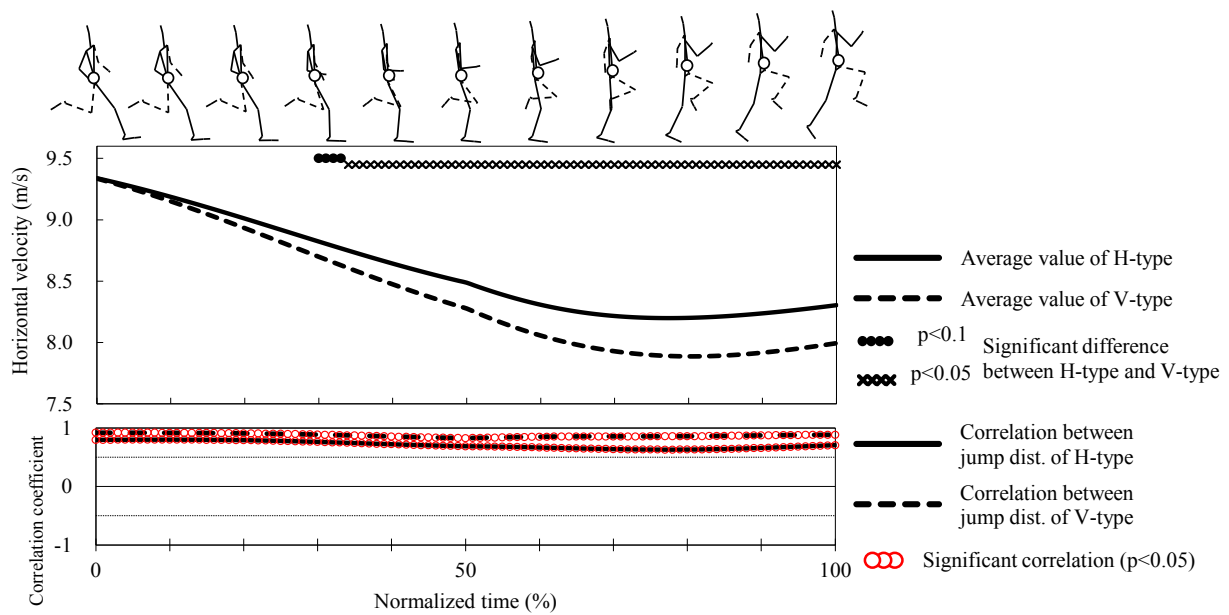


Figure 3-2 Changes in horizontal (top) and vertical (bottom) C.G. velocities during the takeoff phase.

Table 3-7 Knee joint angles during the takeoff phase.

	Support leg				Free leg			
	TD (deg)	MKF (deg)	TO (deg)	Flexion (deg)	Extension (deg)	TD (deg)	MKF (deg)	TO (deg)
H-type (Correlation between jump dist.)	160.7±4.5 (N.S.)	146.7±6.5 (N.S.)	163.7±6.9 (N.S.)	-14.0±5.7 (N.S.)	16.9±6.7 (N.S.)	74.2±13.6 (N.S.)	43.5±11.0 (N.S.)	78.5±15.0 (N.S.)
V-type (Correlation between jump dist.)	162.3±5.0 (r = 0.26*)	147.6±5.6 (N.S.)	164.6±6.8 (N.S.)	-14.7±5.2 (N.S.)	17.0±6.0 (N.S.)	74.3±12.5 (N.S.)	43.9±10.5 (N.S.)	78.9±13.3 (r = -0.30*)
Significant difference	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

* significant difference (p<0.05)

① 踏切脚膝関節角度および角速度

Table 3-7 は各タイプの踏切局面における各時点の膝関節角度に関する項目および各タイプの跳躍距離との相関の変化を示している。踏切局面における踏切脚および振上脚の膝関節角度に有意な差は見られず、踏切中の両タイプの膝関節の動作は類似していた。また、V-type では TD における膝関節角度と跳躍距離に正の相関が見られたが ($r=0.26, p<0.05$)、各タイプともにその他の踏切局面の各時点における踏切脚膝関節の姿勢と跳躍距離の間に相関は見られなかった。さらに V-type では TO における振上脚の膝関節角度と跳躍距離の間に負の相関が見られた ($r=-0.30, p<0.05$)。

Figure 3-3 は各タイプの踏切局面における踏切脚の膝関節角度および角速度の変化および各タイプの跳躍距離との間の相関の変化を示している。踏切脚の膝関節角度の変化に有意な差は見られなかったが、踏切の前半において V-type の膝関節が伸展位にある傾向が見られた。また、踏切脚の膝関節角速度の変化にも有意な差は見られなかった。跳躍距離との相関を見ると、膝関節角度には V-type では 0-19% 時点で正の相関が見られたが ($p<0.05$)、H-type では相関は見られなかった。また膝関節角速度には V-type で 21-47% 時点において負の相関が ($p<0.05$)、60-92% 時点では正の相関が見られた ($p<0.05$)。

② 踏切脚足関節角度および角速度

Table 3-8 は各タイプの踏切局面における各時点の踏切脚足関節角度に関する項目および各タイプの跳躍距離との相関を示している。足関節角度には踏切接地で有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type が足関節をより底屈した姿勢で接地していたが、足関節の最大背屈角度 (Maximum ankle flexion) および踏切離地における足関節の姿勢に有意な差は見られなか

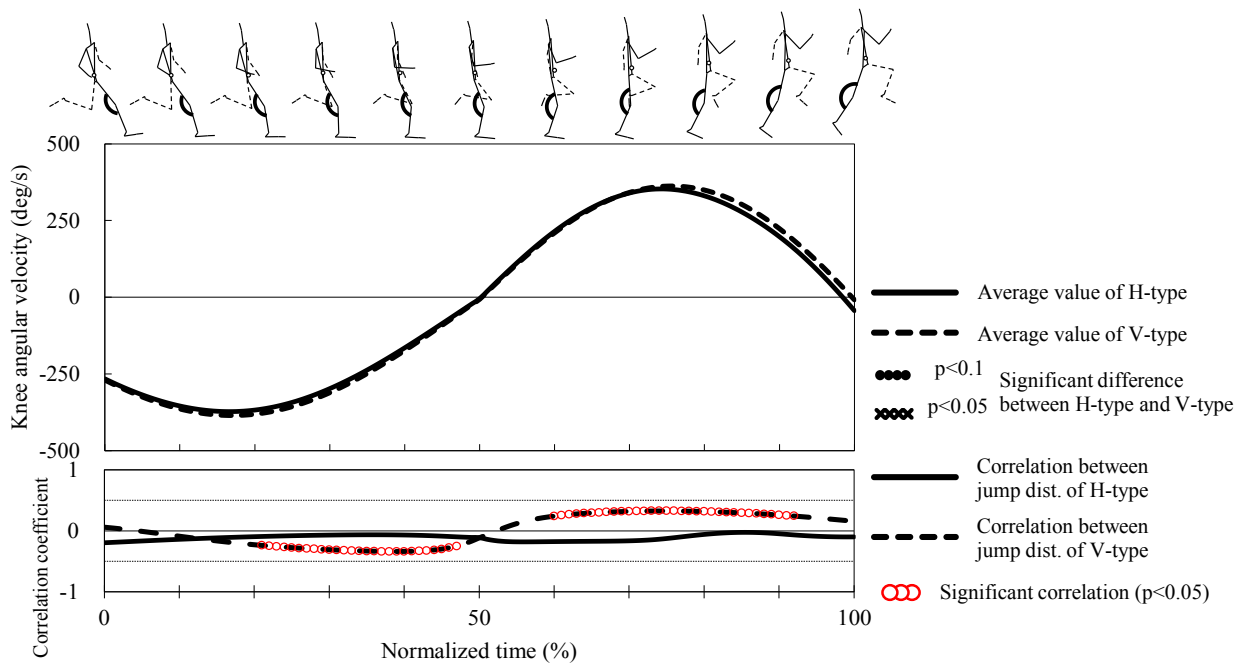
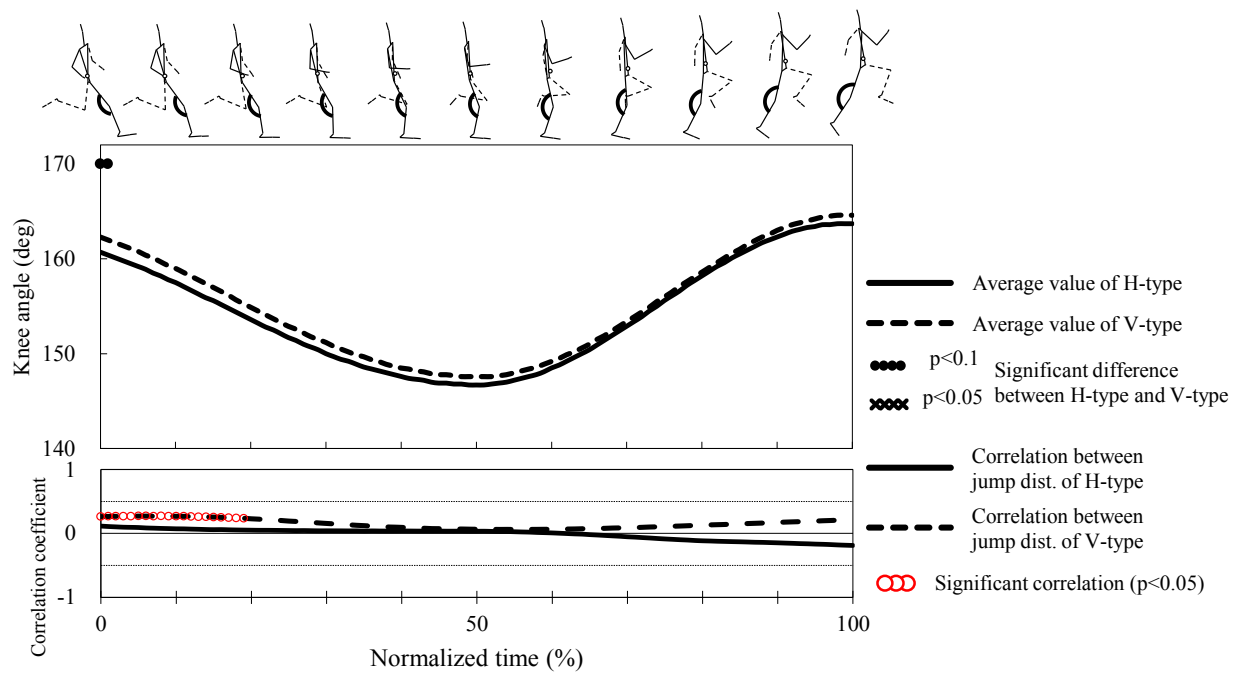


Figure 3-3 Changes in knee joint angles (top) and angular velocities of knee (bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.

Table 3-8 Ankle joint angles of takeoff leg during the takeoff phase.

	TD (deg)	Maximum ankle flexion (deg)	TO (deg)	Flexion (deg)	Extension (deg)
H-type (Correlation between jump dist.)	122.8±6.2 (N.S.)	99.9±7.1 (N.S.)	134.2±10.7 (N.S.)	-22.9±6.3 (N.S.)	34.3±8.7 (N.S.)
V-type (Correlation between jump dist.)	125.9±6.7 (r = 0.39*)	101.3±6.0 (N.S.)	132.6±10.2 (N.S.)	-24.5±6.3 (r = -0.30*)	31.3±7.6 (N.S.)
Significant difference	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

* significant difference (p<0.05)

った. さらに, 踏切における足関節の底屈量および背屈量にも有意な差は見られなかった.

また, 跳躍距離との相関を見ると V-type では TD における足関節角度との間に正の相関が ($r=0.39$, $p<0.05$), 踏切における足関節の屈曲量との間に負の相関が見られた ($r=-0.30$, $p<0.05$).

Figure 3-4 は各タイプの踏切局面における踏切脚の足関節角度および角速度の変化および各タイプの跳躍距離との間の相関の変化を示している. 足関節角度の変化には 0-15% 時点で有意な差が見られ ($p<0.05$), 踏切局面の前半において V-type は H-type と比較すると足関節が底屈位にある傾向が見られた. 足関節角速度の変化には各タイプで有意な差が見られなかった. また, 跳躍距離との相関を見ると足関節において V-type では 0-31% 時点および 98-100% 時点で正の相関が見られ ($p<0.05$), 足関節角速度において H-type では 75-87% 時点で正の相関が ($p<0.05$), V-type において 10-42% 時点で負の相関 ($p<0.05$), 67-93% 時点で正の相関が見られた ($p<0.05$).

③ 踏切脚大腿および下腿角度, 角速度

Figure 3-5 は各タイプの踏切局面における踏切脚の大腿および下腿の角度と角速度の変化, 各タイプの跳躍距離との相関を示している.

踏切脚の大腿角度は踏切接地では各タイプに有意な差は見られなかったが, 63-100% 時点で有意な差が見られ ($p<0.05$), H-type は踏切の中間から離地にかけて大腿がより前傾した姿勢で踏切離地へと向かっていた. 一方で, 踏切局面における踏切脚の大腿角速度には有意な差は見られなかった. また, 踏切脚の下腿角度には 0-23% 時点および 64-100% 時点で有意な差が見られ ($p<0.05$), V-type は踏切脚の下腿を前方へ振り出した姿勢で踏切接地

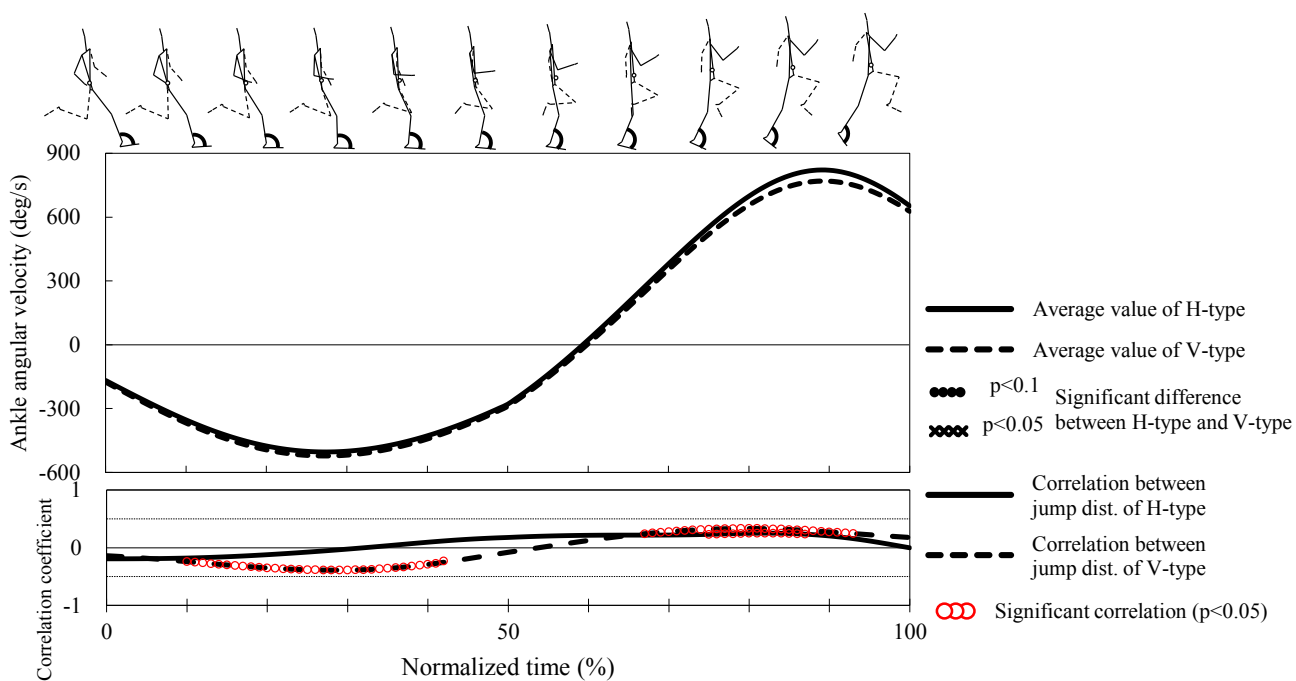
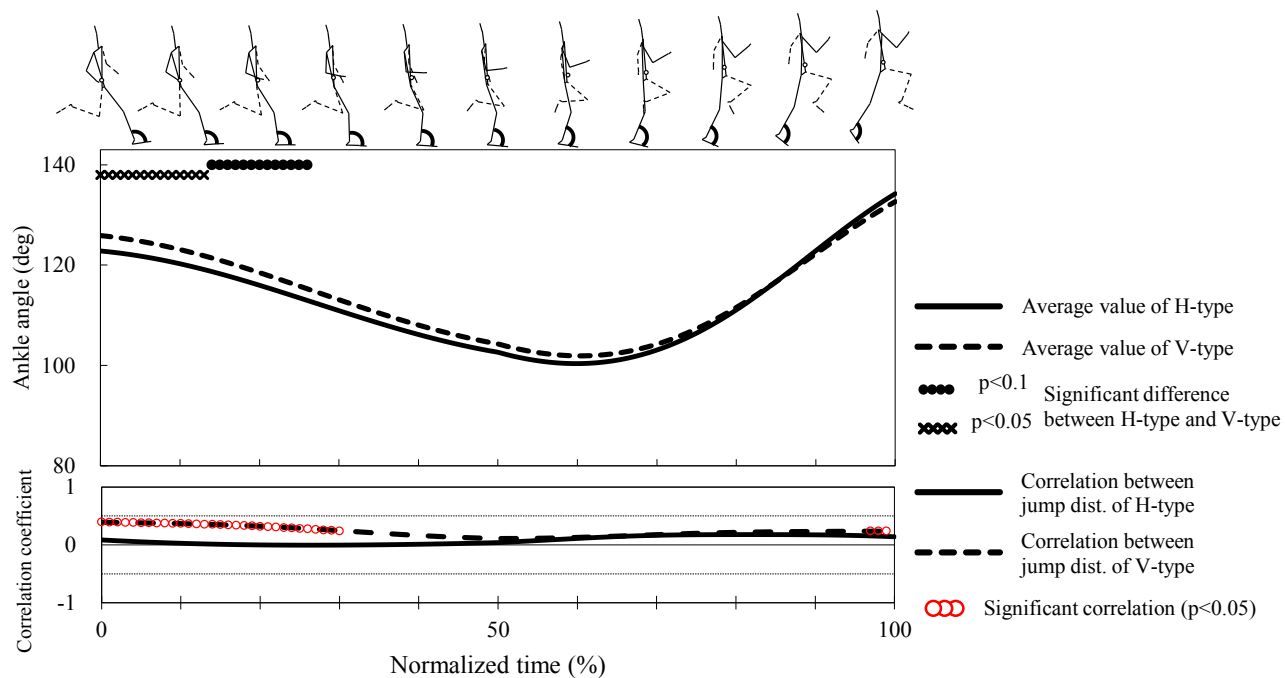


Figure 3-4 Changes in ankle joint angle (top) and angular velocity of ankle (bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.

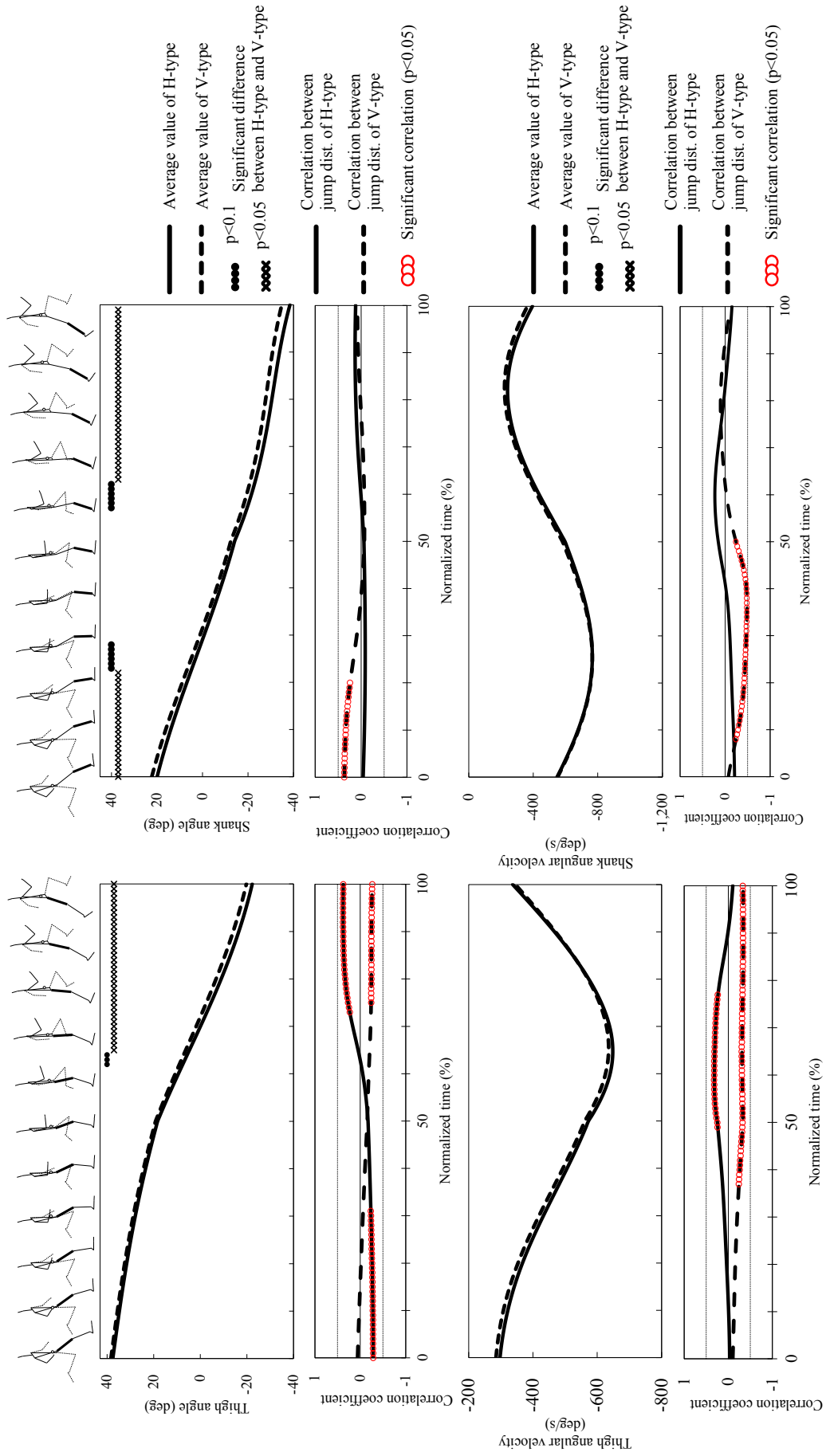


Figure 3-5 Changes in angles of thigh (left, top) and shank (right, top) of the takeoff leg during the takeoff phase, and changes in angular velocities of thigh (left, bottom) and shank (right, bottom) of the takeoff leg during the takeoff phase.

しており，H-type は踏切の後半から離地にかけて下腿をより前傾させながら踏切離地へと向かっていた．下腿角速度には踏切局面で有意な差は見られなかった．

跳躍距離との関係を見ると，踏切脚の大腿角度において H-type では 0-31%時点で負の相関が ($p<0.05$)，73-100%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)，V-type では 75-100%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)．踏切脚の大腿角速度においては H-type に 49-73%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)，V-type には 37-100%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)．踏切脚の下腿角度において H-type では相関が見られた時点はなかったが，V-type では 0-20%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)．踏切脚の下腿角速度においては H-type に相関が見られた時点はなかったが，V-type では 8-50%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)．

④ 振上脚大腿および下腿角度，角速度

Figure 3-6 は各タイプの踏切局面における振上脚の大腿および下腿の角度と角速度の変化および各タイプの跳躍距離との相関の変化を示している．

振上脚の大腿角度には踏切接地では有意な差は見られず，踏切接地時の振上脚の姿勢は類似していたが，66-100%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)，V-type は踏切の後半から離地にかけて振上脚の大腿をより引き上げた姿勢で離地していた．大腿の角速度には踏切局面で有意な差は見られなかったが，踏切の中間において V-type は振上脚の大腿を速い速度で前方へとスイングする傾向が見られた．また，踏切脚の下腿角度にも有意な差は見られなかったが，踏切の後半から離地にかけて H-type が下腿を前方へ振り出した姿勢である傾向が見られ，下腿角速度にも 60-62%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)，V-type は踏切の中間で下腿を速い速度で前方へとスイングしていた．

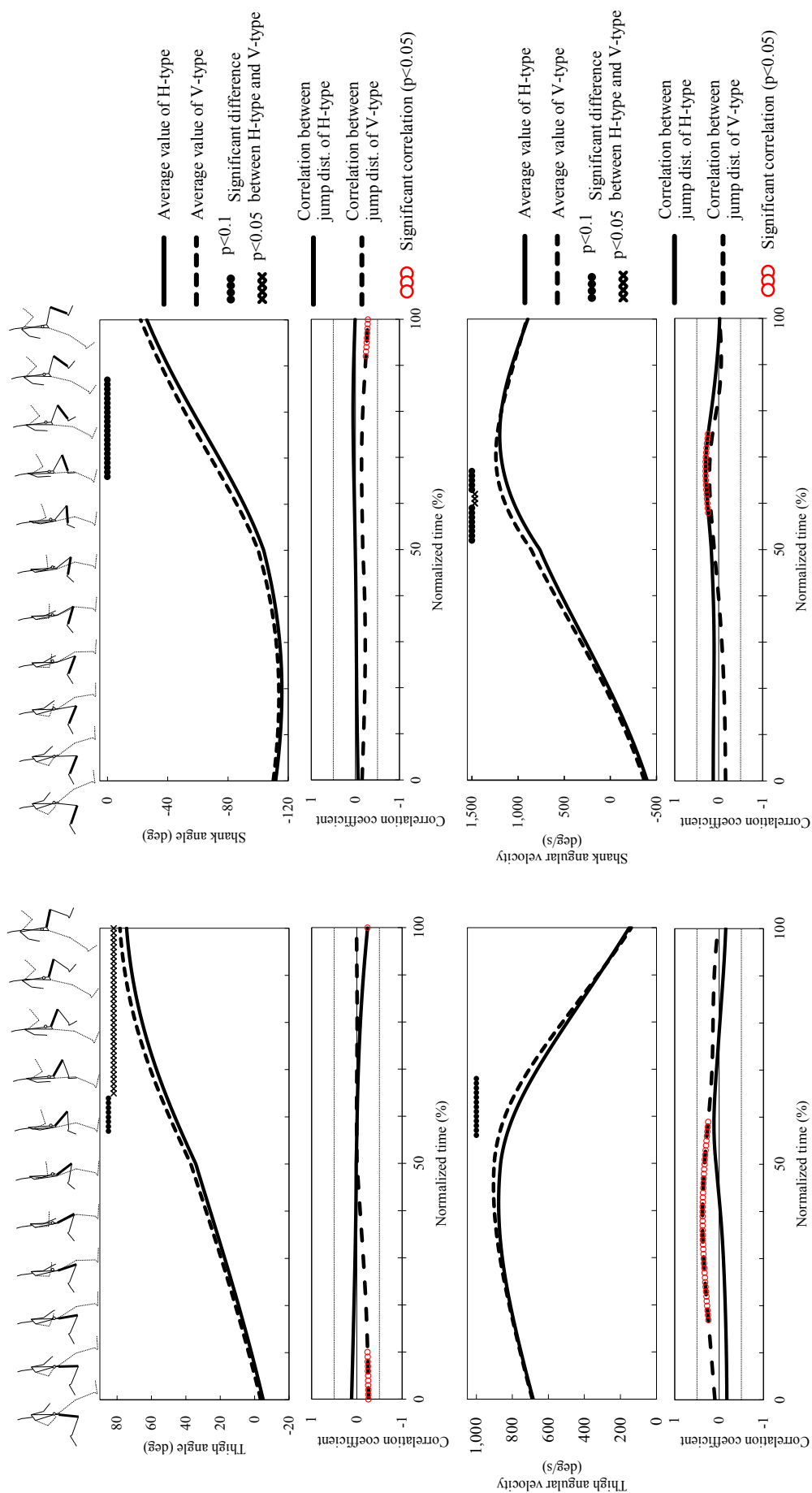


Figure 3-6 Changes in angle of thigh (left, top) and shank (right, top) of the free leg during the takeoff phase, and changes in angular velocity of thigh (left, bottom) and shank (right, bottom) of the free leg during the takeoff phase.

跳躍距離との関係を見ると、振上脚の大腿角度において H-type では 100%時点で負の相関が ($p<0.05$)、V-type では 0-10%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。振上脚の大腿角速度においては H-type に相関が見られた時点はなかったが、V-type には 17-59%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。振上脚の下腿角度において H-type で相関の見られた時点はなかったが、V-type では 92-100%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。振上脚の下腿角速度においては H-type に 58-75%時点で正の相関が見られたが ($p<0.05$)、V-type に相関が見られた時点はなかった。

⑤ 体幹角度

Table 3-9 は踏切局面の各時点における体幹角度に関する項目および各タイプの跳躍距離との相関を示している。踏切局面の各時点における体幹角度に有意な差は見られず、踏切局面における各タイプの体幹の姿勢は類似していたが、踏切局面における体幹角度の変化量 ($\angle$ TD-TO) には有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type は踏切局面における体幹の前傾量が大きかった。また、踏切後半における体幹角度の変化量 ($\angle$ MKF-TO) にも有意な差が見られ ($p<0.05$)、H-type が踏切後半で体幹角度にほぼ変化がなかったのに対して、V-type は踏切後半においても体幹をさらに前傾させていた。さらに踏切局面における最前傾角度から TO までの変化量 ($\angle$ MIN-TO) にも有意な差が見られ ($p<0.05$)、H-type の体幹の後傾量が大きかった。跳躍距離との関係を見ると、V-type の TD における体幹角度と跳躍距離との間に正の相関が見られた ($r = 0.34, p<0.05$)。

Figure 3-7 は踏切局面における体幹角度の変化および各タイプの跳躍距離との相関の変化を示している。踏切局面における体幹角度の変化にも有意な差は見られなかったが、踏

Table 3-9 Trunk angles during the takeoff phase.

	TD (deg)	MKF (deg)	TO (deg)	∠TD-TO (deg)	∠TD-MKF (deg)	∠MKF-TO (deg)	∠MIN-TO (deg)
H-type (Correlation between jump dist.)	7.0±3.9 (N.S.)	4.4±3.8 (N.S.)	4.9±4.8 (N.S.)	-2.1±4.6 (N.S.)	-2.6±2.3 (N.S.)	0.5±3.3 (N.S.)	2.3±2.0 (N.S.)
V-type (Correlation between jump dist.)	8.4±3.3 (r = 0.34*)	5.3±4.0 (N.S.)	4.1±5.1 (N.S.)	-4.3±4.6 (N.S.)	-3.1±2.6 (N.S.)	-1.2±3.1 (N.S.)	1.3±1.5 (N.S.)
Significant difference	N.S.	N.S.	N.S.	*	N.S.	*	*

* significant difference (p<0.05)

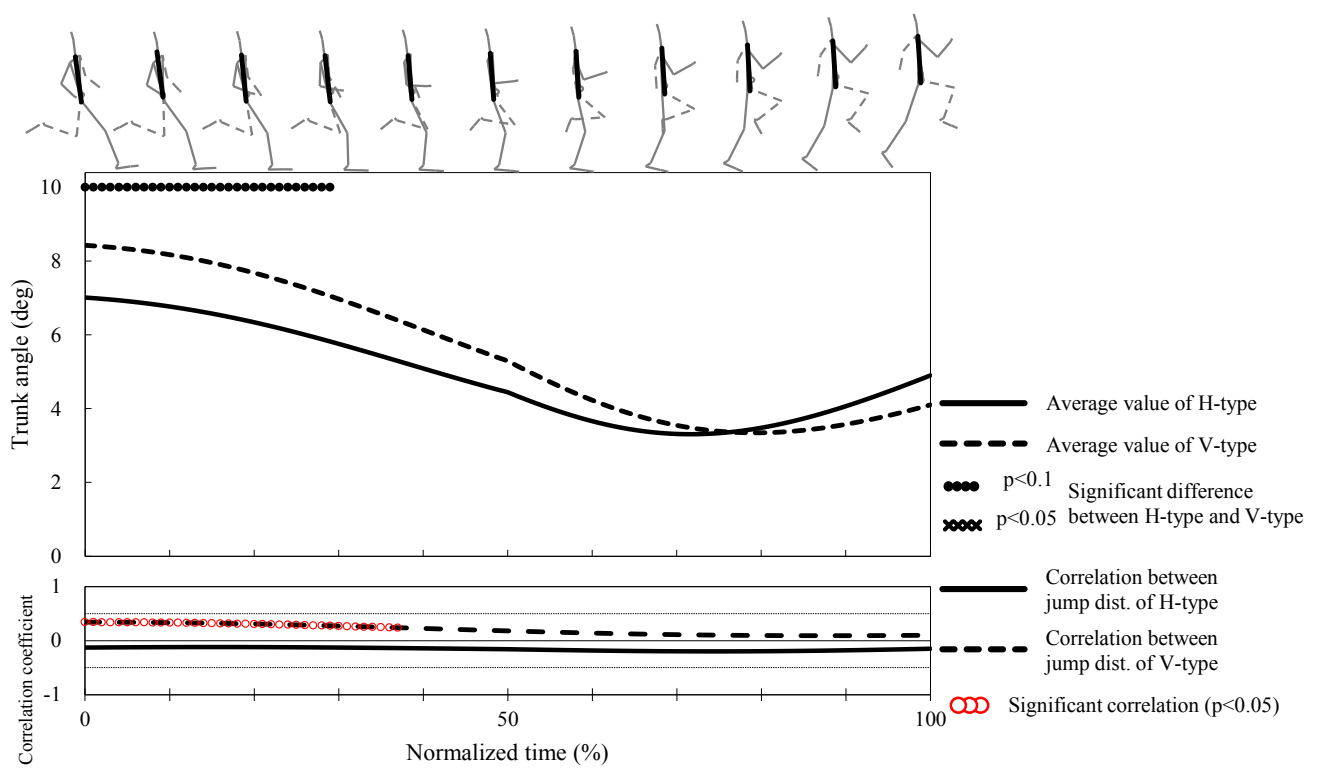


Figure 3-7 Changes in trunk angle during the takeoff phase.

切接地から中間にかけて V-type は体幹を後傾させている傾向が見られた。跳躍距離との関係を見ると H-type では相関が見られる時点はなかったが、V-type では 0-37%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。

⑥ 下肢合成重心

Figure3-8 は踏切局面における振上脚の下肢合成重心に関する項目の変化および各タイプの跳躍距離との相関の変化を示している。下肢合成重心の振込高には各タイプで有意な差は見られなかったが、踏切の終盤において V-type の振込高が大きい傾向が見られた。跳躍距離との関係を見ると H-type では 83-100%時点において負の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type では 30-97%時点において正の相関が見られた ($p<0.05$)。振込幅には各タイプで有意な差は見られなかったが、踏切の中間から離地にかけて V-type の振込幅が大きい傾向が見られた。跳躍距離との関係を見ると H-type では相関が見られた時点はなかったが、V-type では 77-100%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。下肢合成重心の水平速度には 86-100%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、踏切局面の終盤から離地にかけて H-type の下肢合成重心の前方への移動速度が大きかった。跳躍距離との関係を見ると各タイプともに 0-100%時点において正の相関が見られた ($p<0.05$)。下肢合成重心の鉛直速度には 76-100%時点において有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type は踏切の後半から離地にかけて下肢合成重心の上方への移動速度が大きかった。また、跳躍距離との関係を見ると H-type では 0-100%時点で、V-type では 76-100%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。

3.3.2 踏切準備局面

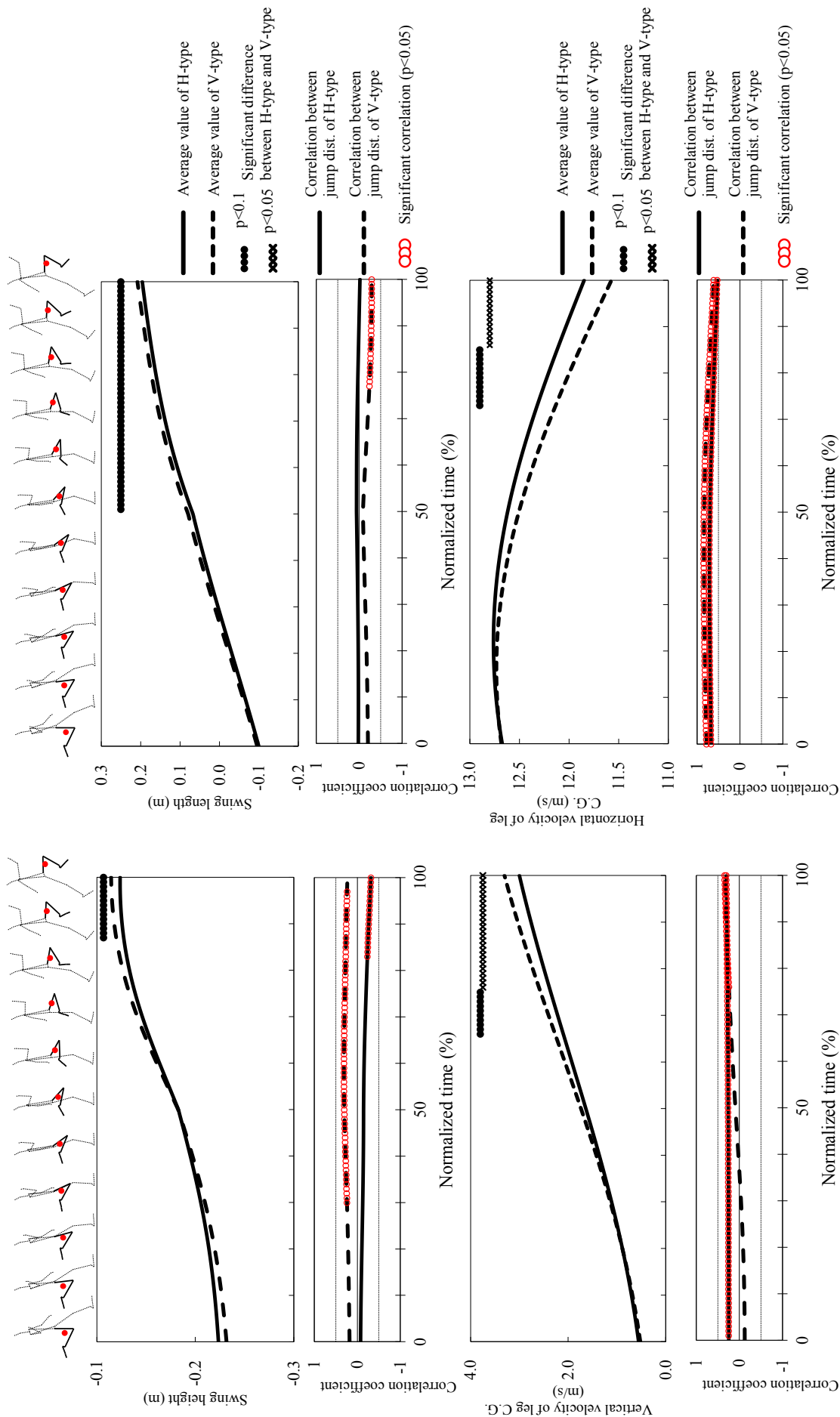


Figure 3-8 Changes in swing height (left, top), swing length (right, top) and horizontal (left, bottom) and horizontal (right, bottom) velocities of the center of gravity of free leg during the takeoff phase.

3.3.2.1 身体重心高および身体重心速度

Figure 3-9 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの身体重心高の変化および各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面において身体重心は L2off から L1 の支持期中間まで降下し、その後 L1off にかけてわずかに上昇し、TD にかけて再び降下していた。身体重心高には、273-300%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、踏切 1 歩前の滞空期後半から踏切接地にかけて V-type の身体重心の降下が大きかった。また、踏切準備局面の各時点における重心高と跳躍距離の間に相関は見られなかった。

Figure 3-10 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの身体重心の水平速度および鉛直速度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面において水平速度は L1 の支持期中間まで減少し L1off にかけて増加していた。各タイプの踏切準備局面における水平速度の変化に有意な差は見られなかった。踏切準備局面における鉛直速度の変化にも各タイプで有意な差は見られなかったが、L1off から TD にかけては V-type の鉛直速度が小さい傾向が見られた。

跳躍距離との関係を見ると、水平速度には各タイプとも 0-300%時点で強い正の相関が見られ ($p<0.05$)、鉛直速度には H-type に 36-67%時点の L1 滞空期において負の相関が見られたが ($p<0.05$)、その他の時点では各タイプとも相関は見られなかった。

3.3.2.2 関節角度，身体部分角度および角速度

① 膝関節角度

Figure 3-11 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの踏切脚および振上脚の膝関

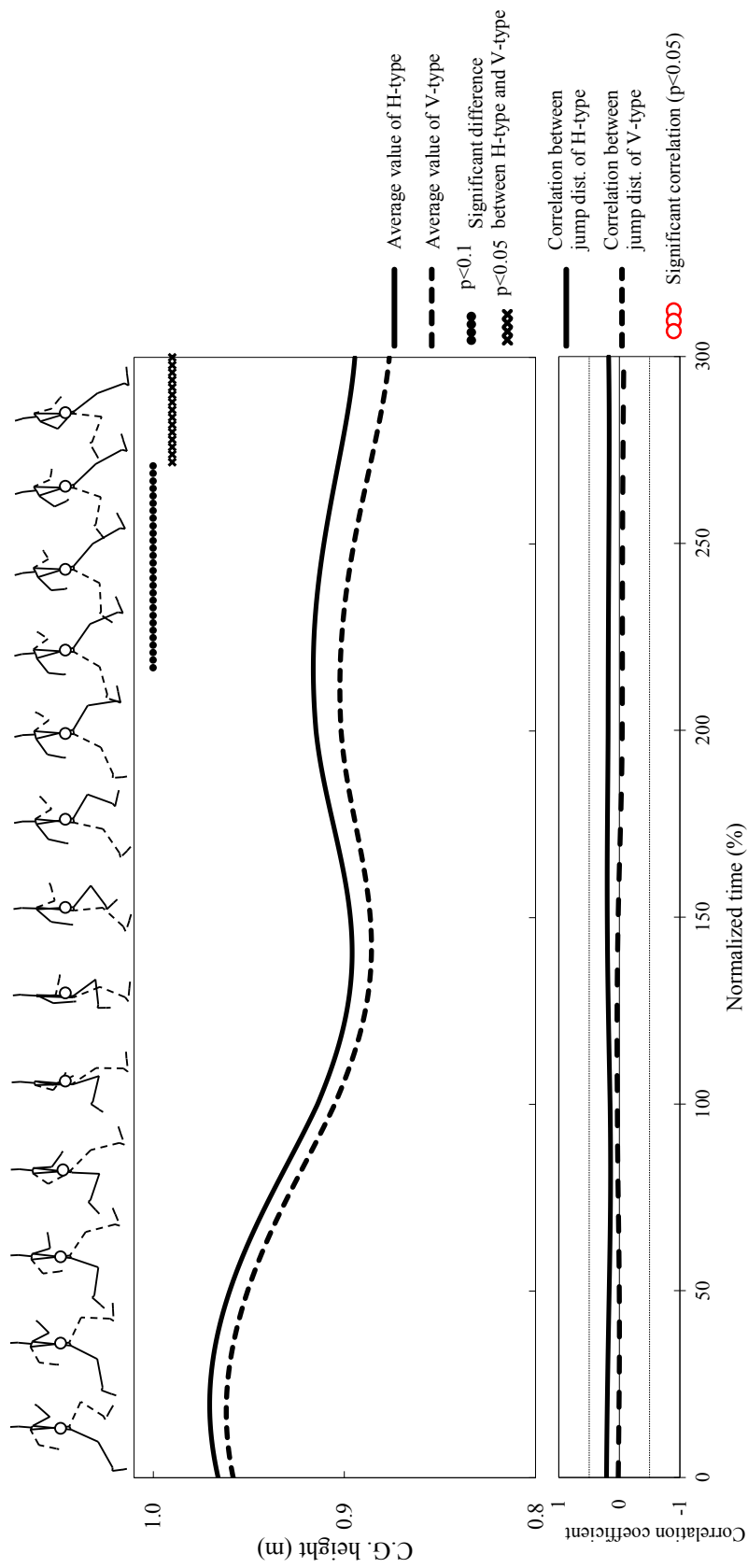


Figure 3-9 Changes in C.G. height during the preparation of the takeoff.

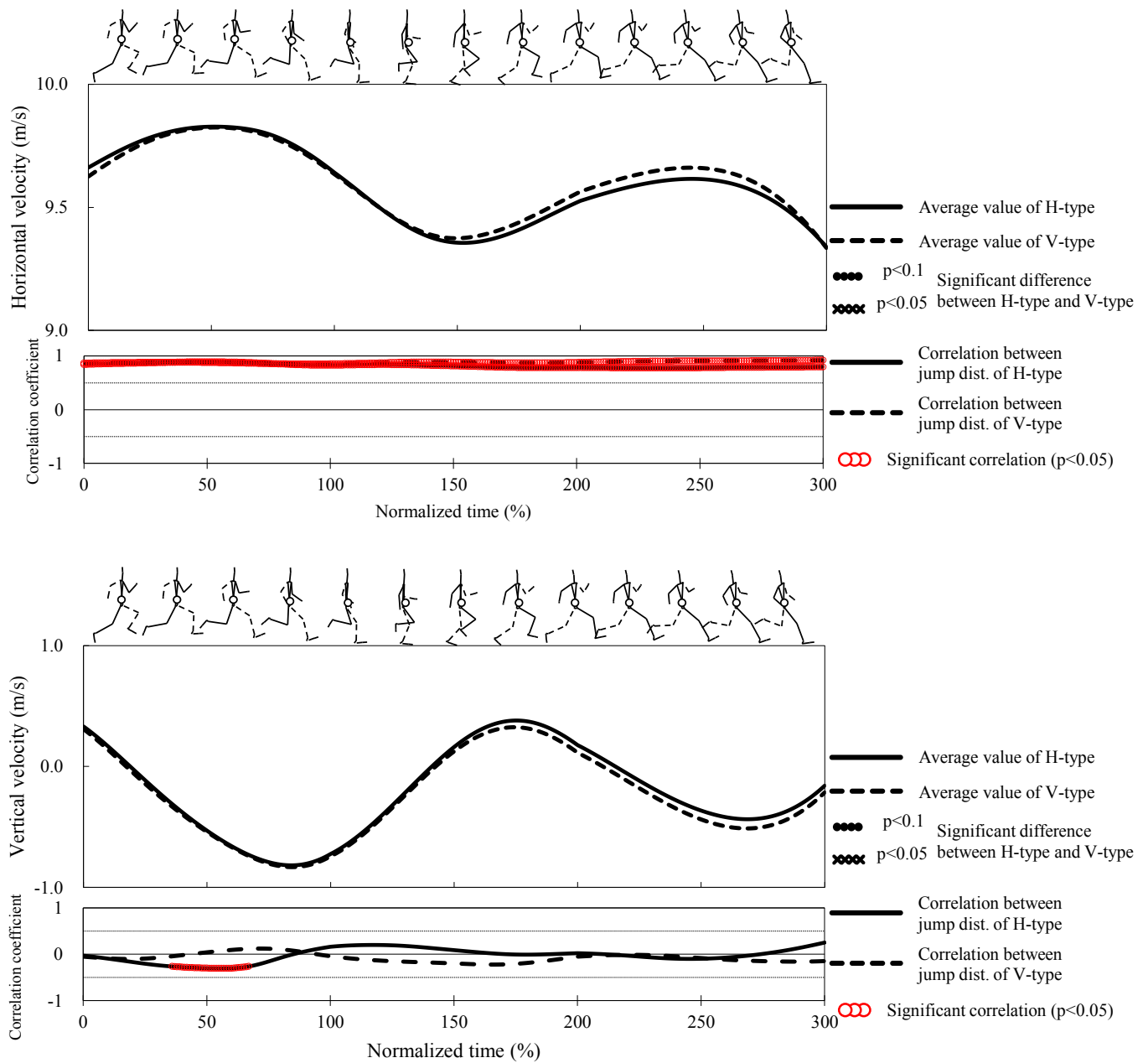


Figure 3-10 Changes in horizontal (top) and vertical (bottom) velocities during the preparation of the takeoff.

節角度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面における踏切脚の膝関節角度の変化には 229-273%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、L1off から TD にかけての滞空期において V-type は踏切脚の膝関節をより伸展させながら TD へと向かっていった。一方で、踏切準備局面における振上脚の膝関節角度の変化に有意な差は見られず、L1on から L1off にかけての支持期における各タイプの膝関節の動きにも差は見られなかった。

跳躍距離との関係を見ると、踏切脚には H-type に 0-43%時点で負の相関が ($p<0.05$)、236-284%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 292-300%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。また、振上脚には H-type に 33-103%時点で正の相関が見られたが ($p<0.05$)、その他の時点では各タイプとも相関は見られなかった。

② 足関節角度

Figure 3-12 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの踏切脚および振上脚の足関節角度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面における踏切脚の足関節角度の変化には 240-300%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$)、V-type は L1off から TD にかけての滞空期中間から足関節を底屈させながら接地へと向かっており、TD ではより底屈した姿勢であった。一方で、踏切準備局面における振上脚の足関節角度の変化に有意な差は見られず、L1 支持期における足関節の動きは各タイプで類似していた。

跳躍距離との関係を見ると、踏切脚には H-type に 159-198%時点および 252-276%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 9-33%時点および 126-300%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。振上脚には H-type に 28-198%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type

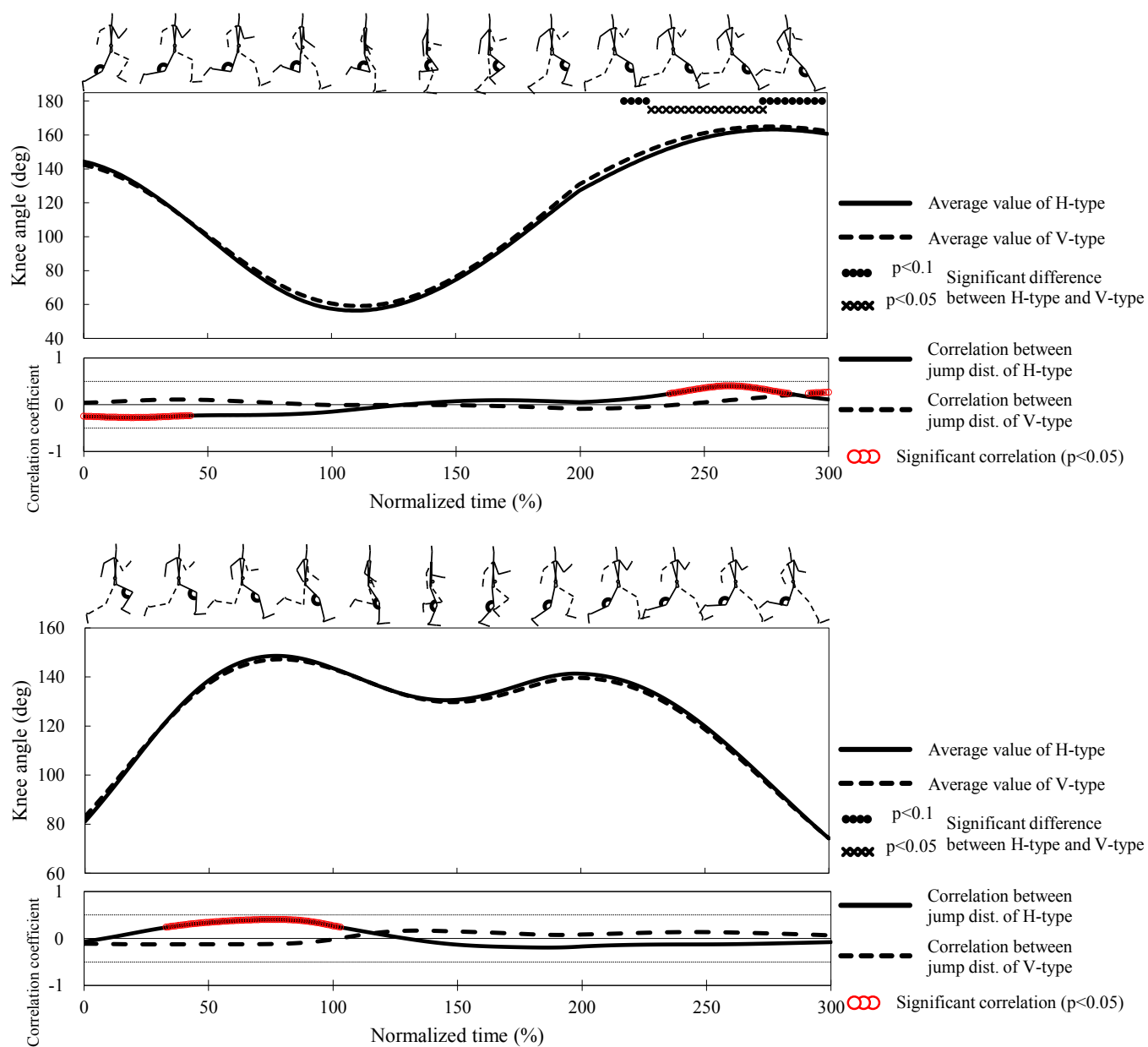


Figure 3-11 Changes in angle of knee joint of the takeoff leg (top) and free leg (bottom) during the preparation of the takeoff.

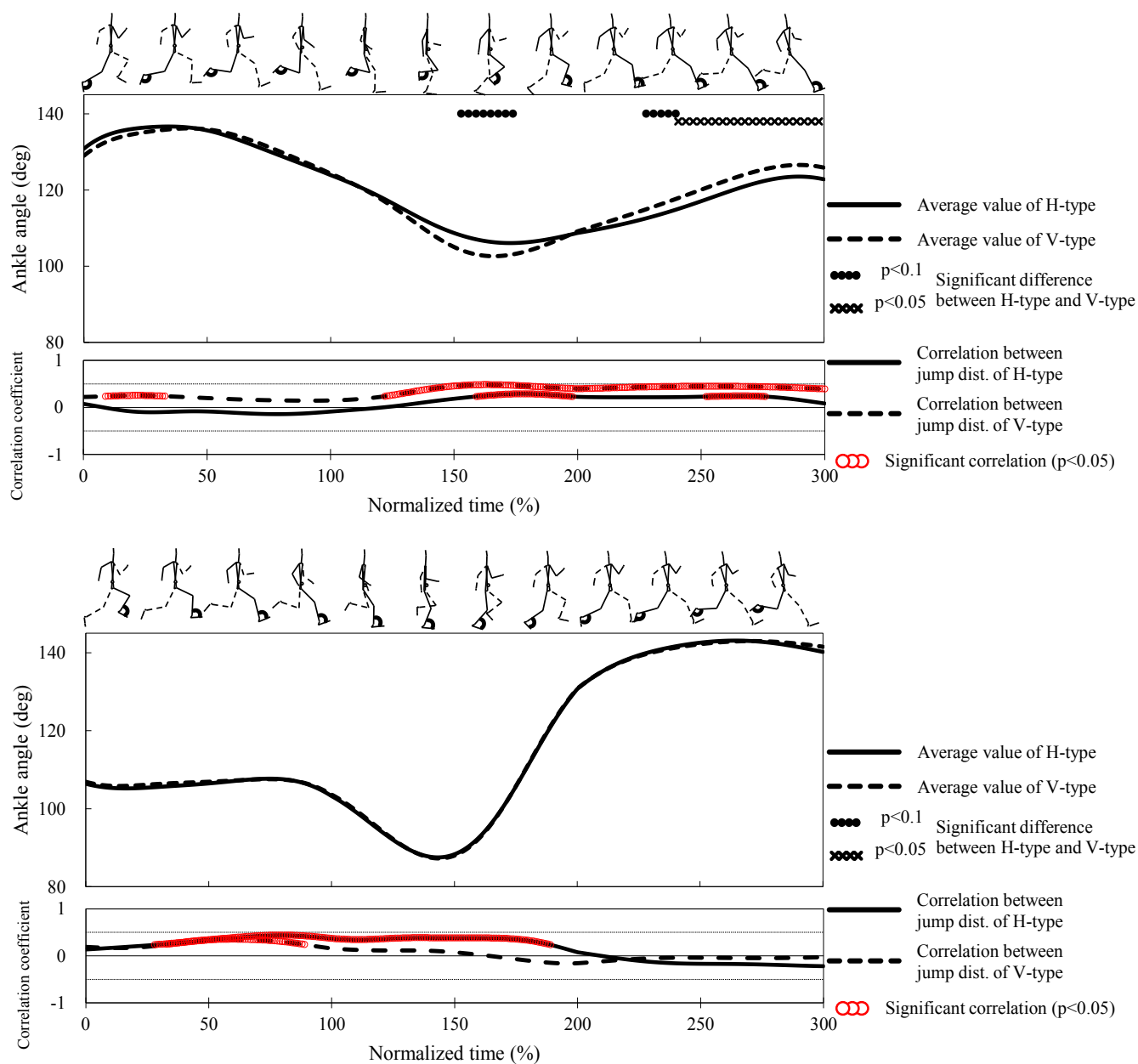


Figure 3-12 Changes in angle of ankle joint of the takeoff leg (top) and free leg (bottom) during the preparation of the takeoff.

には 33-89%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$).

③ 踏切脚大腿角度および角速度

Figure 3-13 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの踏切脚の大腿角度および角速度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している. 踏切準備局面における踏切脚の大腿角度の変化には有意な差は見られず, L2off から TD にかけての大腿の姿勢は類似していた. 踏切脚の大腿角速度にも有意な差は見られなかったが, L1 支持期の中から L1off にかけて V-type の大腿角速度が負に大きな傾向が見られ, V-type は踏切脚の大腿を振り戻しながら TD へと向かっていた.

跳躍距離との関係を見ると, 大腿角度には H-type に 0-28%時点で正の相関が ($p<0.05$), 266-300%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$). 大腿角速度には H-type に 19-108%時点で負の相関が見られ ($p<0.05$), V-type には 0-5%時点で負の相関が ($p<0.05$), 78-101%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$).

④ 振上脚大腿角度および角速度

Figure 3-14 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの振上脚の大腿角度および角速度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している. 踏切準備局面における振上脚大腿角度の変化には 48-68%時点で有意な差が見られ ($p<0.05$), V-type は L2off から L1on にかけての滞空期の間において振上脚大腿が前方に位置しており, L1on においても大腿が前方に位置した姿勢で接地する傾向が見られた. また, L1 支持期の後半においては H-type が大腿をより前傾させた姿勢で離地へと向かう傾向が見られた. 一方で, 踏切準備局面における振上脚大腿角速度には各タイプ間で有意な差は見られなかった.

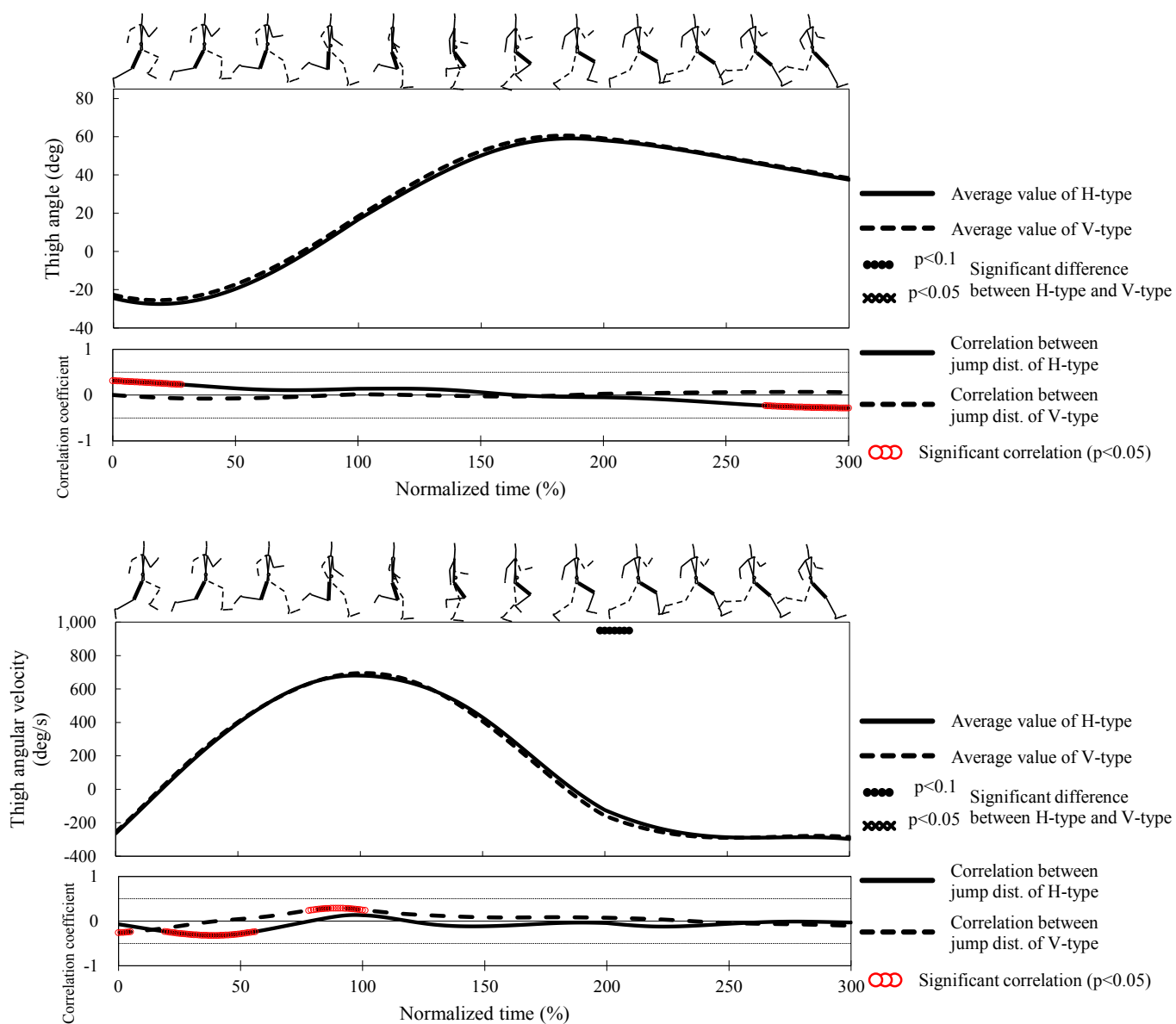


Figure 3-13 Changes in angle of thigh (top) and angular velocity of thigh (bottom) of the takeoff leg during the preparation of the takeoff.

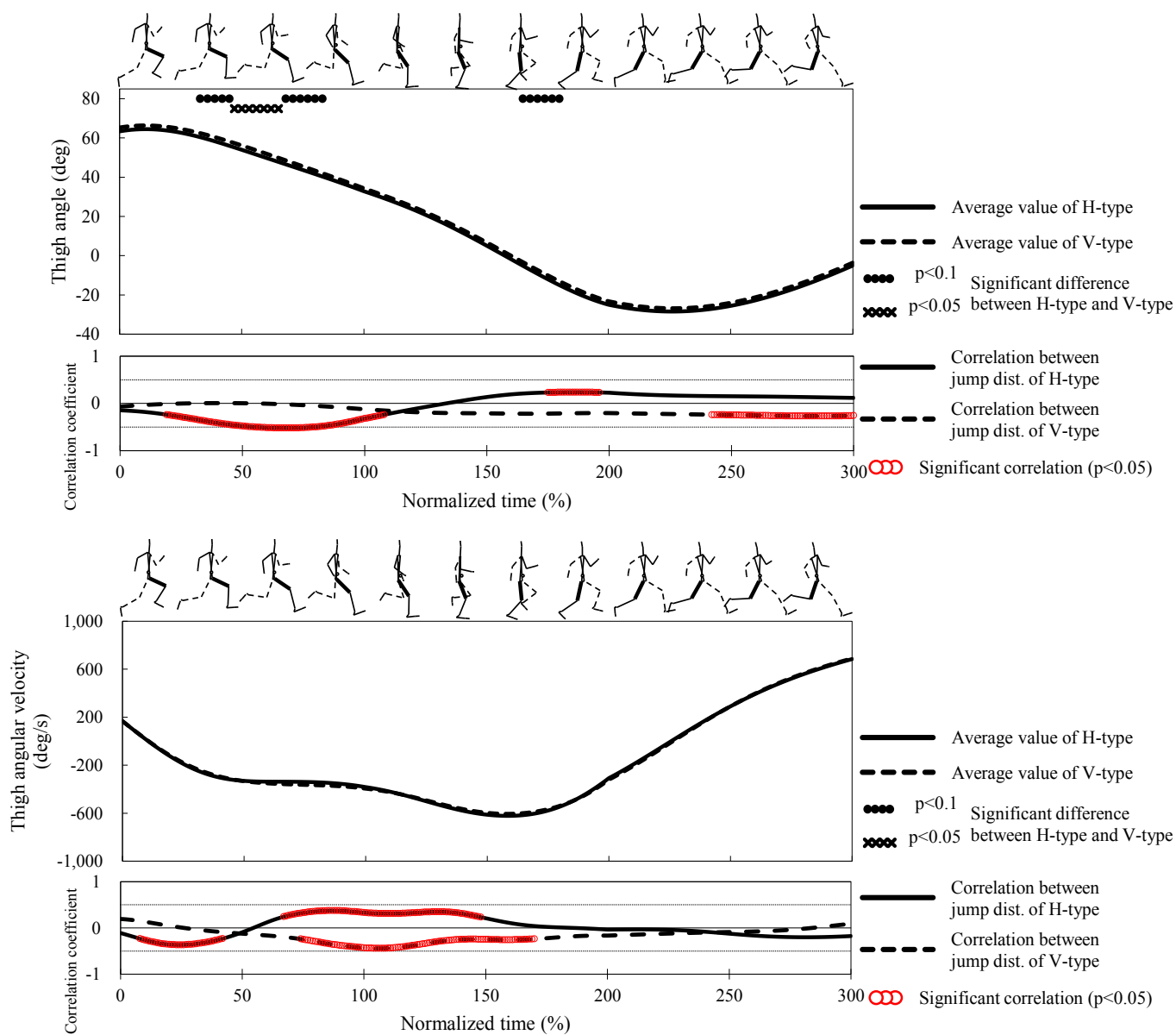


Figure 3-14 Changes in angle of thigh (top) and angular velocity of thigh (bottom) of the free leg during the preparation of the takeoff.

跳躍距離との関係を見ると、大腿角度には H-type に 19-108%時点で負の相関が ($p<0.05$)、175-196%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 242-300%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。大腿角速度には H-type に 8-42%時点で負の相関が ($p<0.05$)、67-148%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 74-170%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。

⑤ 踏切脚下腿角度および角速度

Figure 3-15 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの踏切脚の下腿角度および角速度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面における踏切脚下腿角度の変化には、33-74%時点および 205-300%時点において有意な差が見られ ($p<0.05$)、L2off から L1on にかけての滞空期では H-type は下腿をより前傾させており、V-type は L1on において下腿を振り出した姿勢である傾向が見られた。L1off から TD にかけては V-type が下腿を振り出して接地へと向かっており、TD においても下腿を前方へ振り出した姿勢であった。踏切準備局面における踏切脚の下腿角速度の変化に有意な差は見られなかったが、L2off から L1on にかけての L1 滞空期の中間において H-type は下腿を前傾させる速度が大きい傾向が見られた。

跳躍距離との関係を見ると、下腿角度には H-type に 237-269%時点で正の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 265-300%時点において正の相関が見られた ($p<0.05$)。下腿角速度には H-type に 100-161%時点で正の相関が ($p<0.05$)、V-type には 153-190%時点で正の相関が見られた ($p<0.05$)。

⑥ 振上脚下腿角度および角速度

Figure 3-16 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの振上脚の下腿角度および角

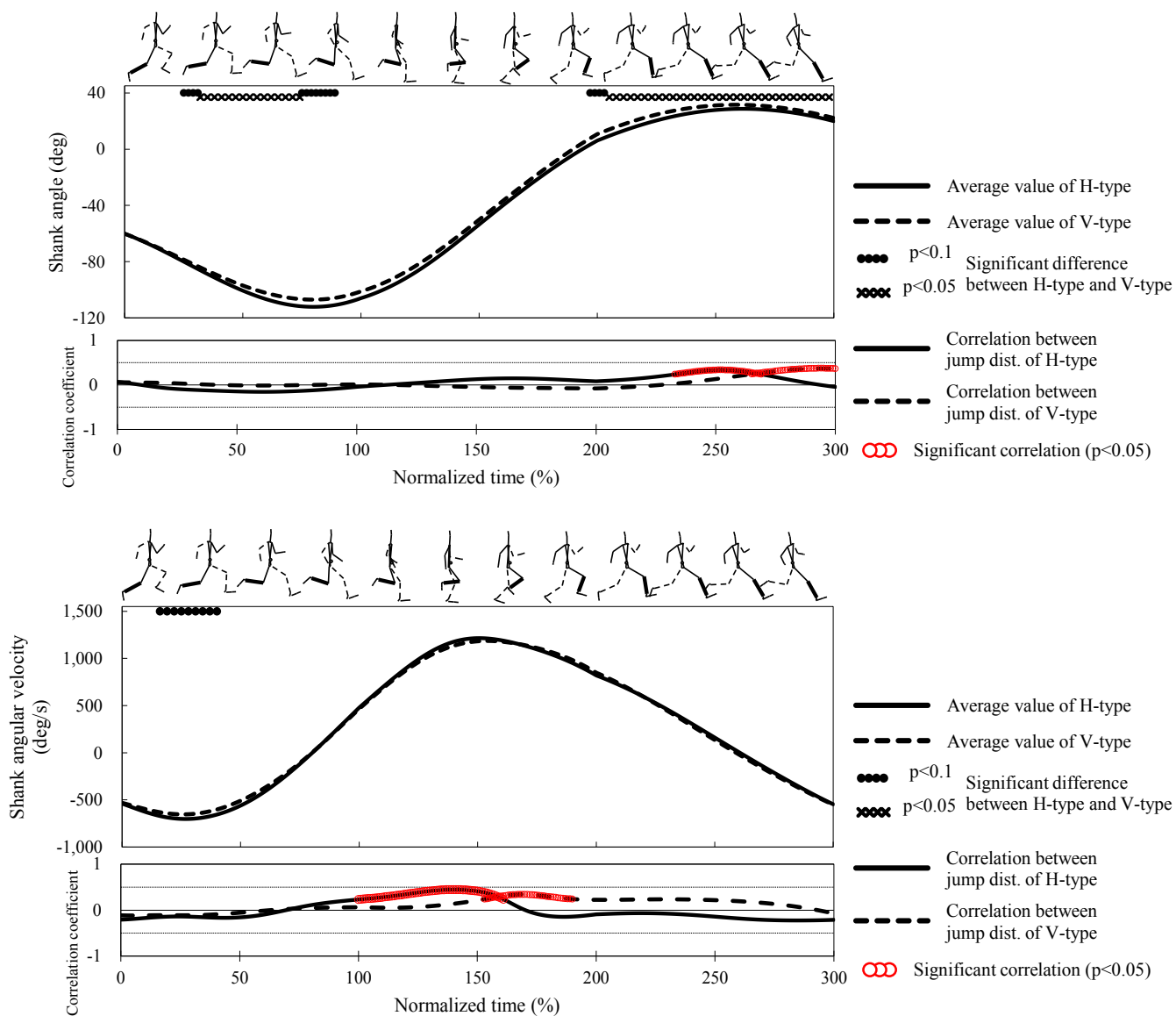


Figure 3-15 Changes in angle of shank (top) and angular velocity of shank (bottom) of the takeoff leg during the preparation of the takeoff.

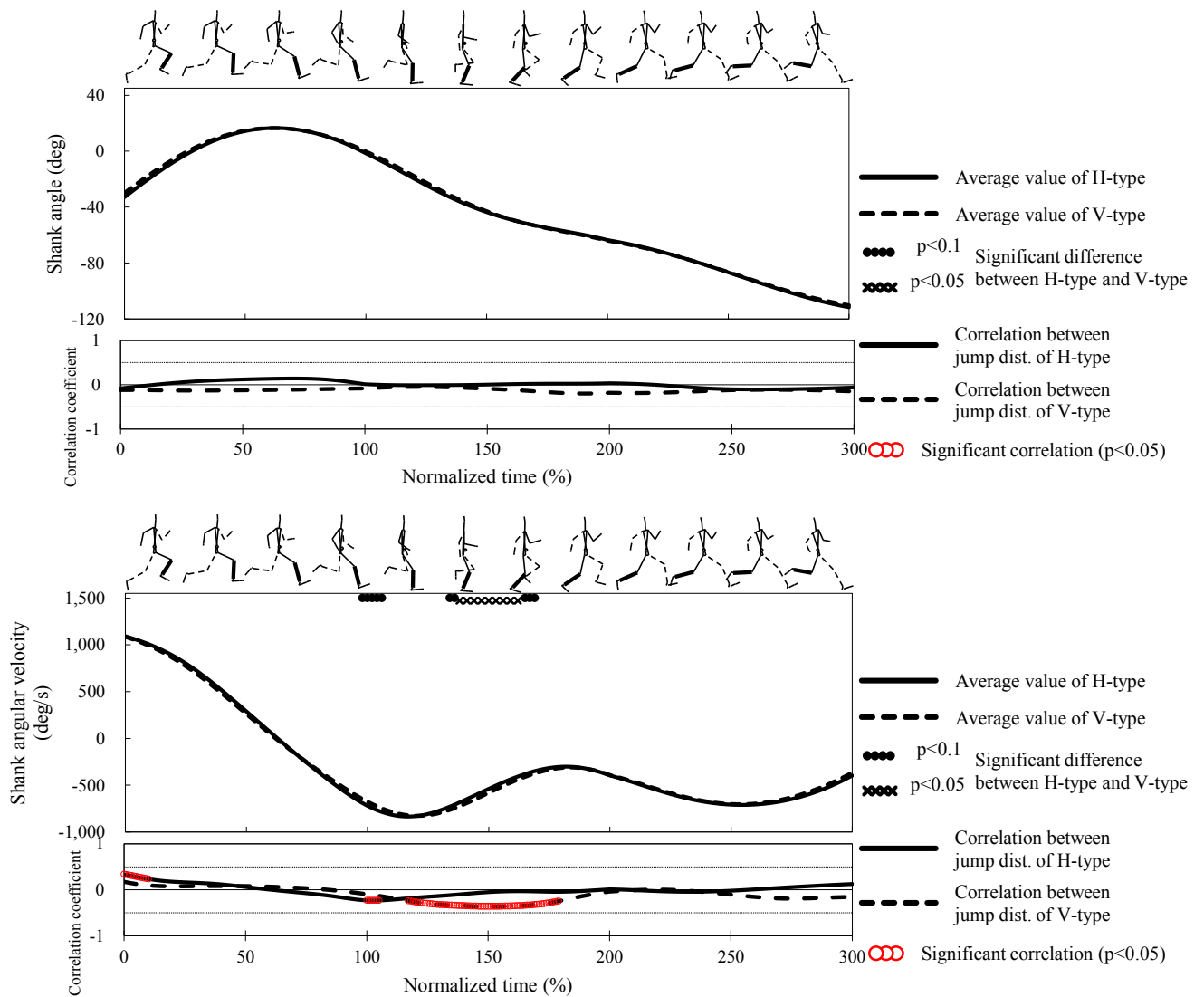


Figure 3-16 Changes in angle of shank (top) and angular velocity of shank (bottom) of the free leg during the preparation of the takeoff.

速度の変化と各タイプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面における振上脚
下腿角度の変化に有意な差は見られず、各タイプの振上脚下腿の姿勢は類似していた。一
方で、踏切準備局面における振上脚下腿角速度には 138-164%時点で有意な差が見られ
($p<0.05$)、L1 支持期において V-type は下腿をより速い速度で前傾させながら L1off に向
かっていた。

跳躍距離との関係を見ると、下腿角度には各タイプとも跳躍距離と相関が見られた時点
はなかった。下腿角速度には H-type に 0-10%時点で正の相関が ($p<0.05$)、100-105%時点
で負の相関が見られ ($p<0.05$)、V-type には 117-179%時点で負の相関が見られた ($p<0.05$)。

⑦ 体幹角度

Figure 3-17 は各タイプの踏切 2 歩前離地から踏切接地までの体幹角度の変化および各タ
イプの記録との相関の変化を示している。踏切準備局面において体幹角度は L2off から
L1on にかけてやや前傾し、L1 支持期の中間から TD にかけて後傾していた。体幹角度の
変化に有意な差は見られなかったが、L1off から TD にかけての滞空期において、V-type が
体幹をより後傾させながら接地へと向かう傾向が見られた。また、跳躍距離との関係を見
ると H-type では 0-4%時点で負の相関が ($p<0.05$)、V-type では 41-300%時点で正の相関が
見られた ($p<0.05$)。

3.4 考察

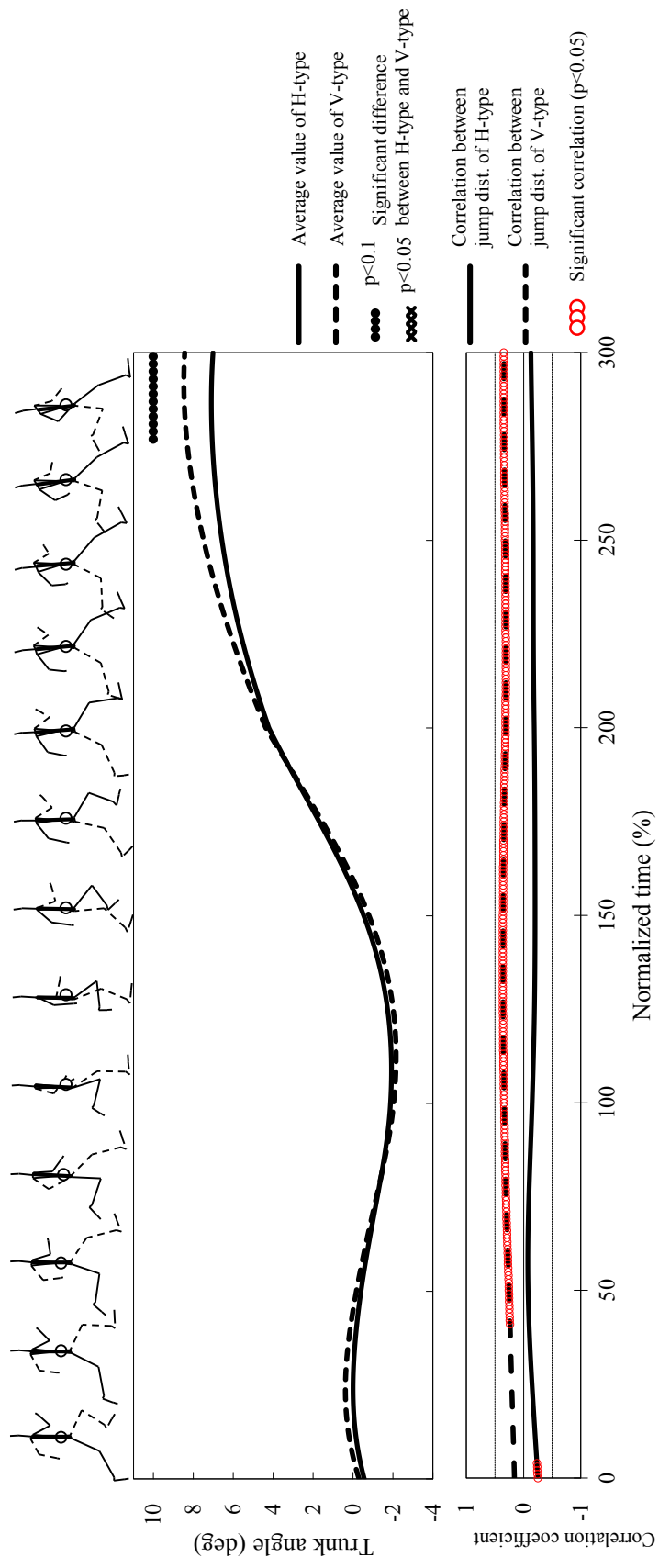


Figure 3-17 Changes in angle of trunk during the preparation of the takeoff.

3.4.1 跳躍タイプによる踏切動作の特徴の違い

① 身体重心位置および速度

全被験者の TD における跳躍角の平均値は $20.68 \pm 1.74 \text{deg}$ であり、平均値を基準とすることと H-type を 52 人、V-type を 49 人にタイプ分けを行った。本研究における被験者の競技レベルは県大会出場レベルから一流高校生競技者レベルまでの幅広い競技レベルを含んでおり、さらに Figure 3-18 に示したように、全被験者の跳躍角と跳躍距離との間に相関が見られなかったことから ($r=0.22$, N.S.), 本研究でタイプ分けに用いた平均値は幅広い競技レベルの高校生男子走幅跳競技者をタイプ分けするために用いる基準としては妥当な値であったと考えられる。しかしながら, Shimizu et al. (2012) は一流走幅跳競技者 19 人 (分析記録: $8.12 \pm 0.31 \text{m}$) を対象として跳躍角の平均値を用いたタイプ分けを同様にを行い、その平均値が $22.03 \pm 1.98 \text{deg}$ であったと報告している。先行研究との比較から、跳躍角の平均値は対象とする競技レベルに影響を受けることが予想され、対象者の競技レベルが高ければ跳躍角の平均値は一般的に大きくなると考えられる。本研究においても Table 3-4 に示したように、H-type と V-type の跳躍距離には有意な差が見られたことから、適切な範囲内で大きな跳躍角を獲得することは競技パフォーマンスの向上につながる要因であると考えられる。

Table 3-6 で示したように、各タイプの TD における身体重心の水平速度に差はなく、助走で獲得した水平速度は同程度であったと考えられる。一方で、TO における身体重心の水平速度は H-type が有意に大きな値であり、鉛直速度は V-type が有意に大きな値であった。走幅跳においては助走における身体重心の水平速度は跳躍距離と強い正の相関があること

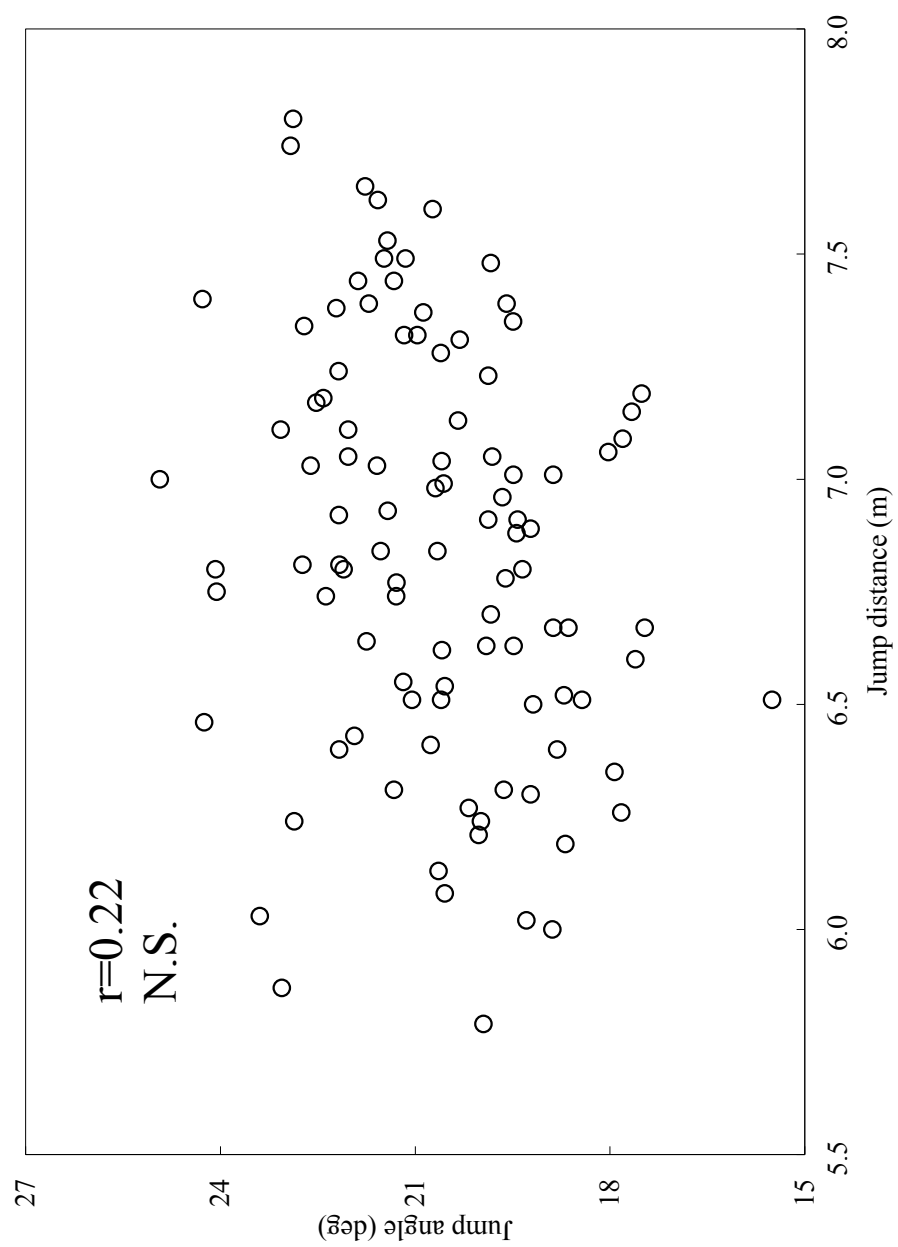


Figure 3-18 Correlation between jump distance and jump angle.

が多数報告されているが（深代ら，1984；Hay ら，1986 など），TD における身体重心の水平速度が同程度であったにも関わらず，各タイプの跳躍距離に差が見られたことから，TD における身体重心の水平速度が同程度であれば，より大きな鉛直速度を獲得することが跳躍距離に影響すると考えられる．

また，Figure 3-2 に示したように各タイプの身体重心の水平速度および鉛直速度には踏切の中間から有意な差が見られ，踏切後半から離地にかけてその差が明確に大きくなっており，TD から MKF にかけての踏切前半における動作の違いによって跳躍タイプが決定されている可能性が示唆される．つまり，この局面における動作によって踏切後半の水平速度の減少と鉛直速度の増加の割合が各タイプで異なると考えられる．

Tiupa ら（1982）は踏切における水平速度の減少と鉛直速度の増加の間には強い負の相関があると報告しており，本研究においても全被験者の水平速度の減少量と鉛直速度の獲得量の間には負の相関が見られたことから（ $r=-0.51$ ， $p<0.05$ ），踏切局面における水平速度の減少は鉛直速度の増加のためには必要不可欠であるといえる．つまり H-type は鉛直速度の獲得を抑制することで水平速度を維持して小さい角度で飛び出すタイプ，V-type は大きな鉛直速度を獲得するために水平速度の減少を伴いながら大きい角度で飛び出すタイプといえるであろう．

② 踏切脚

TD における各タイプの踏切脚の姿勢を見ると，V-type は H-type と比較して下腿をより前方に振り出しており，その結果として膝関節をより伸展した姿勢で接地する傾向が見られた．踏切接地時の踏切脚の接地様式に関して，深代（1991）は固定式接地（a ‘locking’

placement of the foot) と積極的接地 (active landing) の 2 種類を挙げており、それぞれの特徴について、固定式接地は踏切脚を棒のようにして接地するため水平速度の減少は大きい
が鉛直速度の獲得も大きく、一方で積極的接地は踏切脚を前から後ろに引きながら接地する
ため水平速度の減速が抑制されるとしている。各タイプの TD における大腿および下腿
の振り戻し角速度に有意な差がなかったことから、下腿をより前方に振り出していた V-
type の踏切脚の姿勢は H-type と比較すると固定式接地に近く、水平速度の減速は大きい
が鉛直速度を獲得することのできる姿勢であったと考えられる。

また、これまでの先行研究においては踏切局面における踏切脚の膝関節の屈曲を小さく
することが鉛直速度の獲得につながると報告されている (森長ほか, 2003 ; Phillips and Lees,
2005)。しかしながら、本研究において各タイプの踏切脚の膝関節の屈曲量に有意な差は見
られず、鉛直速度の獲得量が大きかった V-type にも H-type と同程度の屈曲が見られたと
いえる。つまり、跳躍タイプと踏切における踏切脚の膝関節の屈曲に係る関係性は少なく、鉛
直速度の獲得量に影響しない程度のものであったといえるであろう。

Table 3-8 および Figure 3-4 に示した各タイプの踏切脚の足関節の姿勢および動作を見る
と、V-type は足関節を底屈した姿勢で接地しており、踏切前半においても底屈した姿勢を
維持しながら変化していた。走幅跳をはじめとする片脚跳躍運動における下肢各関節の貢
献度は、膝関節および股関節の仕事の貢献度が大きいと報告されており (志賀・尾縣, 2004)、
跳躍に対する足関節の貢献度は比較的小さいとされているが、阿江ら (1989)、は踏切後半
では足関節の底屈筋群は大きなパワーを発揮すると述べている。各タイプの踏切脚足関節
の姿勢や動作に違いが見られた時点は踏切前半のみであったことから、踏切脚足関節の姿

勢の違いは跳躍距離に大きく影響していなかったと考えられる。また、Figure 3-19 は各タイプの踏切脚の TD における姿勢および-50%時点から 50%時点（MKF）までの踏切脚の姿勢の変化を示している。各タイプの TD における足関節角度の差は各タイプの下腿の振り出し角度の差と同程度であったことから、結果的に TD における踏切脚足部の地面に対する接地角度は類似しており、各タイプともにやや踵側から接地する姿勢であったといえる。

踏切脚の大腿および下腿の踏切局面における動作では接地時の姿勢に加えて中間から TO にかけての姿勢に各タイプで違いが見られ、H-type は踏切の中間から離地にかけての大腿および下腿の回転範囲が大きく、TO では大腿と下腿がより前傾した姿勢で離地しており、その結果として離地距離が大きくなっていたと考えられる。このような動作は Figure 3-20 に示したように、身体重心を上方よりも前方へと移動させることができるため水平速度を維持することのできる動作であったと考えられる。

③ 振上脚

Figure 3-6 に示したように、各タイプの踏切前半における振上脚の動作は類似しており、その姿勢にも違いは見られなかったが、V-type は踏切の中間以降において振上脚の大腿を大きな速度で引き上げながら下腿を大きな速度で振り出しており、その結果として TO における各タイプの振上脚の姿勢に違いが見られた。しかしながら、振上脚の動作パターンは実施者によって無数に存在するため（村木，1982；渡邊ら，2009），振上脚の動作を比較することは困難である。そこで藤林ら（2014）を参考に、振上脚の挙動を振上脚下肢の合成重心の挙動に置き換えることにより比較した（Figure 3-8）。下肢合成重心の振込高を見

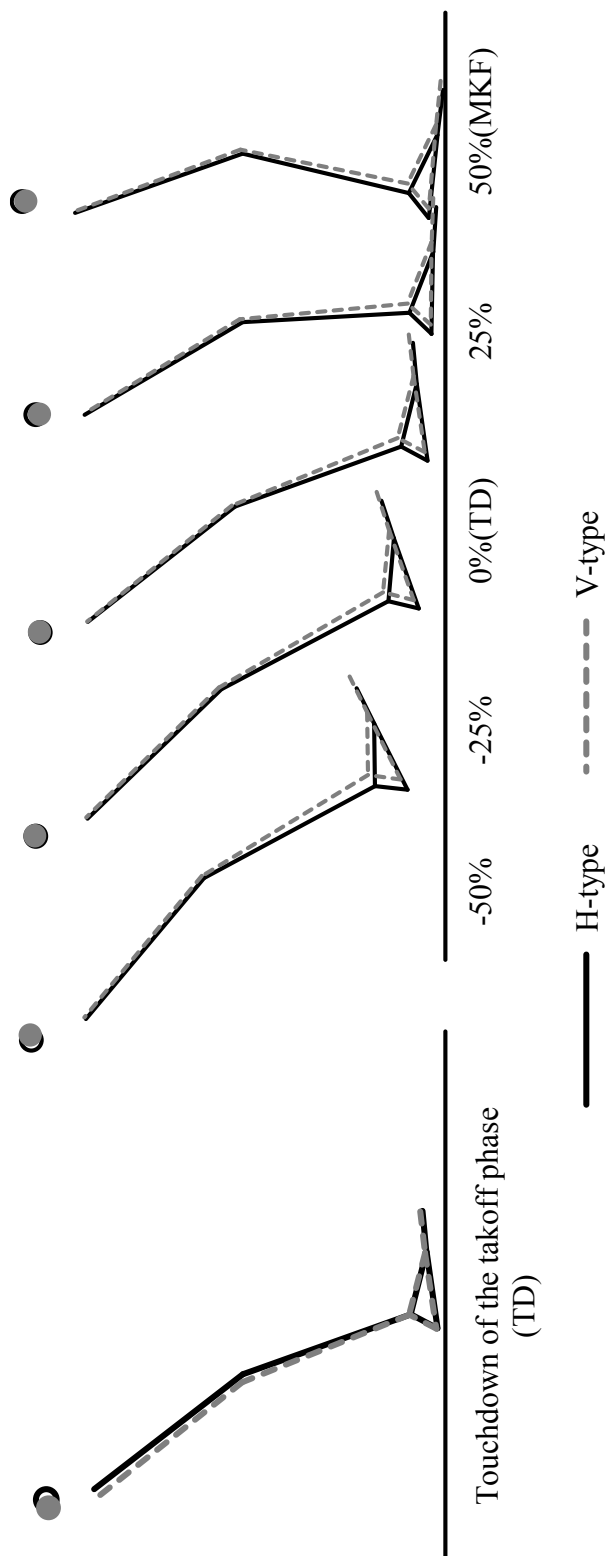


Figure 3-19 Stick picture of the standard motion of the takeoff leg during the 1st half of takeoff in H-type and V-type subject.

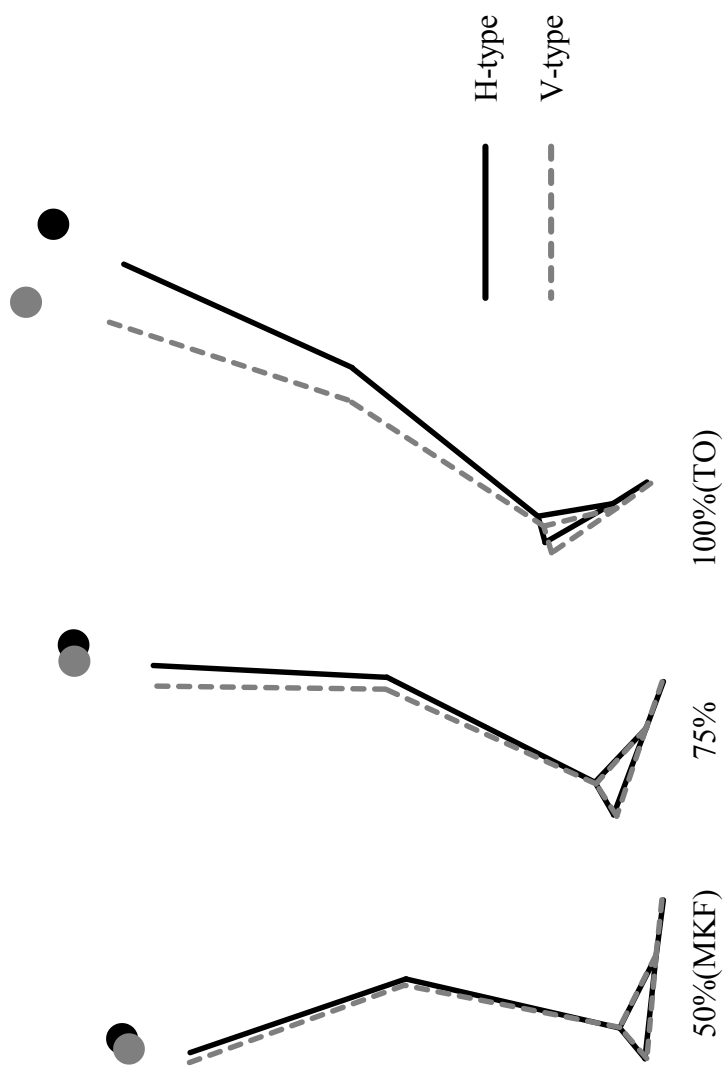


Figure 3-20 Stick picture of the standard motion of the takeoff leg during the 2nd half of takeoff in H-type and V-type subject.

ると、有意な差はないものの V-type はより低い位置から振上脚の振込動作を始め、TO にかけてはより高い位置に下肢合成重心が位置している傾向が見られた。下肢合成重心の鉛直速度にも踏切後半で有意な差が見られたことから、V-type は踏切後半で積極的に振上脚を引き上げていたと考えられる。また、振上脚の下肢合成重心の振込幅を見ると、踏切後半で V-type の下肢合成重心が前方に位置している傾向が見られた。しかしながら、下肢合成重心の水平速度は踏切後半から TO にかけて H-type が有意に大きな値を示していた。これは下肢の合成重心位置の水平速度は身体重心の水平速度に大きく依存することが予想されるため、踏切局面における身体重心の水平速度の変化が下肢合成重心の水平速度に影響していたためであると考えられる。

これらの振上脚の合成重心の挙動から、H-type は振上脚を前方へと移動させるような動作を行い、V-type は振上脚を上方に引き上げるような動作を行っており、このような振上脚の動作の違いが踏切局面の後半における身体重心の速度の変化に影響し、跳躍タイプを決定する要因の 1 つになっていた可能性が示唆される。

③ 体幹

Table 3-9 および Figure 3-7 に示したように、TD において V-type はより体幹を後傾させている傾向が見られ、その後の前傾量が有意に大きかった。一方で、H-type は踏切局面における最大前傾時からの後傾量が有意に大きく、体幹を後傾させながら TO へと向かっていった。TD において体幹を後傾させることは水平速度の大きな減速につながる動作であるが（阿江ら、1999）、鉛直速度の獲得に効果的であり V-type は体幹を後傾させて接地し、そこから起こし回転によって幹を前方へと回転させてより大きな鉛直速度を獲得しながら

TO へと向かっていたと考えられる。

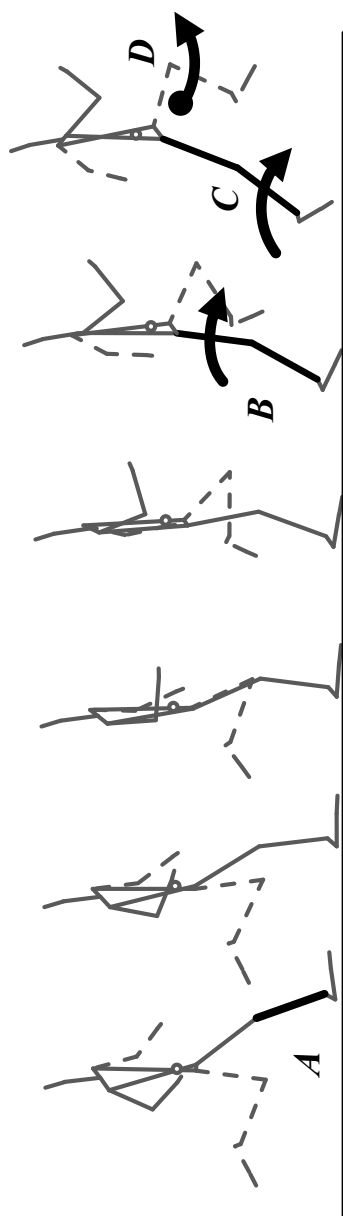
以上のような各タイプの踏切局面における特徴を Figure 3-21 および 3-22 にまとめた。

3.4.2 跳躍タイプによる踏切準備動作の特徴の違い

① 身体重心位置および速度

Figure 3-9 に示したように、各タイプの踏切準備局面における身体重心高には L1off から TD にかけての滞空期で各タイプに違いが見られ、踏切 1 歩前の滞空期において V-type は身体重心をより大きく降下させていたことが明らかとなった。踏切局面において鉛直速度を獲得するためには、踏切接地までに重心を低くしておくことが必要であり(村木ら, 2004), さらに踏切準備局面における身体重心の降下は踏切 2 歩前の離地から踏切 1 歩前の接地までの空中局面で主に行われることが報告されているが (Nixdorf and Bruggemann, 1983), 本研究ではその局面における身体重心の降下量に有意な差は見られなかった。しかしながら、Figure 3-23 に示したように全被験者の L2off から TD にかけての身体重心高の変化率と踏切における鉛直速度の獲得量 ($\Delta V_{V_{TD-TO}}$) には正の相関が見られ ($r=0.48, p<0.05$), TD にかけて身体重心高を大きく降下させることは、踏切局面における鉛直速度獲得量の増加に貢献していた可能性が示唆され、跳躍タイプを決定する要因の 1 つであったと考えられる。

また、Figure 3-10 に示したように各タイプの身体重心の速度の変化に各タイプで違いは見られなかったが、L1 支持期の中間から TD にかけての局面では、V-type の身体重心の水平速度がやや大きく、鉛直速度はやや小さかった。L1off における各タイプの身体重



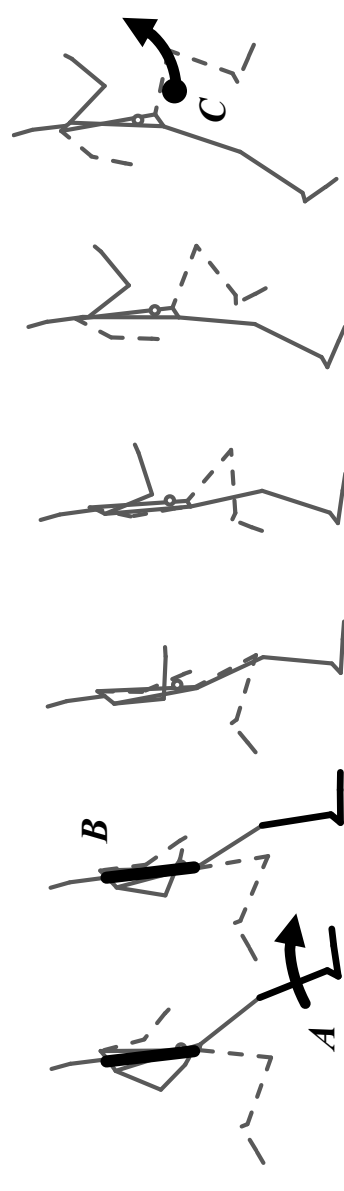
A: Backward lean of the shank of the takeoff leg is less at the touchdown.

B: Forward rotation of the thigh of the takeoff leg is kept until the toeoff.

C: Forward rotation of the shank of the takeoff leg is kept until the toeoff.

D: Forward swing of the free leg is faster during the 2nd half of the takeoff.

Figure 3-21 Characteristics of the takeoff motion during the takeoff phase of H-type.



A : Backward lean of the shank of the takeoff leg is larger at the touchdown.

B : Backward lean of the trunk is larger at the touchdown.

C : Upward swing of the free leg is faster during the 2nd half of the takeoff.

Figure 3-22 Characteristics of the takeoff motion during the takeoff phase of V-type.

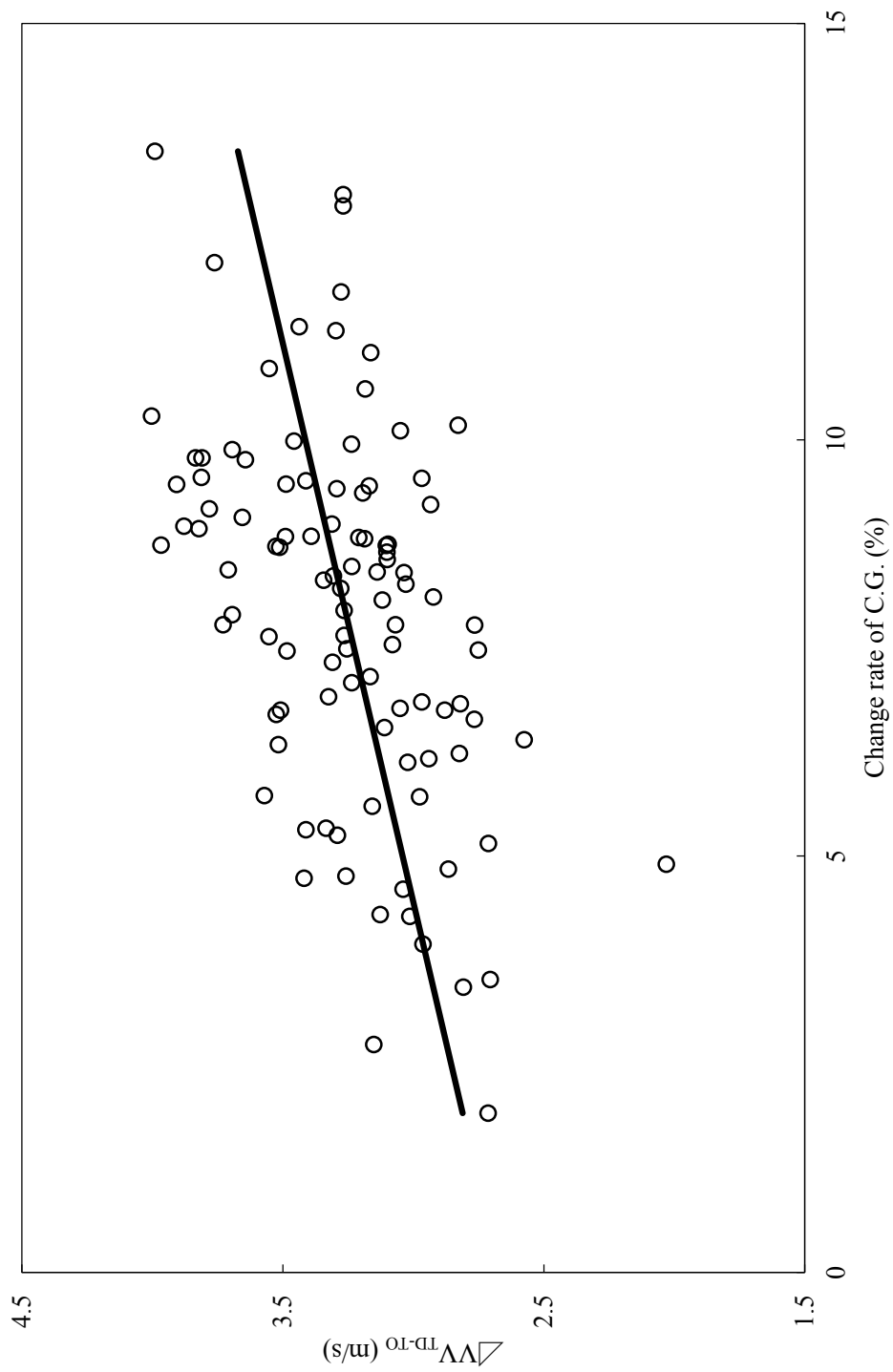


Figure 3-23 Correlation between ΔV_{VTD-TD} and change rate of C.G. height from L2off - TD.

心速度に着目すると、V-type の水平速度がやや大きく鉛直速度がやや小さかったことから、V-type はより低い角度で TD に向けて離地する傾向があったと考えられる。さらに、各タイプの L1off-TD にかけての滞空時間には有意な差は見られなかったことから（H-type : $0.079 \pm 0.016 \text{sec}$, V-type : $0.078 \pm 0.008 \text{sec}$ ），V-type は L1 支持期から離地にかけて身体重心の水平速度の減速を抑えながら、鉛直速度をほぼゼロに近づけて離地することによって跳び出し角度を小さくしており、その結果として L1off-TD における身体重心の降下が大きくなったと考えられる。

② 踏切脚

踏切脚は L1 支持期においては遊脚となる。

Figure 3-11 に示したように踏切脚の膝関節角度の変化には L1off 後から TD にかけて各タイプで違いが見られ、V-type は下腿を前方へと振り出すことによって膝関節をより伸展させながら TD へと向かっていた。伊藤ら（2009）は L1off-TD にかけての踏切脚の動作として、踏切脚の足部が地面に対して低い位置を通過していく「ヌカート動作」をあげており、TD において踏切脚をより前方に位置させることにつながるとしている。つまり、V-type の L1off から TD にかけての踏切脚の動作は H-type と比較するとより「ヌカート動作」に類似した動きをしており、踏切脚をより前方へと接地させることで踏切局面における鉛直速度の獲得へとつなげていた可能性が示唆される。

また、Figure 3-13 に示した L1off 付近における大腿角速度の変化を見ると、L1off 離地にかけては H-type の値が大きく、L1off 後では V-type が負に大きな値である傾向が見られることから、H-type は L1off にかけて遊脚を引き上げるような動作であり、V-type は L1off 付

近から遊脚を振り下ろすような動作を行っていたと考えられる。離地局面におけるこのような踏切脚の動作は下肢の合成重心の変化に影響を与えるため、結果的に身体重心の変化にも影響すると考えられる（藤林ら，2014）。つまり，V-type は L1off において遊脚の大腿を引き上げずに振り下ろすことで身体重心の上昇を抑制しており，その結果として L1off における身体重心の鉛直速度が H-type と比較してやや小さくなっていた可能性が示唆される。

③ 振上脚

振上脚は L1 支持期においては支持脚となる。

Figure 3-14 および Figure 3-16 に示した踏切準備局面における振上脚の大腿および下腿の動作の変化を見ると L1 支持期において，支持期中間から離地にかけて H-type の大腿が前傾する傾向にあり，L1off にかけて地面を蹴りきるような動作であったが，下腿では V-type の L1 支持期中間から離地にかけて前方への回転速度が大きく下腿を素早く倒しながら離地へと向かっていた。伊藤ら（2009）は踏切 1 歩前の支持期における下肢の動作について，膝関節や足関節を後方へと伸展させるのではなく，大腿の後方へのスイング動作と下腿を前方へと倒す動作によって身体を前に進めていると報告しており，このような動作は離地時の鉛直速度を抑制する動作でもあるとしている。つまり，両タイプの L1 支持期における支持脚の動作は L2off から L1on にかけて降下させた身体重心高を維持するような動作であったといえるであろう。しかしながら，有意な差はないものの V-type の身体重心の水平速度が L1 後半から大きく，L1off における鉛直速度が小さかったことから，L1 支持期では支持脚の下腿を素早く前方へ回転させることが身体重心の水平速度の維持と跳

び出し角度の抑制につながる動作であったと考えられる。

④ 体幹

Figure 3-17 に示したように各タイプの体幹の傾きを見ると L1off から V-type が体幹を大きく後傾させながら TD に向かっており, TD において後傾した姿勢であった. 清水ら (2011) は踏切準備局面から踏切にかけての体幹の動作について, 踏切準備局面において体幹が前傾から後傾へと切り替わるタイミングが早いことは水平速度の減速につながるため, 体幹の前傾を維持し, 体幹を起こすタイミングを遅らせることが重要であると報告している. 本研究において, 各タイプの体幹が前傾から後傾に変わるタイミングは両タイプともおよそ 150% 時点 (L1 支持期の中間) であり, そのタイミングは同じであった. また, L2off から TD にかけての各タイプの身体重心の水平速度の変化に違いが見られなかったことから, L1 滞空期における体幹の後傾は水平速度の減少に大きく影響しない一方で踏切局面における水平速度の減速と鉛直速度の獲得に貢献していた可能性が示唆される.

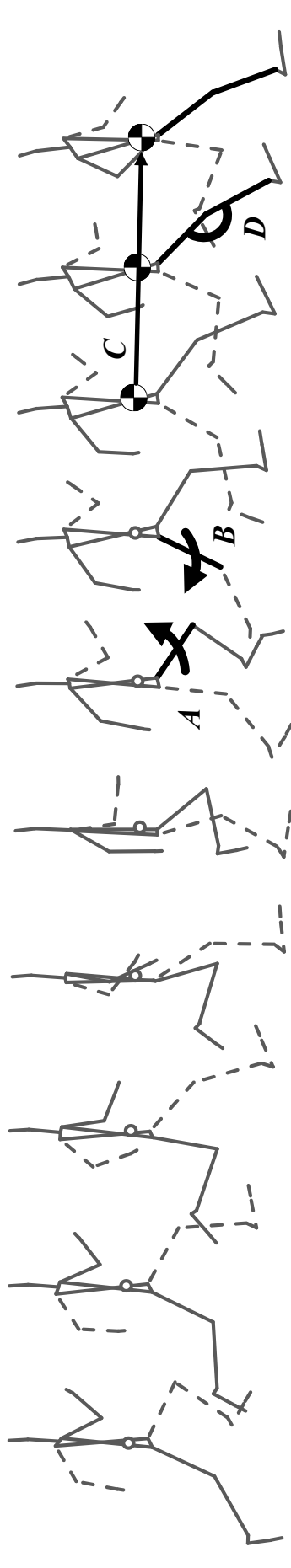
以上のような各タイプの踏切準備局面における特徴を Figure 3-24 および 25 にまとめた.

3.4.3 各タイプの踏切準備および踏切動作がパフォーマンスに与える影響

3.4.3.1 H-type

① 身体重心速度

Table 3-6 および Figure 3-2, Figure 3-10 に示したように踏切準備局面および踏切局面において, 跳躍距離と強い相関が見られた項目は身体重心の水平速度であったことから, H-type のパフォーマンスにも水平速度が大きく影響していることは明らかであった. さらに,



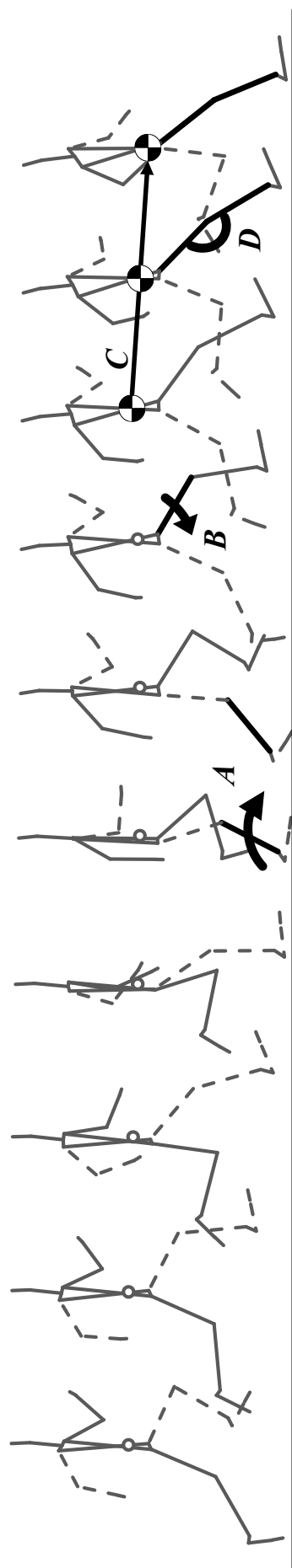
A : Forward swing of the thigh of the takeoff leg is kept until the toeoff of the last stride of the preparation.

B : Backward rotation of the thigh of the free leg is kept until the toeoff of the last stride of the preparation.

C : Decrease in C.G. height is less during the airborne phase of the last stride.

D : Forward swing of the shank of the takeoff leg is less during the airborne phase of the last stride.

Figure 3-24 Characteristics of the motion during the preparation of the takeoff of H-type.



A: Backward rotation of the shank of the free leg is faster during the support phase of the last stride.

B: Backward swing of the thigh of the takeoff leg is kept until the toeoff of the last stride of the preparation.

C: Decrease in C.G. height is larger during the airborne phase of the last stride.

Figure 3-25 Characteristics of the motion during the preparation of the takeoff of V-type.

踏切局面における水平速度の減速量 ($\angle HV_{TD-TO}$) と TD における水平速度に相関は見られず ($r=-0.21$, N.S.), 踏切前半における鉛直速度の獲得量 ($\angle VV_{TD-MKF}$) と跳躍距離の間に正の相関が見られ, 踏切後半の鉛直速度の獲得量と跳躍距離に相関がないことから, 高い水平速度を獲得して TD へと向かい, 水平速度の減少を抑えながら踏切の前半で鉛直速度を獲得することのできる動作を行うことが, より高いパフォーマンスへとつながると考えられる.

② 踏切脚および振上脚の動作

跳躍距離と相関が見られた項目として, 踏切局面における踏切脚の大腿角度および角速度 (Figure 3-5), 振上脚の下腿角速度 (Figure 3-6) および振上脚の振込幅と水平速度 (Figure 3-8) があげられる. つまり, 踏切局面においては TD で踏切脚の大腿を前方へと振り出さずに接地し, 踏切後半では大きく回転させずに TO に向かうような動作を行い, 振上脚は積極的に前方へと振り込む動作を行うことがパフォーマンスに影響していたと考えられる. 踏切で大腿を大きく前方へ振り出さずに接地することで, 身体重心と接地位置の距離を小さくすることができていたこと, 振上脚が大きな速度で前方へと移動していたことは, パフォーマンスの高い H-type の競技者は TD における水平速度が大きいにも関わらず, 水平速度の減速を水平速度が小さい H-type の競技者と同程度に抑制できていたことに貢献する動作であったと考えられる. また, 踏切後半における大腿の動作は V-type の特徴に類似するものであり, パフォーマンスの高い H-type の競技者は踏切後半では V-type に近い動作を行うことで高いパフォーマンスを発揮していた可能性が示唆される.

さらに, 身体重心速度と跳躍距離の関係から明らかになったように, パフォーマンスの

高い H-type の競技者は高い水平速度に対応して減速を抑えながら、踏切の前半で効率よく鉛直速度を獲得していた。そこで、踏切前半における鉛直速度の獲得量に影響していた項目に着目すると、踏切局面における踏切脚膝関節の屈曲量との間に負の相関が ($r=-0.76$, $p<0.05$)、TD における踏切脚大腿の角速度と正の相関が見られた ($r=0.45$, $p<0.05$)。つまり、踏切局面の前半で効率よく鉛直速度を獲得していた競技者は TD において踏切脚を振り戻す動作を抑えながら接地し、その後の膝関節の屈曲が少なかったといえる。踏切脚を振り戻す動作を抑えるような動作は固定式接地（深代，1991）に近い接地様式であり、踏切前半で大きな鉛直速度を獲得していた H-type の競技者は踏切脚の姿勢は踏切前半における鉛直速度の獲得が小さかった競技者と類似しているが、踏切脚の接地までの動作が異なっていたといえる。さらに、Phillips and Lees (2005) は踏切局面における鉛直速度の獲得のためには踏切接地後の膝関節の屈曲を小さくすることが重要であると述べていることから、パフォーマンスの高い H-type の競技者の踏切前半における踏切脚の動作は鉛直速度の獲得につながる動作であったといえる。

以上の結果から、パフォーマンスの高い H-type の競技者は踏切局面において鉛直速度を獲得することのできる動作と水平速度の減速を抑制する動作を両立することで、高いパフォーマンスを発揮していたと考えられる。

3.4.3.2 V-type

① 身体重心速度

Table 3-6 および Figure 3-2, Figure 3-10 に示したように踏切準備局面および踏切局面に

において、跳躍距離と強い相関が見られた項目は H-type と同様に身体重心の水平速度であったことから、V-type においてもパフォーマンスに対して水平速度が大きく影響していたと考えられる。さらに、踏切局面における鉛直速度の獲得量 (ΔV_{TD-TO}) と跳躍距離の間に正の相関が見られ、踏切局面における水平速度の減速量と TD における水平速度の間に負の相関が見られたことから ($r=-0.42$, $p<0.05$)、V-type においては、大きな水平速度で TD へと向かい、水平速度を犠牲にしながらも踏切局面で鉛直速度を獲得することのできるような動作を行うことが、より高いパフォーマンスへとつながると考えられる。

② 踏切脚および振上脚の動作

跳躍距離と相関が見られた項目として、TD における踏切脚膝関節角度 (Table 3-7)、踏切局面における踏切脚膝関節角速度 (Figure 3-3)、踏切脚大腿の角度と角速度および下腿角度と角速度 (Figure 3-5)、振上脚大腿の角度および角速度 (Figure 3-6)、振上脚の振込高 (Figure 3-8) などがあげられる。これらの結果をまとめると、パフォーマンスの高い V-type の競技者は踏切脚では TD において下腿を振り出すことで膝関節を伸展させて接地し、大腿を前方へと速い速度で回転させることで、踏切後半にかけて膝関節を伸展させながら TO へと向かっていた。さらに振上脚では大腿をより後方から振り込み、踏切後半では積極的に振上脚を引き上げるような動作を行っていたと考えられる。

身体重心速度と跳躍距離の関係から、パフォーマンスの高い V-type の競技者は水平速度をある程度犠牲にしながらも鉛直速度を多く獲得しており、踏切局面における鉛直速度の獲得に影響していた項目に着目すると、踏切時間と正の相関が ($r=0.40$, $p<0.05$)、踏切局面における膝関節の伸展量との間に正の相関が ($r=0.38$, $p<0.05$)、TD における下腿角度と

正の相関が見られた ($r=0.42$, $p<0.05$). つまり, 踏切局面で大きな鉛直速度を獲得していた V-type の競技者は踏切時間が長く, TD において踏切脚をより身体の前方向へと接地し, 踏切後半では積極的に膝関節を伸展させながら TO へと向かっていたといえる. 踏切時間の増加は踏切で獲得することのできる力積を大きくすることに貢献すると考えられ, 結果として踏切局面における鉛直速度の増加にも影響していたと可能性が示唆される. また, 下腿を振り出した姿勢は固定式接地に近い動作であることから, 水平速度を大きく減少させるものの, 大きな鉛直速度を獲得することに貢献していたと考えられる. 一方で, 踏切局面における膝関節の伸展と鉛直速度の関係について, 志賀ら (2004) は, 踏切局面において接地の衝撃に耐えるためには膝関節の伸展筋力が重要であるが, 踏切後半における膝関節の過度な伸展は離地後の前方回転へとつながると報告している. しかしながら本研究においては, 踏切後半における膝関節の伸展動作は鉛直速度の獲得へとつながっており, V-type の競技者では適切な範囲内の膝関節伸展動作は鉛直速度の獲得に貢献していたと考えられる. 以上の結果から, パフォーマンスの高い V-type の競技者は高い水平速度を維持し踏切へと入り, 大きな減速を伴いながらも鉛直速度を獲得することで高いパフォーマンスを発揮していたと考えられる.

3.5 要約

本章では, 高校生男子走幅跳競技者を対象に, 踏切離地時の跳躍角度を指標とした跳躍

タイプによる分類を行い，各跳躍タイプの踏切局面および踏切準備局面における Kinematics の特徴を検討した．本章で得られた結果をまとめると以下のようになる．

- ① 全被験者の跳躍角の平均値は 20.68deg であり，被験者の競技レベルが非常に幅広かったことから平均値を用いた跳躍タイプの分類は，幅広い競技レベルの高校生競技者を対象にした基準値として妥当であったと考えられる．
- ② H-type に分類された競技者は，踏切局面後半において踏切脚を前方回転させるとともに，振上脚を前方へと移動させることで，水平速度の減少を抑制していた．
- ③ V-type に分類された競技者は，踏切準備局面で身体重心を大きく下げながら踏切へと向かい，踏切脚を前方に振り出し，体幹を後傾させることで水平速度を減速させながら大きな鉛直速度を獲得しており，振上脚の上方への引き上げ動作も鉛直速度の獲得に貢献していた．
- ④ 各タイプの跳躍距離は，踏切準備および踏切局面における身体重心の水平速度と強い相関が見られ，助走で大きな水平速度を獲得することは両タイプともに重要な課題となることが明らかになった．
- ⑤ 跳躍距離の大きかった H-type の競技者は踏切脚を身体の近くに接地し，その後の膝関節の屈曲を抑制することで，鉛直速度を獲得することのできる動作と水平速度の減速を抑制する動作を両立していたことが明らかになった．
- ⑥ 跳躍距離の大きかった V-type の競技者は踏切脚を身体の前方向へと接地することで，大きな水平速度の減速を伴いながらも，大きな鉛直速度を獲得できる動作を行っていたことが明らかになった．

4. 走幅跳における重心速度および跳躍角の簡易的な推定方法に関する検討 (研究課題2)

4.1 目的

走幅跳において、踏切の離地後に身体が受ける外力は重力および空気抵抗のみである。また、空気抵抗は無視することができるような小さな値であり、踏切離地後の身体重心の軌跡は放物線の経路をたどるため、踏切離地の時点で跳躍高および着地位置は決定されているといえるであろう。このような仮定から、深代（1983）は身体重心の水平初速度および鉛直初速度を用いて跳躍距離を推定しており、初速度を用いた跳躍距離の推定は実測値に対して推定値が若干過小評価されるものの妥当であると報告している。つまり、踏切離地後の身体重心は放物運動であるという仮定により、跳躍距離および滞空時間といった情報から踏切離地時の身体重心の速度を推定することが可能であると考えられる。

しかしながら、跳躍距離や滞空時間の情報から踏切離地時の身体重心速度を推定した研究は見られず、指導現場において身体重心速度を算出するためにはバイオメカニクス的手法を用いた動作分析や加速度計を用いた推定（田原ほか, 2009）が必要なのが現状である。跳躍距離および滞空時間は指導現場でも容易に収集可能な情報であり、それらを用いて踏切離地時の身体重心速度を推定することができれば、コーチングやトレーニングに役立てることができると考えられる。

本章の目的は、一般的な指導現場で使用可能な機材を用いて、走幅跳における踏切離地時の身体重心速度および跳躍角を簡易的に算出する方法について検討し、指導現場で簡易的に跳躍タイプの分類を行うための方法を提案することである。

4.2 方法

4.2.1 重心速度の推定方法

Figure 4-1 は走幅跳の跳躍距離を決定する要因を示したものである。走幅跳の跳躍距離は踏切離地時の踏切脚のつま先と身体重心の水平距離 (L_1) と着地時の踵と重心の距離 (L_3), 空中における身体重心の鉛直変位 ($H_1 - H_2$), 踏切離地時の水平速度 (V_H) および鉛直速度 (V_V) によって決定される (深代, 1983)。さらに, 踏切離地時および着地時の身体重心の位置 (L_1, L_3, H_1, H_2) は身長および姿勢によって定まる定数のため, 競技力 (跳躍距離) の大小に関わらず一定であると考えられる (深代, 1983)。以上のような仮定から空中における身体重心の移動を放物運動であると仮定し, 放物運動の公式から踏切離地時の水平速度 (V_{HE1}) および鉛直速度 (V_{VE1}) の推定式 I を以下の① ②のように定義した。

$$V_{HE1} = \frac{L - (L_1 + L_3)}{t} \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$V_{VE1} = \frac{(0.5 \times g \times t^2) - (H_1 - H_2)}{t} \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

L = 公式記録, t = 滞空時間, g = 重力加速度 (9.81m/s^2)。

L_1, L_3, H_1, H_2 は全被験者の平均値を定数として推定式に用いた。さらに, 滞空時間 (t) はデジタルビデオカメラ (iVIS HF R52, Canon 社製) を用いてカメラスピード 60fps でパニング撮影した映像のコマ数から算出し跳躍距離 (L) は公式記録とし, この 2 情報を各被験者によって異なる変数とした。そして, 推定した V_{HE1} と V_{VE1} から推定跳躍角 (θ_{E1}) を算出した。

さらに推定式の精度を向上させるための手段として, 実際の競技会における跳躍では踏切離地時のつま先から踏切板端までの踏切損失距離 (L_4) および着地時の踵位置から砂場

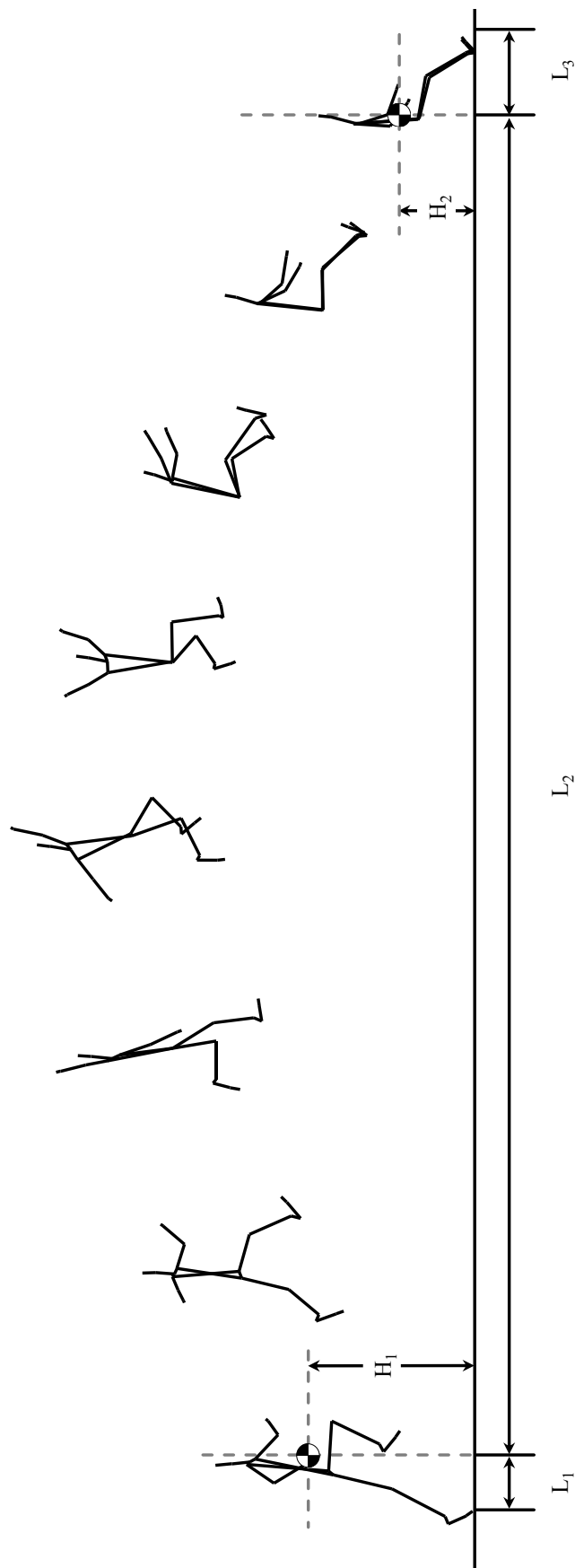


Figure 4-1 Definitions of components of jumping distance of the long jump.

の踏切板に最も近い着地位置までの着地損失距離（ L_5 ）を考慮する必要があると考えられる（Figure 4-2）。そこで、被験者の L_4 および L_5 の平均値を定数として式①に加え、推定式Ⅱを③のように定義した。

$$V_{HE2} = \frac{L - (L_1 + L_3 - L_4 - L_5)}{t} \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

そして、推定した V_{HE2} と V_{VE1} から推定跳躍角（ θE_2 ）を算出した。なお、 L_4 および L_5 は鉛直速度の推定に影響しないため、推定式Ⅰおよび推定式Ⅱによる推定鉛直速度は同値である。

4.2.2 被験者

被験者は 2007 年から 2015 年に日本国内における競技会に出場した男子走幅跳競技者である。

Table 4-1 は踏切離地時情報の収集に用いた被験者 171 人（Group-T）および着地時情報の収集に用いた被験者 31 人（Group-L），身体重心速度と跳躍角の推定を行い動作分析による値と推定式による値の比較を行った被験者 128 人（Group-E）の分析試技の平均値を示している。なお、被験者の一部は重複している。Table 4-2 は映像を撮影した競技会一覧であり，その一部は日本陸上競技連盟科学委員会の活動により収集したものである。

4.2.3 分析試技

分析試技は各被験者が出場した競技会における試技の中で最も記録の良かった試技を成功試技として分析の対象とした。

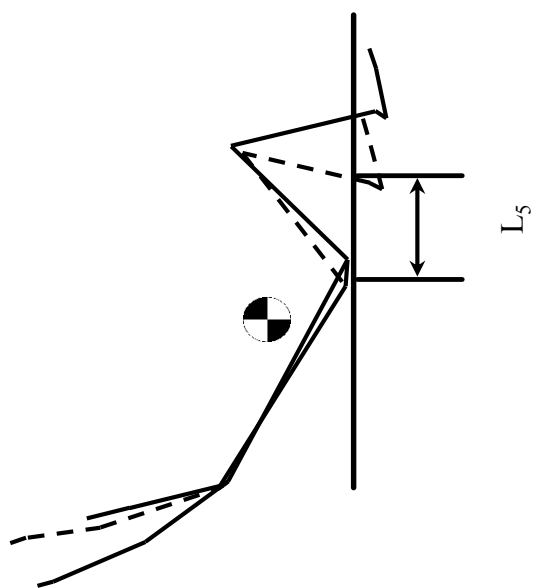


Figure 4-2 Definitions of loss distance of takeoff and loss distance of landing.

Table 4-1 Characteristics of subject.

Subject	Jump distance (m)
Collecting takeoff parameter (n=171) (max-min)	7.14±0.57 (8.19-5.87)
Collecting landing parameter (n=31) (max-min)	7.21±0.33 (7.82-6.61)
Comparing estimated value and measured value (n=128) (max-min)	7.07±0.56 (8.19-5.87)

Table 4-2 Competition data of analysis.

Competition name	Date	Stadium name
第11回世界陸上競技選手権大会	2007.8.30	長居陸上競技場
第93回日本陸上競技選手権大会	2009.6.26	広島広域公園陸上競技場
第94回日本陸上競技選手権大会	2010.6.5	丸亀競技場
第95回日本陸上競技選手権大会	2011.6.11	熊谷スポーツ文化公園
第19回アジア陸上競技選手権大会	2011.7.10	ユニバー記念競技場
第46回織田幹雄記念国際陸上競技大会	2012.4.29	広島広域公園陸上競技場
第96回日本陸上競技選手権大会	2012.6.9	長居陸上競技場
第97回日本陸上競技選手権大会	2013.6.8	味の素スタジアム
第7回日本ユース陸上競技選手権大会	2013.10.18	瑞穂公園陸上競技場
第29回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2013.10.20	瑞穂公園陸上競技場
第48回織田幹雄記念国際陸上競技大会	2014.4.29	広島広域公園陸上競技場
第67回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会 京都府予選会	2014.5.30	西京極陸上競技場
第98回日本陸上競技選手権大会	2014.6.8	県営あづま陸上競技場
第67回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会 近畿地区予選会	2014.6.19	西京極陸上競技場
第67回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会	2014.8.1	山梨中銀スタジアム
第8回日本ユース陸上競技選手権大会	2014.10.3	瑞穂公園陸上競技場
第30回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2014.10.5	瑞穂公園陸上競技場
第63回兵庫リレーカーニバル	2015.4.26	ユニバー記念競技場
第68回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会	2015.7.31	紀三井寺公園陸上競技場
第9回日本ユース陸上競技選手権大会	2015.10.16	瑞穂公園陸上競技場
第31回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2015.10.18	瑞穂公園陸上競技場

4.2.4 データ処理

第 2 章に示した方法で踏切局面または着地局面における各被験者の身体分析点 23 点の 3 次元座標を算出し、平滑化を行った。最適遮断周波数は 4.8-12.0Hz の範囲であった。コントロールポイントの 3 次元座標に対する標準誤差の範囲を以下に示した。

X 座標 : 0.006m - 0.012m, Y 座標 : 0.005m - 0.013m, Z 座標 : 0.006m - 0.017m

4.2.5 算出項目

第 2 章に示した方法で各 Group において必要となる以下の項目を算出した。

- ①身体重心位置および身体重心速度 (Group-T, Group-L, Group-E)
- ②滞空時間 (Group-E)
- ③踏切距離 (Group-T)
- ④着地距離 (Group-L)

さらに、踏切および着地における損失距離を以下のように算出した (Figure 4-2)。

- ⑤踏切損失距離 (Group-T)

踏切離地前 10 コマの踏切脚つま先の座標の平均値と踏切板の先端までの水平距離。

- ⑥着地損失距離 (Group-L)

着地局面において初めに砂場に接地した脚の踵の X 座標と公式記録の差分。

4.2.6 統計処理

第 2 章に示した方法を用いて、推定式 I および推定式 II から算出した身体重心速度 (V_{HE1} 、

V_{HE2} , V_{VE1}) および跳躍角 (θ_{E1} , θ_{E2}) とバイオメカニクス的手法を用いた動作分析から算出した身体重心速度 (V_H , V_V) および跳躍角 (θ) について、統計処理を行った。本章では各推定値と動作分析によって算出した値について対応のある One-way-ANOVA を用い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。また、動作分析によって算出した値と推定値を比較し、誤差を検討するために Root-Mean-Square-errors (RMSE) を算出した。

4.3 結果

4.3.1 推定式に用いた平均値

Table 4-3 は踏切離地および着地における L_1 , L_3 , L_4 , L_5 , H_1 , H_2 の平均値を示している。これらの平均値は各被験者の身長などの身体特性、踏切および着地における技術の巧拙によって決定する値であるため個人差が見られる数値であり、その標準偏差は 0.06 - 0.09m の間であった。本研究においては、以上の平均値を男子走幅跳競技者の基準値として、身体重心速度の推定式における定数として利用した。

4.3.2 身体重心速度および跳躍角の推定

Table 4-4 は動作分析から算出した身体重心水平速度の平均値と推定式 I および推定式 II を用いて推定した身体重心水平速度、動作分析から算出した値との RMSE および誤差の絶対値の最大値を示している。身体重心の水平速度の平均値は V_H が $8.29 \pm 0.50 \text{m/s}$ であり、

Table 4-3 The mean values to use estimations.

	Average (max-min)
Takeoff distance (m) L1	0.36±0.06 (0.47-0.20)
Landing distance (m) L3	0.52±0.09 (0.68-0.34)
Toe-to Board distance (m) L4	0.07±0.06 (0.36-0.00)
Loss distance by landing (m) L5	0.13±0.09 (0.42-0.05)
C.G. height at takeoff (m) H1	1.13±0.06 (1.35-1.03)
C.G. height at landing (m) H2	0.53±0.06 (0.65-0.39)
※ L1, L4, H1 (n=171) L3, L5, H2 (n=31)	

V_{HE1} よりも有意に小さく ($p<0.05$), V_{HE2} よりも有意に大きかった ($p<0.05$). さらに, V_{HE1} と V_{HE2} の間にも有意な差が見られた ($p<0.05$). 水平速度における RMSE は推定式 I で 0.32m/s, 推定式 II で 0.27m/s であり, 動作分析から算出した V_H との誤差の絶対値の最大値は推定式 I で 0.71m/s, 推定式 II で 0.69m/s であった. RMSE, 誤差の絶対値の最大値ともに推定式 II がわずかに小さくなる傾向が見られ, 動作分析から算出した値に近づいていた.

Table 4-5 は動作分析から算出した身体重心鉛直速度の平均値と推定式 I を用いて推定した身体重心鉛直速度, 動作分析から算出した値との RMSE および誤差の絶対値の最大値を示している. 身体重心の鉛直速度の平均値は V_V が 3.20 ± 0.33 m/s であり V_{VE1} よりも有意に大きな値であった ($p<0.05$). 鉛直速度における RMSE および誤差の絶対値の最大値は 0.20m/s と 0.52m/s であった.

Table 4-6 は動作分析から算出した跳躍角の平均値と推定式 I および推定式 II を用いて推定した跳躍角, 動作分析から算出した値との RMSE および誤差の絶対値の最大値を示している. 跳躍角の平均値は θ が 21.12 ± 2.10 deg であり, θ_{E1} および θ_{E2} よりも有意に大きかった ($p<0.05$). また, θ_{E1} と θ_{E2} の間にも有意な差が見られ ($p<0.05$), θ_{E1} がより小さな値であった. 跳躍角における RMSE は推定式 I で 1.66deg, 推定式 II で 1.29deg であり, 動作分析から算出した θ との誤差の絶対値の最大値は推定式 I で 3.38deg, 推定式 II で 2.82deg であった. RMSE, 誤差の絶対値の最大値ともに推定式 II で小さくなる傾向が見られ, 動作分析から算出した値に近づいていた.

Figure 4-3 は動作分析から算出した値と推定式 II で推定した値の関係を示している.

身体重心の水平速度では V_H と, V_{HE2} の間に有意な相関が見られ ($r=0.86$, $p<0.01$), 身体

Table 4-4 Comparison of motion analysis and estimation (Horizontal velocity).

	Motion analysis (V_H)	Estimate equation I ($V_H E_1$)	Estimate equation II ($V_H E_2$)	Difference
Horizontal velocity (m/s)	8.29±0.50	8.47±0.47	8.21±0.47	$V_H E_1 > V_H > V_H E_2$
RMSE (m/s)	-	0.32	0.27	-
Maximum calculation error (m/s)	-	0.71	0.69	-

< significant difference $p < 0.05$

Table 4-5 Comparison of motion analysis and estimation (Vertical velocity).

	Motion analysis (V_v)	Estimate equation I ($V_v E_1$)	Difference
Vertical velocity (m/s)	3.20 ± 0.33	3.05 ± 0.30	$V_v > V_v E_1$
RMSE (m/s)	-	0.20	-
Maximum calculation error (m/s)	-	0.52	-

<, significant difference $p < 0.05$

Table 4-6 Comparison of motion analysis and estimation (Jump angle).

	Motion analysis (θ)	Estimate equation I (θE_1)	Estimate equation II (θE_2)	Difference
Jump angle (deg)	21.12 $\pm$ 2.10	19.83 $\pm$ 2.1	20.40 $\pm$ 2.09	$\theta > \theta E_2 > \theta E_1$
RMSE (deg)	-	1.66	1.29	-
Maximum calculation error (deg)	-	3.38	2.82	-

<, significant difference $p < 0.05$

重心の鉛直速度では V_v と $V_v E_1$ の間には有意な相関が見られた ($r=0.91$, $p<0.01$). さらに, 跳躍角でも θ と θE_2 の間に有意な相関が見られた. ($r = 0.87$, $p<0.01$).

4.3.3 推定式を用いた高校生男子競技者のタイプ分け

第3章の被験者とした高校生男子走幅跳競技者の内, パンニング映像を収集することができた被験者 76 人を対象に推定式を用いて跳躍角を推定し, 第3章でタイプ分けの基準とした 20.68deg を基準値として H-type と V-type に分類した. また, 第3章で3次元動作分析から算出した跳躍角を用いたタイプ分けの結果と推定式を用いたタイプ分けの結果の関係を Figure 4-6 に示した. 動作分析から算出した跳躍角によるタイプ分けと推定式から推定した跳躍角によるタイプ分けで異なるタイプに分類された被験者は黒丸 (●) で示した 13 人であり, 残りの 63 人は同じタイプに分類されていた.

4.4 考察

4.4.1 推定式の妥当性

推定式に用いた平均値は, 被験者の身体特性や跳躍技術に依存するものであり, 実際の競技場面においても個人差が見られる項目である. しかしながら, 本研究の被験者は男子の高校生競技者から世界一流競技者までと幅広いことから, 幅広い身体特性および競技レベルをカバーしていると考えられる. また, これらの平均値と競技レベル (跳躍距離) の

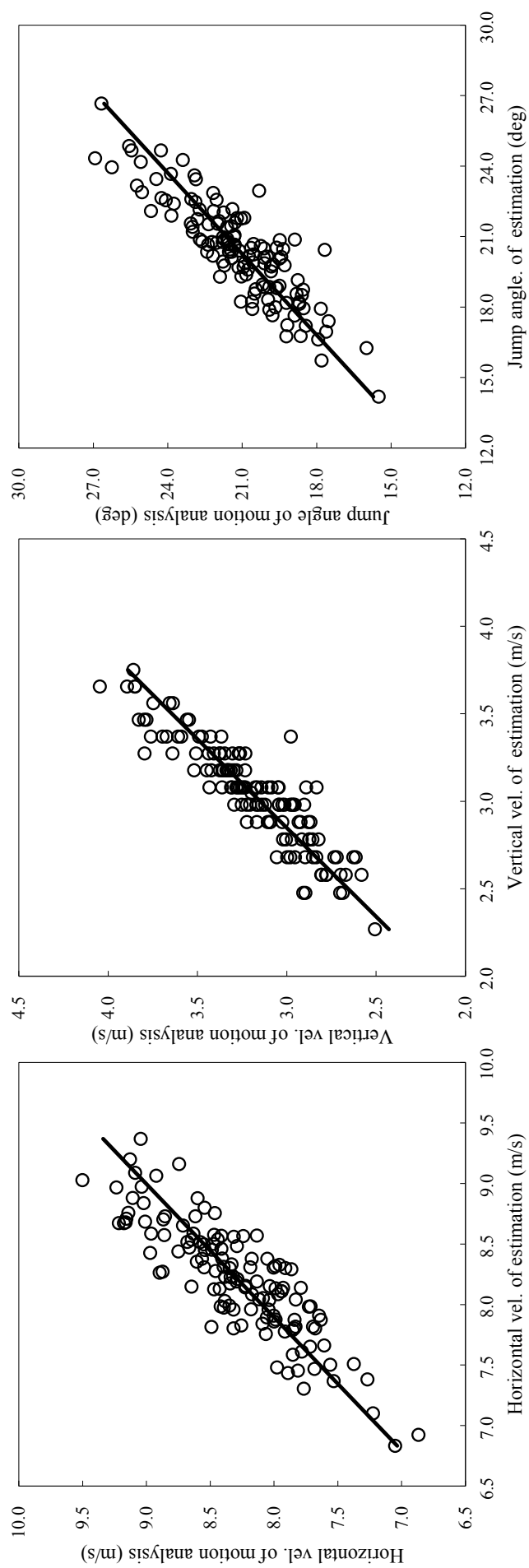


Figure 4-3 Correlations between motion analysis and estimation.

関係を見ると、H₁ および L₄ には弱い正の相関が見られたものの ($r=0.26$, $p<0.05$: $r=0.30$, $p<0.05$), その他の項目では跳躍距離と相関は見られなかった (L₁; $r=0.07$, N.S. : L₃; $r=-0.15$, N.S. : L₅; $r=-0.11$, N.S. : H₂; $r=0.09$, N.S.). このことから、本研究で用いた平均値は競技レベルに強く依存しない値であったといえるであろう。さらに、平均値の標準偏差は 0.06-0.09m と比較的小さな値であり、以上のような結果からも平均値を用いることによって、男子走幅跳競技者の大部分に対応することができていたと考えられる。

各被験者の公式記録とパンニング映像から算出した滞空時間を推定式 I および II に代入し、各被験者の踏切離地時の水平速度、鉛直速度および跳躍角を推定し、動作分析から算出した値と比較を行った。Table 4-4 に示したように、水平速度では動作分析から算出した値の平均値、推定式 I から推定した値の平均値および推定式 II から推定した値の平均値の間にいずれも有意な差が見られたが、推定式 II から推定した値は動作分析から算出した値に近づいていた。さらに、動作分析から算出した値と推定式 II から推定した値の RMSE は 0.27m/s であったこと、Figure 4-3 に示したように有意な相関が見られたことから推定式 II を用いた水平速度の推定はある一定の精度があったと考えられる。また、跳躍距離と推定式 II から推定した水平速度の絶対誤差の間に相関は見られなかったことから ($r=0.07$, $p=0.79$), 推定式 II による水平速度の推定誤差に跳躍距離の大小は影響しておらず、幅広い競技レベルの競技者を対象に用いることのできる推定式であったことを示唆していると考えられる。

Table 4-5 に示したように、鉛直速度では動作分析から算出した値と推定式 I から算出した値の間に有意な差が見られた。しかしながら、動作分析から算出した値と推定した値の

RMSE は 0.20m/s であったこと、Figure 4-3 に示したように有意な相関が見られたことから推定式 I を用いた鉛直速度の推定はある一定の精度があったと考えられる。また、水平速度の推定と同様に、跳躍距離と推定式 I から推定した鉛直速度の絶対誤差の間に相関は見られなかったことから ($r=0.09$, $p=0.86$)、推定式 I による鉛直速度の推定誤差に跳躍距離の大小は影響しておらず、幅広い競技レベルの競技者を対象に用いることのできる推定式であったことを示唆していると考えられる。

Table 4-6 に示したように跳躍角では、動作分析から算出した値の平均値、推定式 I から推定した値の平均値および推定式 II から推定した値の平均値の間にいずれも有意な差が見られたが、推定式 II から推定した値は動作分析から算出した値に近づいていた。また、動作分析から算出した値と推定式 II から推定した値の RMSE は 1.29deg であったこと、Figure 4-3 に示したように有意な相関が見られたことから推定式 II を用いた水平速度の推定はある一定の精度があったと考えられる。水平速度の推定および鉛直速度の推定と同様に、跳躍距離と推定式 II から推定した鉛跳躍角の絶対誤差の間に相関は見られなかったことから ($r=-0.03$, $p=0.49$)、推定式 II による跳躍角の推定誤差に跳躍距離の大小は影響しておらず、幅広い競技レベルの競技者を対象に用いることのできる推定式であったことを示唆していると考えられる。

以上のように、本研究において提案した推定式を用いた水平速度、鉛直速度および跳躍角の値は動作分析から算出した値と比較しても誤差が比較的小さく、その妥当性が明らかになったといえる。踏切離地時の重心速度や跳躍角は跳躍距離に直接影響する要因であることから、指導現場におけるコーチングやトレーニングに活用可能な情報である。本研

究においてデジタルビデオカメラによるパンニング映像と跳躍距離という収集しやすい情報をを用いた推定方法が確立されたことにより、今まではバイオメカニクス的手法を用いた分析が必要となるためデータの算出とフィードバックに時間を要していた情報が、指導現場においても簡易的に算出することが可能になったといえる。

4.4.2 跳躍タイプ推定への活用

Figure 4-4 に示したように第 3 章でタイプ分けを行った被験者 101 人の内、分析試技のパンニング映像を収集することができた 76 人を対象として、本章で提案した推定式を用いてパンニング映像と公式記録から跳躍角を推定し、第 3 章で基準値とした跳躍角 20.68 deg を用いて 76 人を H-type および V-type に分類した。動作分析によるタイプ分けと、推定式によるタイプ分けで異なるタイプに分類された被験者は 13 人であった。13 人の内 10 人は動作分析によるタイプ分けでは V-type であったが、推定式によるタイプ分けでは H-type に分類された。Table 4-6 に示したように推定式から推定される跳躍角は動作分析による跳躍角よりも平均値で 0.5deg 程度小さくなる傾向があることから、10 人はその結果として異なるタイプに分類されたと考えられる。しかしながら、約 83%の被験者に対しては動作分析によるタイプ分けと同様の結果を得ることができ、指導現場において簡易的に用いるための指標としては十分な精度であるといえるであろう。

さらに、指導現場で用いる指標としてより活用しやすく、精度を高めることを目的として第 3 章で算出した跳躍角の平均値の $\pm 0.5SD$ の範囲 (19.81-21.55deg) を、H-type と V-type の中間に位置する Midol-type (M-type) と仮定し、タイプ分けの範囲に加えた (Figure 4-5)。

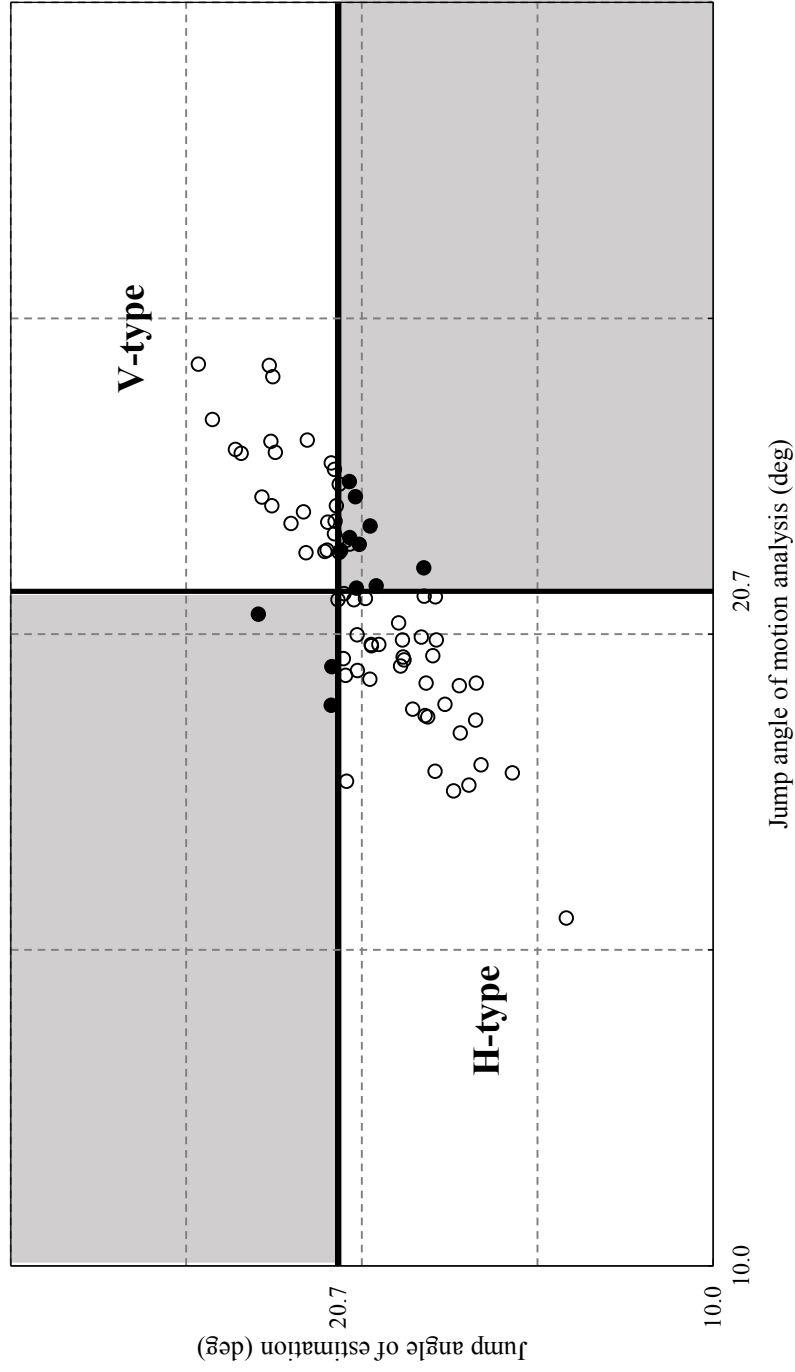


Figure 4-4 Classification of jump angle.

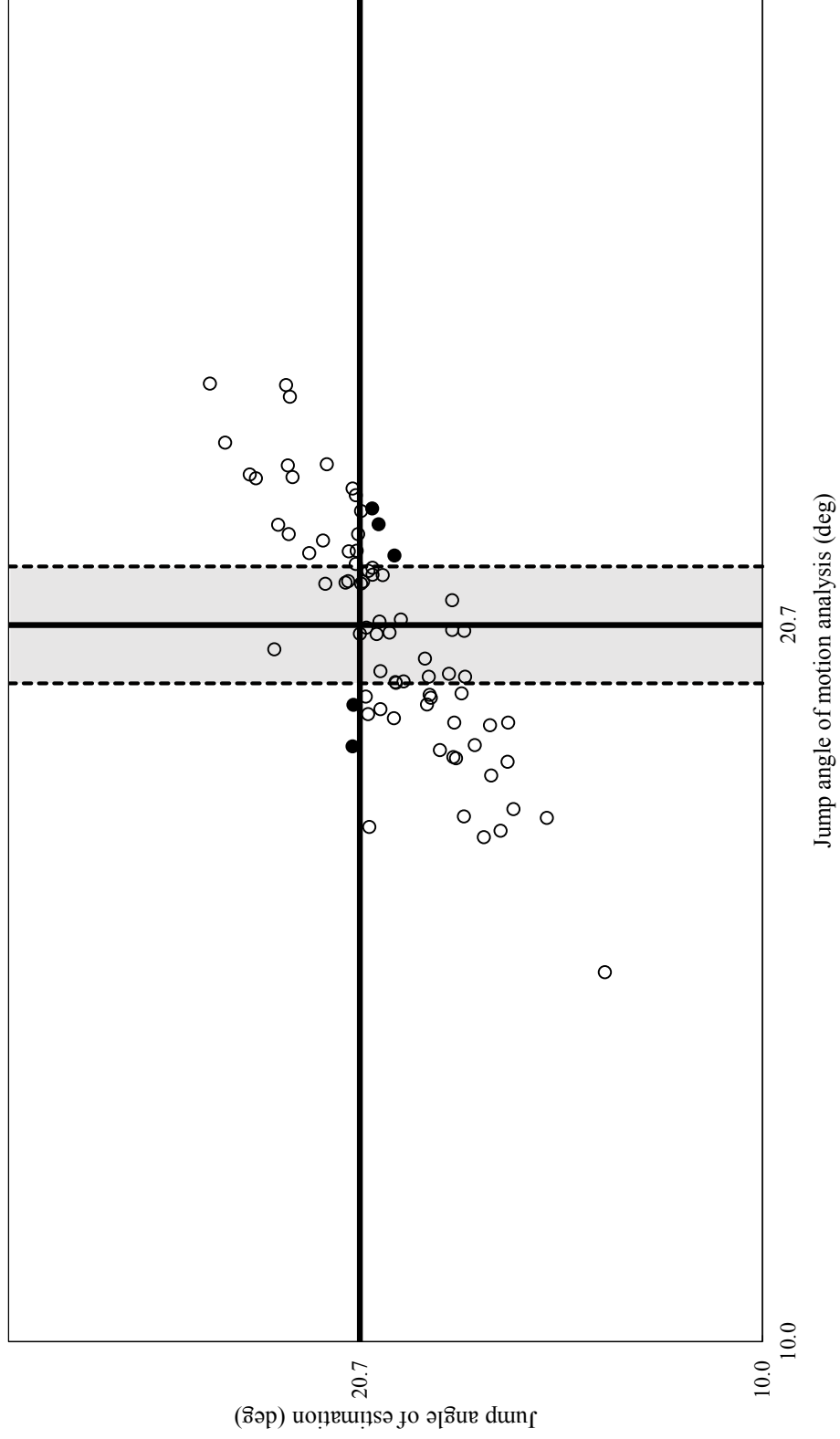


Figure 4-5 Classification of jump angle (Including M-type).

M-type を加えると推定式によるタイプ分けにおいて動作分析によるタイプ分けと異なるタイプに分類された 13 人の内 8 人は M-type の競技者であった。つまり、指導現場で簡易的にタイプ分けを行う際には M-type という中間の跳躍タイプを設けることで、より競技者の跳躍タイプを正確に把握することができる可能性が示唆される。

4.5 要約

本章では、一般的な指導現場で使用可能な機材などを用いて、走幅跳における踏切離地時の身体重心速度および跳躍角を簡易的に明らかにする方法について検討し、指導現場で簡易的に跳躍タイプの分類を行うための方法を提案した。本章で得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ① 推定式から推定した踏切離地時の身体重心の水平速度および鉛直速度、跳躍角は動作分析による値より小さな値となる傾向が見られたが、その誤差は比較的小さく、指導現場で用いるのには妥当な精度であった。
- ② 推定された値の絶対誤差と跳躍距離の間に関係性は見られず、推定式は幅広い競技レベルの男子競技者に対応することができる可能性が示唆された。
- ③ 推定式から推定した跳躍角を用いて男子高校生走幅跳競技者をタイプ分けすると、約 83% の競技者が動作分析による跳躍タイプの分類と同様のタイプに分類され、ある一定の精度が確認された。

- ④ 指導現場での簡易的なタイプ分けで活用するには、H-type と V-type の中間のタイプ (M-type) を考慮することで、より競技者の特性を正確に把握することができる可能性が示唆された。

5. 高校生競技者に対する跳躍タイプに応じた指導を行う場合への示唆（研究課題 3）

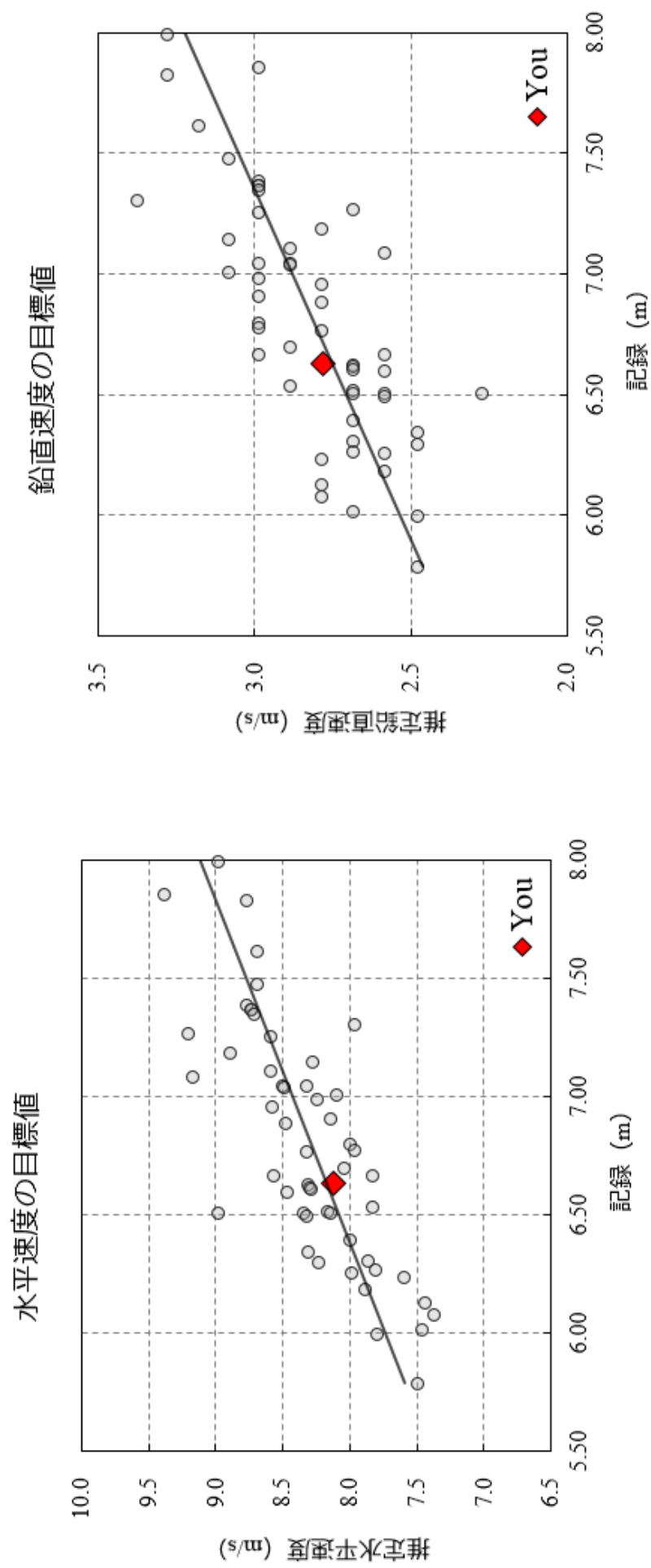
本章では，本研究で得られた結果や指導書の記述などから，高校生男子競技者を対象とし，実際の指導現場で跳躍タイプに応じた技術指導を行う際の手法に関する示唆を引き出す．

5.1 指導現場における跳躍タイプの推定値と目標値の設定

第4章における推定式の結果をもとに，跳躍距離とパンニング映像のコマ数から推定値および跳躍タイプを簡易的に算出することのできるワークシートを Microsoft Excel 2013（Microsoft 社製）を用いて作成した（Figure 5-1）．教育現場などにも幅広く導入されている Microsoft Excel を用いることで，跳躍距離とパンニング映像の2つの情報があればすべての指導者や競技者が容易に重心速度や跳躍タイプといった情報を得ることができると考えられる．

また，ワークシートには各タイプの様々な競技レベルにある競技者の記録と推定重心速度の関係性を示した散布図およびワークシートを利用した競技者の記録と推定重心速度の関係がプロットされるグラフを表示し（Figure 5-2），利用者の特徴や課題を視覚的に認識することを可能にした．つまり，このようなワークシートを用いることで指導現場において感覚的に語られることが多い跳躍の良し悪しや跳び出しの速度などを，指導者と競技者が明確な数値として理解できるとともに，共通の認識を持つことができる効果が予想され

Figure 5-1 Spreadsheets to estimate C.G. velocities and jump angle.



る。さらに、指導者および競技者の科学的データを理解し活用する能力の育成にもつながると考えられ、科学的根拠に基づくコーチング手法のために活用することのできるワークシートであるといえる。

5.2 跳躍タイプに応じた高校生競技者の指導

第3章において明らかとなった高校生男子競技者の H-type および V-type の特徴と踏切局面における動作パラメータを用いて、高校生競技者に対する科学的根拠に基づく走幅跳の技術指導のための評価ポイントを検討し、トレーニングへの示唆を引き出すことを試みた。評価ポイントの検討にあたっては、田内らの男子やり投げにおける投てき動作の評価基準（2012）および田内の科学的根拠に基づくやり投の技術指導のためのガイドライン（2012）を参考にした。評価ポイントの検討方法および内容について以下で詳しく述べる。

5.2.1 方法

① 作成手順

第3章の結果から両タイプともに身体重心の水平速度と跳躍距離に強い相関が見られ、大きな身体重心の水平速度の獲得が高いパフォーマンスにつながる事が明らかになった。さらに、H-type では踏切前半局面における身体重心の鉛直速度の増加量に、V-type では踏切局面における鉛直速度の増加量に跳躍距離と相関が見られたことから、踏切局面前半ま

Table 5-1 Parameters of takeoff motion.

Knee angle of takeoff leg (TD)	Thigh angle of takeoff leg (TD)
Maximum knee flexion angle of takeoff leg	Thigh angle of takeoff leg (TO)
Knee angle of takeoff leg (TO)	Change in thigh angle of takeoff leg during the takeoff phase
Flexion of knee angle of takeoff leg during the 1st half of the takeoff phase	Thigh angle of free leg (TD)
Extension of knee angle of takeoff leg during the 2nd half of the takeoff phase	Thigh angle of free leg (TO)
Knee angle of free leg (TD)	Change in thigh angle of free leg during the free phase
Knee angle of free leg (TO)	Shank angle of takeoff leg (TD)
Change in knee angle of free leg during the takeoff phase	Shank angle of takeoff leg (TO)
Trunk angle (TD)	Change in shank angle of takeoff leg during the takeoff phase
Trunk angle (TO)	Thigh angular velocity of takeoff leg (TD)
Change in trunk angle during the takeoff phase	Thigh angular velocity of takeoff leg (TO)
	Thigh angular velocity of free leg (TD)
	Thigh angular velocity of free leg (TO)
	Maximum value of thigh angular velocity of free leg during the takeoff phase

たは踏切局面で大きな鉛直速度を獲得することが高いパフォーマンスへとつながることも明らかになった。そこで、Table5-1 に示した踏切局面における 25 項目の動作パラメータと踏切局面前半または踏切局面における鉛直速度の獲得量との相関から各タイプごとに鉛直速度の獲得に関連する動作要因を明らかにした。また、重回帰分析を用いて踏切前半局面または踏切局面における鉛直速度の獲得量に関連する複数の動作要因の中での優先度を明らかにした。そして、鉛直速度の獲得に関連する動作要因の優先度および 3 章の結果を踏まえて、踏切局面における動作を客観的に評価するためのポイントを明らかにし、トレーニングへの示唆を引き出した。これらの手順を経て、高校生走幅跳競技者に対する跳躍タイプ別の技術指導のための評価ポイントおよびトレーニングへの示唆をまとめた。

② 統計処理

第 2 章に示した方法で統計処理を行った。また本章では動作パラメータ間の重要度を明らかにするために、H-type では動作パラメータを独立変数、踏切前半局面における鉛直速度の獲得量を従属変数とした強制投入法による重回帰分析を行い、V-type では動作パラメータを独立変数、踏切局面における鉛直速度の獲得量を従属変数とした強制投入法による重回帰分析を行った。

5.2.2 結果

Table 5-2 は H-type の踏切局面における 25 項目の動作パラメータと踏切前半局面における鉛直速度獲得量の相関係数を示している。また、Table 5-3 は V-type の踏切局面における 25 項目の動作のパラメータと鉛直速度獲得量の相関係数を示している。本章では、鉛直速

Table 5-2 Correlation coefficients between increase in vertical velocity during the 1st phase of the takeoff motions in H-type subject.

	Correlation between increase in vertical velocity during the takeoff phase
Knee angle of takeoff leg (TD)	0.363**
Most knee flexion angle of takeoff leg	-0.402**
Knee angle of takeoff leg (TO)	-0.511**
Flexion of knee angle of takeoff leg during the 1st phase of the takeoff phase	-0.755**
Extension of knee angle of takeoff leg during the 2nd half of the takeoff phase	-0.131
Knee angle of free leg (TD)	0.028
Knee angle of free leg (TO)	-0.159
Change in knee angle of free leg during the takeoff phase	-0.126
Trunk angle (TD)	-0.161
Trunk angle (TO)	-0.064
Change value of trunk angle during the takeoff phase	0.070
Thigh angle of takeoff leg (TD)	-0.024
Thigh angle of takeoff leg (TO)	0.574**
Change in trunk angle during the takeoff phase	0.449**
Thigh angle of free leg (TD)	-0.173
Thigh angle of free leg (TO)	0.117
Change in thigh angle of free leg during the takeoff phase	0.211
Shank angle of takeoff leg (TD)	0.432**
Shank angle of takeoff leg (TO)	-0.145
Change in shank angle of takeoff leg during the takeoff phase	-0.474**
Thigh angular velocity of takeoff leg (TD)	0.454**
Thigh angular velocity of takeoff leg (TO)	-0.306*
Thigh angular velocity of free leg (TD)	-0.195
Thigh angular velocity of free leg (TO)	0.215
Maximum value of thigh angular velocity of free leg during the takeoff phase	-0.159

Table 5-3 Correlation coefficients between increase in vertical velocity during the takeoff phase and takeoff motions in V-type subject.

	Correlation between increase in vertical velocity during the takeoff phase
Knee angle of takeoff leg (TD)	0.150
Most knee flexion angle of takeoff leg	-0.058
Knee angle of takeoff leg (TO)	0.285*
Flexion of knee angle of takeoff leg during the 1st phase of the takeoff phase	-0.206
Extension of knee angle of takeoff leg during the 2nd half of the takeoff phase	0.377**
Knee angle of free leg (TD)	0.049
Knee angle of free leg (TO)	-0.148
Change in knee angle of free leg during the takeoff phase	-0.123
Trunk angle (TD)	0.315*
Trunk angle (TO)	-0.117
Change in trunk angle during the takeoff phase	-0.266
Thigh angle of takeoff leg (TD)	0.242
Thigh angle of takeoff leg (TO)	-0.067
Change in thigh angle of takeoff leg during the takeoff phase	-0.214
Thigh angle of free leg (TD)	-0.330*
Thigh angle of free leg (TO)	0.107
Change in thigh angle of free leg during the takeoff phase	0.334*
Shank angle of takeoff leg (TD)	0.422**
Shank angle of takeoff leg (TO)	0.410**
Change in shank angle of takeoff leg during the takeoff phase	-0.047
Thigh angular velocity of takeoff leg (TD)	0.113
Thigh angular velocity of takeoff leg (TO)	-0.088
Thigh angular velocity of free leg (TD)	0.045
Thigh angular velocity of free leg (TO)	-0.033
Maximum value of thigh angular velocity of free leg during the takeoff phase	0.285*

度獲得量に影響を及ぼす動作パラメータおよびその重要度を明らかにするために、動作パラメータを独立変数、鉛直速度獲得量を従属変数とした重回帰分析を試みた。動作要因の抽出においては、Table 5-2 および 5-3 の結果から鉛直速度の獲得量との相関係数の有意水準が 5%未満であること、項目間の多重共線性を考慮し、同項目間では TD、TO の各時点、または変化量などからいずれか 1 項目のみを採用することとした。その結果、H-type で 4 項目（グレーで示した項目）を抽出し、重回帰分析に用い、V-type では 5 項目（グレーで示した項目）を抽出し、重回帰分析に用いた。

Table 5-4 は H-type の 4 項目の動作パラメータをすべて用いた強制投入法による重回帰分析の結果を示している。重回帰方程式の F 値は危険率 1%以下で有意であり、決定係数は 0.776 と高い値であり、VIF はいずれも低い値であった。さらに各動作パラメータ間の標準回帰係数を見ると、高い順に踏切局面における踏切脚膝関節の屈曲量(T-knee (flexion))、TO における踏切脚大腿角度、TD における踏切脚大腿角速度、TD における踏切脚下腿角度であった。

Table 5-5 は V-type の 5 項目の動作パラメータをすべて用いた強制投入法による重回帰分析の結果を示している。重回帰方程式の F 値は危険率 1%以下で有意であり、決定係数は 0.301 と低い値であり、VIF はいずれも低い値であった。さらに各動作間の標準回帰係数を見ると、高い順に踏切局面における踏切脚膝関節の伸展量、TD における踏切脚下腿角度、TD における体幹角度、TD における振上脚大腿角度、踏切局面における振上脚大腿角速度の最大値であった。

Table 5-4 Result of multiple regression analysis by forced entry method in H-type subject.

	B	SEB	β	VIF
(Constant)	1.182	0.279		
T-knee (Flexion)	-0.054	0.007	-0.745**	2.222
T-thigh (TO)	0.037	0.006	0.418**	1.089
T-thigh vel (TD)	-0.001	0.000	-0.234**	2.098
T-shank (TD)	0.020	0.006	0.224**	1.096
R	0.891			
R ²	0.776			
SEE	0.195			

Table 5-5 Result of multiple regression analysis by forced entry method in V-type subject.

	B	SEB	β	VIF
(Constant)	2.297	0.372		
T-knee (Extension)	0.021	0.007	0.432**	1.382
T-shank (TD)	0.026	0.010	0.409**	1.551
Trunk (TD)	0.021	0.011	0.231*	1.109
F-thigh (TD)	0.001	0.006	0.033	1.844
F- thigh vel. (max)	0.000	0.000	0.018	1.349
R	0.611			
R ²	0.301			
SEE	0.252			

5.2.3 科学的根拠に基づく走幅跳の技術指導の評価ポイント

① H-type

第3章において H-type の跳躍距離と相関が見られた身体重心の水平速度と踏切局面前半における鉛直速度の獲得量に着目し、H-type の競技者に対する技術指導における評価ポイントとする動作パラメータについて検討を行った。Table 5-4 に示したように跳躍距離に関連する項目である踏切局面前半における鉛直速度の獲得量と相関が見られた動作パラメータ4項目を用いた強制投入法による重回帰分析の結果、その決定係数は 0.776 と高く、これらの4項目の動作パラメータで踏切局面前半における鉛直速度獲得量のおよそ 78%を説明できることを示唆している。

さらに、標準回帰係数の大きさから踏切局面前半において大きな鉛直速度を獲得するための重要度は、高い順に踏切局面における踏切脚膝関節の屈曲量 (T-knee (flexion))、TO における踏切脚大腿角度、TD における踏切脚大腿角速度、TD における踏切脚下腿角度であることが明らかになった。つまり、踏切局面においては踏切脚膝関節の屈曲を抑制することが重要な課題であり、踏切脚の大腿を前傾させずに離地することが次に重要であるといえる。さらに、踏切脚の大腿を振り戻さずに踏切接地すること、踏切脚の下腿を振り出して接地することも踏切局面前半における鉛直速度の獲得に貢献するといえる。

以上の結果に加えて、L2off における身体重心の水平速度と跳躍距離に強い正の相関が見られたことから ($r=0.84$, $p<0.05$)、H-type に対する指導においては、身体重心の水平速度を向上させるためのスプリントトレーニングを重視しながらも、踏切において踏切脚に加わる大きな衝撃に耐え、踏切脚の膝関節の屈曲を抑制することにつながる膝関節伸展筋

力を向上させるトレーニングなどが重要になることが示唆された。また、踏切脚の大腿を引き戻さずに接地する固定式接地につながる技術トレーニングも有効であると考えられる。一方で踏切離地時の踏切脚大腿の姿勢が踏切局面前半の鉛直速度の獲得量と相関が見られ、その貢献度が大きいことが明らかになったが、踏切離地時の姿勢と踏切局面前半における鉛直速度獲得量は関係性の少ない項目であることが動作の特徴から考えられ、指導の際に評価ポイントとすることが適切でない可能性があり、本研究では技術指導における重要な評価ポイントには含めないものとした。

これらをまとめると H-type に対する技術的指導における評価ポイントは、その重要度順に以下の様になると考えられる。

- (1) 助走から踏切にかけては大きな水平速度を獲得し、維持する。
- (2) 踏切では踏切脚の膝関節を大きく屈曲させない。
- (3) 踏切脚を引き戻さずに固定式接地で踏切接地する。

② V-type

第3章において V-type の跳躍距離と相関が見られた身体重心の水平速度と踏切局面における鉛直速度の獲得量に着目し、V-type の競技者に対する技術指導における評価ポイントとする動作パラメータについて検討を行った。Table 5-5 に示したように跳躍距離に関連する項目である踏切局面における鉛直速度の獲得量と相関が見られた動作パラメータ 5 項目を用いた強制投入法による重回帰分析の結果、その決定係数は 0.301 と低い値であったことから、H-type とは異なりこれらの 5 項目の動作パラメータで踏切局面における鉛直速度獲得量の大部分を説明することは困難であると考えられる。しかしながら、標準回帰係数

の大きさを参考にすると、踏切局面における踏切脚膝関節の伸展量、TD における踏切脚下腿の角度、TD における体幹角度といった項目は踏切局面における鉛直速度の獲得に対して影響する動作パラメータであった可能性が示唆され、技術指導の際に考慮すべきポイントになり得ると考えられる。つまり、踏切局面においては踏切の後半で踏切脚の膝関節を伸展させること、TD で踏切脚下腿を前方へと振り出して接地することが重要な課題であり、TD において体幹を後傾させていることがその次に重要になる動作であるといえるであろう。しかし、標準回帰係数の大きさから見ると、TD において振上脚大腿を後方へと残すような姿勢や振上脚大腿を大きな速度で前方へと振り込むような動作は踏切局面における鉛直速度の獲得への貢献は少ない動作であったと考えられる。

以上のような結果に加えて、L2off における身体重心の水平速度と跳躍距離に強い正の相関が見られたことから ($r=0.87$, $p<0.05$)、V-type に対する指導においては、H-type と同様にスプリントトレーニングなどによる最大疾走速度の向上が重要になると考えられる。さらに、L2off における身体重心の水平速度の踏切局面における鉛直速度の獲得量の間にも正の相関が見られたことから ($r=0.37$, $p<0.05$)、身体重心の水平速度を向上させることは鉛直速度の獲得量の増加にもつながると考えられる。また、踏切局面における動作では踏切後半で膝関節を伸展させることが重要であることから、膝関節の伸展筋力を高めるトレーニングも H-type と同様に重要になるといえるであろう。さらに、踏切接地時には踏切脚下腿を前方へと振り出し、体幹を後傾させるような姿勢をとることで、身体重心位置と接地位置との距離を大きくし、起こし回転による鉛直速度の獲得量を大きくすることが重要になるため、踏切接地時の姿勢を意識付けるような技術トレーニングも有効であると考

えられる。また、振上脚大腿の姿勢および動作は鉛直速度の獲得量に対する影響が小さいと考えられたが、振上脚を後方に残して大きな速度で振り込むという動作は、阿江（2002）が示した世界一流競技者の特徴に類似しており、指導の際には重要な評価ポイントとなる可能性がある動作であると考えられる。

これらをまとめると **V-type** に対する技術的指導における評価ポイントは、その重要度順に以下の様になると考えられる。

- （1）助走から踏切にかけて大きな水平速度を獲得し、維持する。
- （2）踏切の後半では踏切脚の膝関節を大きく伸展させる。
- （3）踏切脚の下腿を前方へと振り出した姿勢で踏切接地する。
- （4）踏切接地では体幹を後傾させる。

6. 結論

本研究の目的は、高校生男子走幅跳競技者における跳躍タイプごとの踏切準備および踏切動作の特徴を、バイオメカニクス的手法を用いて明らかにするとともに、跳躍のタイプ分けを指導現場で簡易的に行うことのできる方法について検討し、高校生競技者に対する科学的データを活用した跳躍タイプに応じた指導方法を提案することである。

本研究の結果と考察から、以下の様な結論が引き出されるであろう。

6.1 高校生男子走幅跳競技者の跳躍タイプによる特徴について

- ① 踏切離地時の跳躍角が低い **H-type** の競技者は、踏切局面において踏切脚を前方回転させながら、振上脚を前方へと移動させることで水平速度の減速を抑制していた。
- ② 踏切離地時の跳躍角が大きい **V-type** の競技者は、踏切 1 歩前離地時の鉛直速度を抑制することで踏切接地にかけて身体重心を大きく下げ、踏切局面では踏切脚を前方へと振り出し、体幹を後傾させて接地することで水平速度の減速を伴いながら大きな鉛直速度を獲得しており、振上脚の上方への引き上げ動作も鉛直速度の獲得に貢献していた。
- ③ パフォーマンスが高い **H-type** の競技者は身体重心の水平速度が大きく、踏切脚を身体の近くに接地することで水平速度の減速を抑制し、踏切脚の膝関節の屈曲を抑えることで踏切前半において大きな鉛直速度を獲得していた。
- ④ パフォーマンスが高い **V-type** の競技者は身体重心の水平速度が大きく、踏切接地では踏切脚を前方に振り出し体幹を後傾させることで、水平速度の減速を大きな鉛直速度の獲得へとつなげていた。

以上のことから、高校生競技者に対する科学的根拠に基づく跳躍タイプに応じた指導を行う場合の示唆として、以下のことがあげられる。

① H-type の競技者は助走で獲得することのできる水平速度を向上させるためのスプリントトレーニングに重点を置く必要がある。

② H-type の競技者は踏切局面における技術トレーニングでは、踏切脚膝関節の屈曲を抑制するための膝関節伸展筋力を高めるトレーニングが重要であり、踏切脚を振り戻さずに踏切接地する固定式接地も重要な技術になる。

③ V-type の競技者は助走で獲得することのできる水平速度を向上させるためのスプリントトレーニングに重点を置く必要がある。

④ V-type の競技者は踏切局面における技術トレーニングでは、踏切後半における膝関節の伸展につながる膝関節伸展筋力を高めるトレーニングが重要であり、踏切接地時には踏切脚を前方に接地し、体幹を後傾させることで大きな起こし回転につながる姿勢を獲得することも重要な技術となる。

6.2 身体重心速度の推定および跳躍タイプの分類の手法について

① 男子走幅跳競技者の平均値を定数とし、跳躍距離およびパンニング撮影から得た滞空時間を変数とした推定式から推定した身体重心の水平速度および鉛直速度は、動作分析から算出した値と比較すると若干小さな値を示したが、その誤差は比較的小さく一定の精度が確認された。

- ② 推定式から推定した身体重心の水平速度および鉛直速度から算出した推定跳躍角は、動作分析から算出した値と比較すると若干小さな値を示したが、指導現場で簡易的に用いる指標としては十分な精度が確認された。
- ③ 推定式から推定した身体重心速度および跳躍角の絶対誤差と跳躍距離に相関は見られず、推定式は幅広い競技レベルの競技者に対してあてはまる。
- ④ 推定式から推定した跳躍角を用いた跳躍タイプの分類は動作分析によるタイプ分けと80%程度一致し、跳躍タイプが大きく異なった競技者はわずかであったことから、推定式による跳躍タイプの分類によって簡易的に高校生競技者の跳躍タイプを把握することが可能である。
- ⑤ 作成したワークシートによって、指導現場において簡易的に身体重心速度や跳躍角を推定でき、競技者の特徴を科学的データから視覚的に把握することが可能となったことで、指導者や競技者の科学的データを利用する能力につながる可能性がある。

6.3 今後の課題

本研究では、高校生男子走幅跳競技者を対象として跳躍タイプに応じた科学的根拠に基づく技術指導について検討を行い、高校生男子競技者の幅広い競技レベルにあてはまる示唆を得ることができた。しかし、より競技レベルの高い一流競技者や、競技レベルが低い女子競技者に対して本研究におけるタイプ分けの基準と同値で跳躍タイプを分類し、技術指導を行うことは適切でない可能性がある。したがって、今後は本研究で得られた知見を

基にしながら、競技者の競技レベルに応じた最適な跳躍タイプの分類方法について検討する必要がある。

本研究では、各跳躍タイプの特徴から技術指導やトレーニングへの示唆を引き出したが、競技レベルの変化が著しい高校生競技者のパフォーマンスの変化に伴う動作の変化や跳躍タイプの変化について縦断的に検討することも必要であり、競技者や指導者の取り組みがパフォーマンス変化にどのように影響するかを明確にすることができれば、より実践的な指導への示唆を得ることができ、さらに指導現場に還元できる知見となると考えられる。

参考文献

- 阿江通良, 村木征人, 石川宣治, 金高宏文, 伊藤信之 (1989) トルクおよびトルクパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. 陸上競技紀要, 2, 2-9.
- 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. Japan Journal of Sports Sciences, 15 (3), 155-162.
- 阿江通良, 大村一光, 金高宏文, 飯干明, 山田哲, 伊藤信之, 植田恭史 (1999) 一流走幅跳競技者の踏切準備動作のバイオメカニクスの分析. 平成 10 年度日本体育協会スポーツ医・科学報告書, 22, 183-186.
- 阿江通良 (2002) バイオメカニクスデータのコーチングへの活用. 陸上競技研究, (1), 8-18.
- Coe, M. (1997) Kinematic-dynamic analysis of the takeoff action in the long jump. Track Coach, 139, 4443-4453.
- 藤林献明, 坂口将太, 荻山靖, 図子浩二 (2014) リバウンドロングジャンプ指数の優劣を決定する踏切局面の技術的要因. 体育学研究, 59, 175-188.
- 深代千之 (1983) 走幅跳と三段跳の Biomechanics. Japan Journal of Sports Sciences, (2), 601-613.
- 深代千代 (1990) 跳ぶ科学. 大修館書店.
- 深代千代, 若山章信, 小嶋俊久, 伊藤信之, 新井健宏, 飯干明, 淵本隆文, 湯海鵬 (1994) 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, 135-151.

Hay,J.G., A Miller Jr. (1985) Techniques used in the transition from approach to takeoff in the long jump, International Journal of Sports Biomechanics, 1, 174-184.

Hay,J.G., John,A.Miller and Ron,W.Canterna. (1986) The Techniques of Elite Male Long Jumpers. Journal of Biomechanics, 19 (10), 855-866.

Hay,J.G. (1986) The Biomechanics of the Long Jump. Exercise and Sports Sciences Reviews, 14, 401-446.

Hay,J.G. (1993) Citius,Alutius,Lomgius(Faster,Higher,Longer):The Biomechanics of jumping for distance. Journal of Biomechanics, 26 (1), 7-21.

飯干明, 大村一光, 小山宏之, 村木有也, 阿江通良 (2005) 日本一流走幅跳選手の踏切準備と踏切動作のバイオメカニクスの分析. 陸上競技研究紀要, 1, 137-141.

伊藤信之, 阿江通良, 小山宏之, 村木有也, 関子浩二, 松尾彰文, 山田真由美, 平野裕一 (2009) 日本一流走幅跳選手における踏切準備動作. 陸上競技学会誌, 7, 8-17.

Koh,T.J. and Hay,J.G. (1990) Landing Leg Motion and Performance in the Horizontal Jumps I :The Long Jump. International Journal of Sport Biomechanics, 6, 343-360.

Koyama H, Muraki Y, Ae M (2011) Target value for the maximum run-up speed of the long jump based on the performance level. Proceedings of the 29th Conference of the international Society of Biomechanics in Sports, ISBS, 299-302.

小山宏之, 村木有也, 吉原礼, 永原隆, 柴山一仁, 大島雄治, 高本恵美, 阿江通良

(2010) 走幅跳のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術, 財団法人日本陸上競技連盟, 154-164.

Lees,A., Philip Graham-smith and N.Fowler (1994) A Biomechanical Analysis of the Last Stride,Touchdown and Takeoff Characteristics of the Men's Long Jump. Journal of Sports Sciences, 11, 303-314.

森長正樹, 安井年文, 重城哲, 加藤弘一, 岡野雄司, 小山裕三, 澤村博 (2003) 走幅跳の成功試技と失敗試技における踏切および踏切準備動作の相違. 陸上競技研究, 52 (1), 12-21.

村木征人 (1982) 現代スポーツコーチ実践講座 2 陸上競技 (フィールド). ぎょうせい, 326-350.

村木有也, 阿江通良, 小山宏之, 伊藤信之, 山下訓史 (2004) 男子走幅跳の踏切準備および踏切局面における動作変化パターン. 日本陸連科学委員会研究報告, 陸上競技の医学科学サポート研究 REPORT 2003, 3 (1), 87-90.

日本陸上競技連盟 (2015) 2015 競技者育成プログラム, 公益財団法人日本陸上競技連盟.

Nixdorf,E. and P.Bruggemann (1983) Zur Absprungvorbereitung beim Weitsprung Eine biomechanische Untersuchung zum Problem der Körperschwerpunktsenkung. Lehre Leichtathlet, 1539-1541.

大村一光, 飯干明, 小山宏之, 村木有也, 阿江通良 (2006) 男子ジュニアトップ走幅跳選手における助走と踏切について. 陸上競技研究, 67 (4), 27-35.

Panoutsakopoulos,V. and Kollias,I. (2007) Biomechanical analysis of sub-elite performance in the women's long jump. New studies in Athletics, 22 (4), 19-28.

Philip,G. and Adrian,L. (2005) A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off.

Journal of Sports Science, 23 (9), 891-903.

斉藤望, 阿江通良 (1991) 走幅跳の踏切動作の類型化に関する研究. 陸上競技研究, 7 (4), 67-71.

柴田篤志, 小山宏之, 清水悠 (2015) 高校生トップ走幅跳選手のパフォーマンス変化と踏切動作の特徴. 陸上競技研究紀要, 10, 113-117.

志賀充, 尾縣貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクス及びキネティクスの関係-膝関節と股関節に着目して-. 体力科学, 53, 157-166.

清水悠, 阿江通良, 小山宏之, 村木有也 (2011) 標準動作モデルからみた一流走幅跳選手の踏切準備および踏切動作の特徴. 陸上競技研究, 85 (2), 23-30.

Shimizu Y, Ae M, Koyama H (2012) Biomechanical characteristics of takeoff preparation and takeoff motion in different jumping types of elite male long jumpers. 30th Annual Conference of Biomechanics in Sports – Melbourne, 52.

清水悠, 阿江通良, 小山宏之, 村木有也 (2011) 一流走幅跳の踏切動作の類型化に関するバイオメカニクスの研究. 日本体育学会予稿集 (62), 160.

田原亮二, 下永田修二, 田口正公, 森本茂 (2009) 加速度計を用いた計測による走幅跳における跳躍角度の推定. 東京学芸大学教育学研究科「学校教育学研究論文集」, 20, 85-96.

田内健二 (2012) 科学的根拠に基づいたやり投の技術指導のためのガイドライン (男子編).

田内健二, 藤田善也, 遠藤俊典 (2012) 男子やり投げにおける投てき動作の評価基準. バ

イオメカニクス研究, 16 (1), 2-11.

Tiupa,V.V., S.I.Aleshinski, I.N.Primakov and A.P.Pereverzev (1982) The biomechanics of the body's general center of mass during the long jump. Teor.Prakt.Fiz.Kult, 11-14.

渡邊輝也, 浅岡正雄, 宮下憲, 佐野淳 (2009) 走高跳におけるスピードフロップの類型化に関する運動学的考察. 体育学研究, 54, 327-342.

Wells,R.P., D.A.Winter (1980) Assessment of signal and noise in the normal,pathological and sporting gaits. Human Location, I , 92-93.

謝辞

本論文の作成にあたり，終始懇切丁寧な御指導，御校閲を賜りました小山宏之准教授に心からの感謝の意を表します．

また，厳しい環境の中データの収集のために全国各地での競技会撮影に御協力頂いた日本陸上競技連盟科学委員会の皆様にも深く感謝します．さらに，多くの御指導，御助言を賜りました諸先生方，そしてともに研究に取り組んで下さったバイオメカニクス研究室の皆様に深く感謝いたします．