

博士論文

陸上競技者のばね的特性を評価する方法の開発

令和 2 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

梶谷 亮輔

目次

略語の定義	v
表のタイトル一覧	vi
図のタイトル一覧	viii
関連論文	x
I. 緒言.....	1
II. 文献研究.....	5
1. 競技者をいくつかのタイプに分類することを試みた研究	5
(1) 下肢の力・パワー発揮特性による分類	5
(2) 下肢の伸長-短縮サイクル運動時のばね特性による分類	7
(3) 陸上競技における各種タイプの分類	10
2. タイプと競技パフォーマンスとの関係	13
3. 文献研究で得られた知見	14
III. 本研究の目的, 課題, 意義, 仮説および限界.....	16
1. 研究の目的	16
2. 研究の課題	16
3. 研究の意義	17
4. 研究の仮説	17
5. 研究の限界	18

IV. 競技者のばね的特性を評価する新たな方法の開発とその妥当性, 信頼性, および実用性の検討	
(研究課題 1-1)	19
1. 目的	19
2. 方法	20
(1) 被験者	20
(2) 実験試技	20
(3) 測定方法	21
(4) 算出項目	22
(5) 再現性検証のためのテスト	22
(6) 統計処理	25
3. 結果	25
(1) SJ, CMJ, およびMCT-jump test	25
(2) 被験者の接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形の特徴	26
(3) 最適接地時間における被験者の分布	34
(4) 再現性の検討	34
(5) 最適接地時間と最大跳躍高との関係	39
(6) 最適接地時間と最大 RDJ _{index} 時の接地時間との関係	39
(7) タイプ分けの試み	39
4. 考察	44
(1) MCT-jump test における妥当性, 信頼性, および実用性の検討	44
(2) 従来の評価法との比較	46
(3) MCT-jump test を活用した競技者のタイプ分け	47
5. 要約	49
V. MCT-jump test の力学的な検討 (研究課題 1-2)	50

1. 目的	50
2. 方法	51
(1) 被験者	51
(2) 実験試技	51
(3) 測定方法	52
(4) 算出項目	52
(5) 統計処理	53
3. 結果	53
4. 考察	68
5. 要約	71
VI. MCT-jump test におけるばね的特性とスプリント走の接地時間との関係 (研究課題2)	73
1. 目的	73
2. 方法	75
(1) 対象者	75
(2) 実験試技	75
(3) データ収集およびデータ分析	77
(4) 算出項目	78
(5) 統計処理	79
3. 結果	80
4. 考察	90
5. 要約	94
VII. 討論	96

VIII. 結論	107
謝辭	109
参考文献	110

略語

本研究で用いる主な略語は、以下の通りである。

MCTjump test : Multi contact time-jump test

30cm の台上から跳び降りた後、接地時間を意識的に変化させるジャンプ運動。

RDJ : リバウンドドロップジャンプ

台上から跳び降りた後、着地とともに即座に跳び上がる跳躍運動。

RDJ_{index} : リバウンドドロップジャンプインデックス

リバウンドドロップジャンプ指数. **RDJ** を用いたテストの評価指標. **RDJ** における跳躍高を接地時間で除すことで算出する。

RJ : リバウンドジャンプ

立位からその場で連続 6 回の跳躍運動。

RJ_{index} : リバウンドドロップジャンプインデックス

リバウンドジャンプ指数. **RJ** を用いたテストの評価指標. **RJ** における跳躍高を接地時間で除すことで算出する。

SJ : スクワットジャンプ

膝関節屈曲角 90°の状態から、上方へ跳躍運動。

CMJ : カウンタームーブメントジャンプ

立位の状態から反動動作を用いて、上方へ跳躍運動。

表のタイトル一覧

IV. 競技者のばね的特性を評価する新たな方法の開発とその妥当性, 信頼性, および実用性の検討 (研究課題 1-1)

表 1 被験者の身体特性とパフォーマンス

表 2 SJ, CMJ, および MCT-jump test の各パラメータ

表 3 re-test における SJ, CMJ, および MCT-jump test の各パラメータ

V. MCT-jump test の力学的な検討 (研究課題 1-2)

表 4 MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高

表 5 MCT-jump test における下肢関節貢献度

表 6 MCT-jump test における下肢関節仕事

表 7 MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高と下肢関節貢献度および下肢関節仕事との相関係数

VI. MCT-jump test におけるばね的特性とスプリント走における接地時間との関係 (研究課題 2)

表 8 被験者の身体特性とパフォーマンス

表 9 スプリント走における疾走速度, 接地時間, 滞空時間, 支持期距離, 支持期膝関節最小角度, および最低身体重心高

表 10 MCT-jump test における最適接地時間, 最大跳躍高, 最大 RDJ_{index} およびそのときの接地時間と跳躍高

表 11 最大 RDJ_{index} 時の接地時間および跳躍高とスプリント走の疾走速度および接地時間との相関係数

数

表 12 MCTjump test における最適接地時間とスプリント走の疾走速度, 接地時間, および接地時間に影響する要因との相関係数

図のタイトル一覧

IV. 競技者のばね的特性を評価する新たな方法の開発とその妥当性, 信頼性, および実用性の検討 (研究課題 1-1)

図 1 実験風景

図 2 SJ, CMJ および, 最大 RDJ_{index} 時の跳躍高, および MCT-jump test の最大跳躍高の比較

図 3 MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターン A)

図 4 MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターン B)

図 5 MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターン C)

図 6 MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターン D)

図 7 最適接地時間における被験者の分布

図 8 MCT-jump test における最適接地時間と re-test の最適接地時間との関係

図 9 MCT-jump test における最大跳躍高と re-test の最大跳躍高との関係

図 10 MCT-jump test と re-test の最適接地時間の比較

図 11 MCT-jump test と re-test の最大跳躍高の比較

図 12 MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高との関係

図 13 MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との関係

図 14 MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高を指標としたタイプ分け

V. MCT-jump test の力学的な検討 (研究課題 1-2)

図 15 MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高を指標としたタイプ分け

図 16 MCT-jump test における最適接地時間と負の足関節および股関節貢献度との関係

図 17 MCT-jump test における最適接地時間と正の足関節および股関節貢献度との関係

- 図 18 MCT-jump test における最適接地時間と負の股関節仕事との関係
- 図 19 MCT-jump test における最適接地時間と正の足関節および股関節仕事との関係
- 図 20 対象者 k の MCT-jump test における関節貢献度および関節仕事の接地時間ごとの個人内変化
- 図 21 対象者 k の MCT-jump test における関節貢献度および関節仕事の接地時間ごとの個人内変化
- 図 22 対象者 k の MCT-jump test における関節貢献度および関節仕事の接地時間ごとの個人内変化
- 図 23 MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} の脚 Stiffness との関係

VI. MCT-jump test におけるばね的特性とスプリント走における接地時間との関係 (研究課題 2)

- 図 24 MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間との関係
- 図 25 MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の支持期距離との関係
- 図 26 MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の支持期膝関節最小角度との関係
- 図 27 MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の最低身体重心高との関係

VII. 討論

- 図 28 タイプ別による 100m タイムの比較
- 図 29 最大跳躍高と加速局面および最大速度局面の疾走速度との関係

関連論文

本論文は、以下の学術論文および学会発表をもとにまとめられたものである。

【学術論文】

梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・関慶太郎・尾縣 貢・木越清信（2018）ジャンプ運動における個人の反動動作特性を評価する方法の開発. 体育学研究, 63: 139-149.

梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・水島 淳・尾縣 貢・木越清信（2020）MCT-jump test で評価される反動動作特性とスプリント走の接地時間との関係. 陸上競技学会誌, 3月掲載予定.

【学会発表】

梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・関慶太郎・木越清信：大きな力発揮を目的とした個人の反動動作特性. 日本陸上競技学会 第14回大会（東京），2015年12月.

梶谷亮輔・木越清信・前村公彦・山元康平・関慶太郎・前田 奎・広瀬健一・尾縣 貢：下肢における大きな力発揮を目的とした個人の反動動作特性. 日本体育学会 第67回大会（大阪），2016年8月.

梶谷亮輔・木越清信・前村公彦・山元康平・前田 奎・広瀬健一・戸邊直人・尾縣 貢：短距離競技者における高いパフォーマンスを獲得するために必要とされる力・パワー発揮能力～ジャンプ運動に着目して～. 日本陸上競技学会 第15回大会（岡山），2016年12月.

梶谷亮輔・前村公彦・尾縣 貢・木越清信：ジャンプ運動における各種スポーツ種目の特性の検討～スプリント走に着目して～. 日本体育学会 第68回大会（静岡），2017年9月.

梶谷亮輔・前村公彦・藤井宏明・前田 奎・尾縣 貢・木越清信：ジャンプ運動によって評価された反動動作特性とスプリント走における疾走動作との関係. 日本陸上競技学会 第16回大会（沖縄），2017年12月.

梶谷亮輔・前村公彦・前田 奎・尾縣 貢・木越清信：ジャンプ運動によって評価されたばね特性とスプリント走における疾走動作との関係. 日本体育学会 第69回大会（徳島），2018年8月.

梶谷亮輔・前村公彦・前田 奎・尾縣 貢・木越清信：MCT-jump test におけるばね的特性の力学的特徴. 日本体育学会 第70回大会（神奈川），2019年9月.

I. 緒言

ヒトは何かを理解しようとした際、全体をいくつかの特徴を有したタイプに分類することがある。例えば、生物学の分類が挙げられる。哲学者であるアリストテレスは、動物や植物を分類し、その後、1700年代には分類学の父とも呼ばれているリンネによって、生物の分類体系の標準方式が確立された。このような環境の中にパターンを探求し、分類する衝動は、ヒトの生物学的特性の一部であるとの指摘もある（馬渡, 2008）。

この衝動は、体育・スポーツ分野においても、例外ではない。例えば、関子ほか（1993）は、14種目のスポーツ競技者を対象に、ドロップジャンプ（DJ）、垂直跳（CMJ）、およびスクワット姿勢による最大脚伸展力のジャンプ運動を含む3つの運動から下肢の力発揮特性を評価した。なお、このときDJは DJ_{index} 、CMJは跳躍高、そして最大脚伸展力は最大筋力を評価指標として用い、 DJ_{index} 、跳躍高、最大筋力の順に高いA群、最大筋力、跳躍高、 DJ_{index} の順に高いB群、 DJ_{index} 、跳躍高、最大筋力に顕著な差が認められなかったC群と3つのタイプに分類している。また、このような試みは同一スポーツ種目内でも行われており、関子ほか（2017）は、陸上競技の跳躍競技者を対象に、リバウンドジャンプ（RJ）を用いて下肢の力発揮特性を検討し、RJにおける接地時間と跳躍高の2要因から競技者を4つのタイプに分類している。これらのように、競技者の特徴を把握することによっていくつかのタイプに分類することが可能になり、スポーツパフォーマンスを向上させるために、より効果的なトレーニング、または戦略を選択することができると考えられる。

例えば、陸上競技における走高跳において習得すべき踏切タイプを選択する際に、Ritzdorf（2009）は競技者の“reactive strength”特性を評価し、その際の踏切時間の長短に応じて、走高跳の踏切における両腕と振上脚の振上げ方、そして踏切準備における身体重心の沈み込みの大きさや両腕の準備の仕方

などを選択することを提案している。これに加えて、渡辺・守田（2012）も、ある競技者を日常的に観察し、競技者のもつ“reactive strength”特性を基に走高跳の踏切タイプを変更するべきであると提案している。したがって、“reactive strength”，つまり反動を用いたジャンプ運動において、相対的にその踏切時間が長い者にはダブルアームアクションを、相対的に踏切時間が短い者にはランニングアームアクションを勧めるなどの指導が考えられる。ここで用いられた踏切時間の長短によって評価されるタイプとは、ばね的特性の硬い柔らかいであろう。つまり、これらは「硬いばねを有するタイプ」であるか、あるいは「柔らかいばねを有するタイプ」であるかによって、選択する踏切のタイプが異なることを示唆するものである。一方、いくつかのタイプに分類する際には、分類する際の基準の精度や妥当性、再現性が重要な因子であると考えられる。渡辺・守田（2012）は、“reactive strength”特性を明らかにするために RDJ_{index} などの比較的簡便な運動系テスト指標を利用することを推奨している。また、木越（2016）は、走高跳競技者の踏切タイプを選択する際、 RDJ の接地時間がその手掛かりとなる可能性を指摘しており、 RDJ_{index} や RDJ の接地時間が分類する際の基準となると考えられる。

その代表例として、図子・高松（1996）の RDJ を用いた研究が挙げられる。図子・高松（1996）は、競技者の「ばね」を測定するために RDJ を用いており、その評価指標である RDJ_{index} （跳躍高/接地時間）が同じ値であった場合、接地時間を短くすることで RDJ_{index} を高めている「硬いばねを有するタイプ」と、滞空時間を長くすることで RDJ_{index} を高めている「柔らかいばねを有するタイプ」とに分類している。また、ばね特性について、力学的には地面に加えた力を脚あるいは身体重心の変位で除すことで算出される脚 $Stiffness$ が用いられており（荻山・図子，2015），この際にも、 RDJ や RJ といったバリスティックなジャンプ運動を用いた研究が散見される（荻山・図子，2013；荻山・図子，2015；図子ほか，2017）。したがって、 RDJ （ RDJ_{index} を含む）や脚 $Stiffness$ を用いてばね的特性を評価しようと

する際、その精度、妥当性および再現性が検討される必要がある。そこで、RDJ (RDJ_{index} を含む) や脚 Stiffness について、実際の競技場面でみられるジャンプ運動の特徴と比較することで妥当性について検討するといくつかの問題点がみられた。

まずは、実際の競技場面でのジャンプ運動のパフォーマンスは、筋腱複合体の弾性要素、筋の収縮要素、さらには技術的要素などに左右されるにもかかわらず、脚 Stiffness では、活動筋の伸張局面のみを対象として機械的にばねが硬いか柔らかいかを評価していることである。実際のトレーニング現場では、短縮局面も含めて評価されたばね特性を把握することが求められると考えられるが、脚 Stiffness では、これを適切に評価することができていない。さらに、脚 Stiffness を用いてばね特性を評価を試みる際、5回連続ジャンプを用いた研究も散見されるが(荻山・凶子, 2013 ; 荻山・凶子, 2015), この方法では、分析対象とする一回のジャンプ(接地)時に受け止める身体の機械的エネルギーが、その前のジャンプの跳躍高に依存することになることも問題であろう。これでは、個人間で受け止める機械的エネルギーが異なることはもとより、個人内でもその時々によって受け止める機械的エネルギーが異なる可能性が考えられ、個人内であっても個人間であっても、ばね特性を比較することは厳密には困難である。したがって、「硬い」または「柔らかい」といったばね特性を個人内および個人間で比較可能にするために、厳密には接地時に受け止める機械的エネルギーは同一にすることが必要である。そのためには、ジャンプに先立って跳び下りを行う台の高さを規定するような方法が挙げられる。

さらに、上述したバリスティックなジャンプ運動にもいくつかの問題点も指摘されている。これまで、RDJやRJは、接地時間をできる限り短くすることを意識するため、下肢の各関節の運動範囲を小さくして、大きな質量や慣性モーメントを持つ身体部位を動員せず(凶子・高松, 1995), 足関節を中

心とした運動様式であるとされてきた。このことについて、深代 (2017) は、バリスティックなジャンプ運動は、足関節の発揮パワーが大きくパフォーマンスに貢献するような運動の評価には適切であるが、股関節が主動関節となるスプリント走などを評価するには十分注意が必要なことを指摘している。また、木越 (2016) は、RDJ は接地時間を短くすることが特に強調されていることから、跳躍高を犠牲にしている場合があると述べている。

以上のことから、これまでに用いられてきた競技者のばね的特性の硬柔を評価する方法には、次の問題点が示された。

- ① 接地時間を判定できない方法を用いていること
- ② 伸長局面のみを対象としていること
- ③ 接地時に受け止める機械的エネルギーが同一でないこと
- ④ 跳躍高が犠牲にされていること
- ⑤ 股関節の力発揮能力が要求される運動の評価には十分に適していない可能性のあること

そこで、本研究では、上述した問題点のすべてを解決する新たな評価方法および指標を開発するとともに、その有用性を検討することを目的とした。

II. 文献研究

1. 競技者をいくつかのタイプに分類することを試みた研究

(1) 下肢の力・パワー発揮特性による分類

各種スポーツ種目では、運動構造や動作様式が異なることから高いパフォーマンスを達成するための下肢の力発揮特性が異なることが考えられる。図子ほか (1993) は、14 種目のスポーツ競技者 93 名を対象に、台高 30cm からドロップジャンプ、垂直跳、スクワット姿勢によるアイソメトリックな最大筋力測定の異なる 3 つの運動様式を用いて、下肢の力発揮特性を検討した。また、このときドロップジャンプでは DJ_{index} 、垂直跳では跳躍高、そしてアイソメトリックな最大筋力測定では最大筋力をそれぞれ評価指標として用いている。そして、これらの指標を用いて競技者の下肢の力発揮特性を評価し、対象者を大きく A、B、C の 3 つの群に分類している。A 群は、 DJ_{index} 、跳躍高、最大筋力の順に高い値を示している。次に B 群は、最大筋力、跳躍高、 DJ_{index} の順に高い値を示している。そして C 群は、 DJ_{index} 、跳躍高、最大筋力に顕著な差が認められなかったことを示している。これらの相違が認められた要因として、専攻するスポーツ種目において多くみられる運動ごとで、運動遂行時間や筋の収縮様式が異なることが示唆されている (図子ほか, 1993)。なお、A 群には陸上競技の短距離および跳躍競技者が属しており、これらの競技特性として、動作時間が短く、爆発的な力発揮が要求されることからこのような結果となったものと推察されている。一方、B 群にはスケートおよび水泳競技者などが属しており、これらの競技特性として、競技中の動作時間が比較的長く、遅い速度での力発揮であること、さらにエキセントリックな筋力を爆発的に発揮する場面がするしないことなどが挙げられることからこのような結果となったものと推察されている。最後に、C 群には球技スポーツが属しており、

様々な動きが要求されることから3つの評価指標に顕著な差が認められなかったと推察されている。

このように、様々な運動から競技者の力発揮特性を評価し、競技スポーツごとの特徴を分類することで、適切なタレント発掘やトレーニング手段の選択をより合理的に実施できると考えられている。

また、遠藤ほか(2007)は、5回連続リバウンドジャンプ(5RJ)と垂直跳(CMJ)の遂行能力の発達を、6歳から18歳までの男子1137名を対象にして明らかにすることを試みている。5RJは RJ_{index} (RJ能力)、CMJでは跳躍高(CMJ能力)を用いて評価し、タイプ分けを試みている。それぞれの回帰式の残差 $\pm 1SD$ をもとに、CMJ能力とRJ能力とが対応しているタイプ、CMJ能力に対してRJ能力が優れているタイプ、およびCMJ能力に対してRJ能力が劣っているタイプの3タイプに分類されている。

また、岡野ほか(2017)は、国内トップレベルの男子バレーボール競技者202名を対象に、RJとCMJを行わせ、タイプ分けを試みた。回帰直線の残差 $\pm 1SD$ をもとに、 RJ_{index} に対してCMJが優れた値を示すタイプ(CMJ型)、CMJに対して RJ_{index} が優れた値を示すタイプ(RJ型)、CMJと RJ_{index} とが対応している中間的なタイプ(中間型)に分類している。

力・パワー発揮の能力を評価するために運動の一つには、リバウンドドロップジャンプ(RDJ)やリバウンドジャンプ(RJ)のようなバリスティックなジャンプ運動が挙げられ、その評価指標として RDJ_{index} および RJ_{index} が広く用いられている(冨子ほか, 1993; 冨子ほか, 2017; 吉田ほか, 2018)。一般的には RDJ_{index} は短時間での力発揮能力を示す指標とされており(岩竹ほか, 2002)、多くのスポーツ種目の特性を評価する際に用いられている。

陸上競技において検討された研究を概観すると、冨子ほか(2017)は、陸上競技の跳躍競技者を対象にRJを用いて下肢の力・パワー発揮特性を検討している。 RJ_{index} は、短い踏切を遂行する能力と高い跳躍高を獲得する能力の2つの変数から成っており、前者の要因には、着地に対する時間的・空間

的な予測や着地前の予備緊張および足関節底屈筋群の働きなどの神経系の要因が影響していること（図子・高松, 1995a), 後者の要因には, 最大脚伸展力や垂直跳の跳躍力などのエネルギー出力の大きさが影響すること（図子・高松, 1995b) が認められている. そして, これら2つの変数は互いに独立した関係にあることも明らかにされている（図子・高松, 1995b). これらのことを考慮すると, RJ_{index} が同じ値の競技者であっても, 跳躍高は高いか接地時間の長いタイプ（跳躍高依存型のタイプ), あるいは跳躍高は低いか接地時間が短いタイプ（接地時間依存型のタイプ) など, 様々なタイプが存在することが示唆されている（図子ほか, 2017). そして, 図子ほか（2017) は, リバウンドジャンプにおける接地時間と跳躍高の2要因から競技者を分類し, タイプごとの特性を示すことを試みた. その結果, 接地時間は長い跳躍高の高い TypeA, 接地時間は短く跳躍高も高い TypeB, 接地時間は短いが跳躍高の低い TypeC, 接地時間は長く跳躍高も低い TypeD の計4つにタイプに分類された. また, タイプ間の下肢各関節の仕事および貢献度を検討し, 足関節および股関節の仕事が TypeA と TypeD のみに有意差が認められ, 他のタイプ間では有意差は認められなかった. 貢献度については, いずれの関節においても有意差は認められなかったことを報告している.

(2) 下肢の伸長—短縮サイクル運動時のばね特性による分類

様々なスポーツ場面では, 「ばね」という表現が頻繁に用いられており, 指導者や競技者は, 「ばねのある選手」, 「硬いばね」あるいは「柔らかいばね」といった言葉を用いている. Alexander, R. M. (2003) は, カンガルー, 馬, カエルなどの下肢の特性を“spring like leg behavior”と表現している. これに対して, 図子（2005) は, スポーツ競技者が有するばねとは, 上述した動物の特性と極めて一致したものであると考えており, “spring like behavior in human”という, 人間のばねに関する研究を体系的に行ってい

る。また、関子 (2005) は、ばねの概念は、弾性体の特性であり、縮んだり伸びたりするものすべてに
適応でき、ばねとは反動動作を伴うすべてに共通する能力であると指摘している。関子・高松 (1996)
は、「ばね」とは筋力、技術、精神力などが渾然一体となって形成される一つのシステムとしての能力
を意味すると述べている。さらに、スタミナやスピードとともに、主観的・印象的・総合的な世界ので
きごとではあるが、スポーツ現場の指導者の誰もが共通に意識し理解することのできる重要な概念を
示すものであるとも述べている。

そこで、関子・高松 (1996) は、この概念的なばねを測定するために、筋の収縮様式、運動遂行時
間、発生する力の大きさ、および力の発揮パターンに注目した。まず、筋の収縮様式に着目す
ると、各種スポーツ種目において下肢筋の収縮様式は、伸長—短縮サイクル運動である。さらに、運
動遂行時間、発生する力の大きさ、および力の発揮パターンに着目すると、0.2 秒以内という極めて短
時間に爆発的に力を発揮するバリスティック運動である。このことから、「ばね」が要求されるスポー
ツ運動において優れた競技成績を達成するためには、バリスティックな伸長—短縮サイクル運動を適
切に遂行する必要があるとしている (関子・高松, 1996)。

以上のことから、関子・高松 (1996) は、「ばね」を測定するために、ある高さの台から跳び降りて
即座に跳び上がる跳躍運動であり、典型的なバリスティックな伸長—短縮サイクル運動のリバウンド
ドロップジャンプを用いている。そして、後述する RDJ_{index} を用い、 RDJ_{index} が同じ値、すなわちばね
の優劣が同じであっても、踏切時間を短くすることで RDJ_{index} の値を高くしている硬いばねを有するタ
イプと、滞空時間を長くすることで RDJ_{index} の値を高くしている柔らかいばねを有するタイプが存在す
ることを示唆しており、 RDJ_{index} によって競技者のばねの特性を評価し、それぞれのタイプに分類して
いる。しかしながら、 RDJ は接地時間を短くすることが特に強調されたジャンプ運動であり、跳躍高

が犠牲にされている可能性が指摘されている。そのため、跳躍高を犠牲にしない方法でばね特性を検討する必要があると考えられるが、そのような方法で検討した研究は行われていない（問題点1）。また、股関節が主導関節となる運動の評価にはバリスティックなジャンプ運動では適切ではない可能性が考えられる（問題点2）。

上述したばね特性の評価は、比較的簡便な運動系テスト指標を用いたものであるが、ばね特性は力学的な指標である Stiffness を用いて評価されることも多い。Stiffness とは、物体もしくは身体の抵抗と変化の長さとして定義づけられており、以下の式によって表すことができる。

$$k=F/X \quad (F: \text{力}, k: \text{Stiffness}, X: \text{変位})$$

そのため、Stiffness は変位（筋の長さ変化、関節の角度変位、脚の長さ変化）あたりの力（張力、トルク、地面反力）を示す指標であるとされている。また、Stiffness が高いほどいわゆる「硬いばね」とされ、低いほど「柔らかいばね」として評価されている。これまでに、Stiffness を用いて数多くの研究がなされているが、その使い方には統一性はない。素材のばねの弾性特性を評価するためには、筋 stiffness (van Ingen Shenau, 1984)、腱 stiffness (平山ほか, 2010) や筋-腱複合体 stiffness (Ishikawa M, Komi PV, 2008) などが用いられている。また、動きのばねの弾性特性も stiffness によって評価されており、脚 stiffness (McMahon and Cheng, 1990; Farley and Gonzalez, 1996) や、関節 stiffness (Kuitunen et al., 2002) なども用いられている。これらのように、Stiffness は身体運動のメカニズムを検証するために多く用いられてきたが (Brughelli and Cronin, 2008ab ; Serpell et al., 2012)、本研究では、動きの Stiffness として扱われる脚 Stiffness について概観する。

脚全体をばねとした場合の脚 **Stiffness** は地面に加えた力（地面反力）を脚の長さ変位で除すことで求められ、身体全体の挙動から算出されていることから、身体各部位が複雑に連携する動作を単一線の挙動という単純な動作として把握できる利点が存在すると指摘されている（荻山・図子, 2015）. さらに、**Stiffness** によりトレーニング現場で用いられている、いわゆる「硬いばね」、「柔らかいばね」といった直感的な動きの把握に対して有用であることも指摘されている（荻山・図子, 2015）.

図子ほか（2017）はRJにおける接地時間と跳躍高の2要因から競技者を分類し、タイプごとの特性を示したことを前章で述べた. 分類されたタイプの下肢のばね特性（**Stiffness**）を評価したところ、タイプによって硬い、柔らかいといった下肢のばね特性が異なることを示唆している. しかしながら、脚 **Stiffness** は活動筋の伸長局面のみを対象としてばねが硬いか柔らかいかを判断しており、短縮局面が評価されていない（**問題点3**）. さらに、脚 **Stiffness** を評価する際、RDJ やRJといったバリスティックなジャンプ運動が用いられているが、RJに関しては5回連続ジャンプであることから、分析対象試技がその前のジャンプの跳躍高に依存する. これでは、接地時に受け止める機会的エネルギーを統一することができない（**問題点4**）.

(3) 陸上競技における各種タイプの分類

近年、陸上競技においては競技者の個人の特徴に着目することへの重要性が指摘されている（阿江, 1999 ; Debaere et al., 2013 ; 内藤ほか, 2013）. 日本では、40年以上前から、これに関する研究が行われていて、宮丸（1971）は、女子スプリンターの下肢長の違いによる最大疾走局面の疾走動作の違いを検討し、比下肢長（下肢長/身長）が大きいとストライドが大きく、比下肢長が小さいとピッチが高いことを報告している. さらに、比下肢長が小さい競技者は、滞空比（滞空時間/支持時間）を1に近い

タイプと、滞空時間が支持時間より長いタイプが存在することを示している。また、横井 (1988) は、学生スプリンターを長身競技者 (1.75m 以上) と短身競技者に分類し、身長の違いにおける最大疾走局面の疾走動作の特徴を検討した。その結果、長身競技者は、ストライドが大きいこと、大腿部の動作範囲が小さいこと、回復脚の膝関節の屈曲速度が大きいこと、大腿部の回復のタイミングが早いこと、身体重心が高いこと、接地時の支持脚の膝関節がより伸展位であることを報告している。一方、短身競技者は、大腿部の動作範囲が大きいこと、回復脚の膝関節屈曲速度が遅いこと、接地時の支持脚の膝関節がより屈曲し身体重心が低いこと、支持脚の大腿部の動作範囲と速度が大きいこと、離地時に重心をより前方に押し出ししていること、回復脚の動作範囲が大きいことが報告されている。このことから、競技者の身体的特性によってピッチ、ストライドの特性が異なることが推察され、これらに着目してタイプ分けも試みられている。

阿江ほか (1994) や宮下ほか (1986) は、100m 競技者のピッチとストライドを分析し、ストライド型の競技者、ピッチ型の競技者に大別することができ、個人の特徴に応じた疾走を行なっていることを示している。また、内藤ほか (2013) は、短距離競技者のピッチとストライドの優位性からステップタイプ (ピッチ型あるいはストライド型) を分類し、ステップタイプによる 100m レース中のピッチ、ストライドの動態の違いを明らかにすることを試みている。その結果、ステップタイプによって 100m レース中の加速局面の疾走動態は異なることを報告し、100m 競技者のステップタイプを考慮した指導方法を立案する際の有用な知見となることを示唆している。

渡辺 (2007) は、走高跳競技者 36 名を対象に、走高跳の技術類型化を試みている。はじめに踏切局面における振上脚の使い方を比較したところ、①振上脚のつま先が地面すれすれに移動するように振上げ脚の膝を曲げて振込み、次に膝を伸ばして振上脚全体がほぼ地面と水平になるまで振上げ、さら

に再び膝を曲げながら振上脚全体を高く振上げるタイプ（振上脚を伸ばして振上げるタイプ）、②振上脚のつま先が地面すれすれに移動するように振上げ脚の膝を曲げて振込み、次にその膝の角度をほぼ保ったまま振上脚の大腿が地面とほぼ水平になるまで振上げるタイプ（振上脚をやや曲げて振上げるタイプ）、③振上脚の踵が臀部に近づくように振上脚の膝を強く曲げ、振上脚の大腿が地面とほぼ水平になるまで振上げるタイプ（振上脚を小さく折りたたんで振上げるタイプ）という3つのタイプに区別している。

山元ほか（2014）は、国内公式競技会に出場した男子400m走競技者154名を対象に、ペース配分の指標である区間タイム比を手がかりとしてクラスター分析を行ったところ、対象者をレース前半の疾走スピードが低く、後半における疾走スピードの低下が小さい「スピード維持型」、全体の平均に近い「前半型」、レース前半の疾走スピードが高く、後半における疾走スピードの低下が大きい「スピード低下型」の3つに分類している。

門野ほか（2008）は、国内外の競技会に出場した男子800m走競技者を対象に、記録レベル別に比較するため、レース記録に着目して、対象者を1分46秒から2秒毎に1分46-47秒台9名（G1）、1分48-49秒台14名（G2）、1分50-51秒台14名（G3）、1分52-53秒台12名（G4）の4群に分けた。そして、相対走スピード、身長比ストライドおよび相対ピッチの平均値をもとに、各群のレースパターンの類型化を試みたところ、G1のレースパターンの特徴は『前半-平均ストライド-高ピッチ型』、G2のレースパターンの特徴は『前半-大ストライド-平均ピッチ型』、G3のレースパターンの特徴は『後半-平均ストライド-低ピッチ型』、G4のレースパターンの特徴は『後半-平均ストライド-高ピッチ型』であったことを報告している。

以上のように、陸上競技においてもパフォーマンスを構成する要因や、技術要因、レースパターン

などを用いてタイプ分けが試みられている。

2. タイプと競技パフォーマンスとの関係

図子・高松（1996）は、 RDI_{index} を用いて、硬いばねを有するタイプと柔らかいばねを有するタイプに分類している。これまで、 RDI_{index} と競技パフォーマンスとの関係については、両者の間に相関関係が認められている報告（岩竹ほか，2002）や両者の間に相関関係が認められていない報告（Nagahara et al., 2014 ; Kariyama and Zushi, 2016）が存在しており、ばね的特性と運動パフォーマンスとの関係には一致した見解は得られていない。一方では、 RDI_{index} およびそのときの跳躍高と競技パフォーマンスとの間には有意な相関関係が認められた報告も存在する（図子ほか，2017）。したがって、 RDI_{index} を用いて接地時間と跳躍高の2つの要因から競技者の特性を評価し、タイプに分類することはトレーニングに対して有益な情報をもたらすことが考えられる。

図子ほか（2017）は、 RDI_{index} が同じ値の競技者であっても、跳躍高は高いが接地時間が長いタイプ、あるいは跳躍高は低いが接地時間が短いタイプなど、様々なタイプの競技者が存在する可能性を指摘し、これを陸上競技の跳躍競技者で検討し、4つのタイプに分類した。その結果、タイプ間に競技力の差は認められず、競技力の高い競技者が特定のタイプに属しているわけではないことが示唆されている（図子ほか，2017）。

一方スプリント走において、内藤ほか（2014）は、クラスター分析を用いて短距離競技者のタイプ分けを行い、ピッチ型、ストライド型、および中間型に分類した。これらの3つのタイプによって、100m走のレースタイム、各区間の平均疾走速度には差が認められたかったのに対して、身長、総歩数、ストライド指数（平均ストライド・身長⁻¹）、ピッチ指数（平均ピッチ・（身長・g⁻¹）^{1/2}）にはそれぞれ

差が認められたことを報告している。また、加速局面のピッチ、ストライドの1歩毎の疾走動態は、全ての歩数においてストライド型とピッチ型の間には有意差が認められており、タイプによって加速局面の疾走動態は異なることが示唆され、100m走パフォーマンス向上を目的としたトレーニングにおいて、競技者のタイプを考慮した指導方法を立案する際の知見となることが指摘されている。

3. 文献研究で得られた知見

以上の文献研究により、競技者の特性のタイプ分けおよびばね的特性を評価する方法についての知見を得ることができた。

- (1) 様々な運動様式を用いて競技者の力発揮特性が検討され、競技スポーツごとに分類が試みられている。
- (2) 5RJとCMJという異なる2つのジャンプ運動を用いて、子どもや競技者のタイプ分けが行われている。
- (3) 陸上競技においては、RJを用いて RJ_{index} を算出し、そのときの接地時間および跳躍高を指標としてタイプ分けが試みられている。
- (4) 競技者のばね的特性を評価するために、RDJを用いて RDJ_{index} を算出し、そのときの接地時間および跳躍高を指標として、硬いばねを有するタイプあるいは柔らかいばねを有するタイプと2つのタイプに分類している。
- (5) 陸上競技において、力学的な脚Stiffnessを用いてばね特性を評価する際の運動には、RDJが頻繁に用いられている。
- (6) 陸上競技において、様々なパラメータを用いて競技者をいくつかのタイプに分類することが試み

られている。

- (7) RDJ_{index} を用いて競技者をタイプ分けした際、競技力の高い競技者が特定のタイプに属しているわけではないことが示唆された。

一方、文献研究によって明らかになった競技者のばね的特性を評価する方法の未解決問題は以下の通りである。

- (1) 様々な運動様式を用いると、必要とされる力発揮能力が運動ごとに異なることが考えられるため、運動様式を統一する必要がある。
- (2) RJ と CMJ によってタイプに分類されているが、接地時間を判定することができる方法を用いる必要がある。
- (3) RJ や RDJ は、接地時間を短くすることが強調されており、跳躍高を犠牲にしている運動である。
- (4) RJ や RDJ は、足関節中心の運動であり、股関節が主動関節となる運動の評価には注意が必要である。
- (5) 脚 stiffness は、運動中のばね的特性を評価する指標として広く用いられているが、短縮局面の振る舞いが含まれていない。

Ⅲ. 本研究の目的, 課題, 意義, 仮説および限界

1. 研究の目的

本研究の目的は, 文献研究によって明らかになった競技者のばね的特性の硬い柔らかいを評価する方法の課題を解決した新たな評価方法を開発し, その有用性を検討することとした.

2. 研究の課題

上記の研究目的を達成するために, 以下の研究課題を設定した.

【研究課題 1】

競技者のばね的特性を評価する新たな方法を開発し, その妥当性, 信頼性, および実用性について検討する. そのために, 以下の2つの小課題を設定した.

1-1.

ジャンプ運動を用いたばね的特性を評価する新たな方法を開発し, その方法について, 妥当性, 信頼性, および実用性を検討する. そのために, ジャンプ運動において最大跳躍高を発揮した試技の接地時間を指標として, 個人間でのばらつきや追試験を実施し再現性を検証し, 開発した新たなテストが競技者のばね的特性を評価する方法となり得るのかを検討する.

1-2.

競技者のばね的特性を評価する新たな方法について, さらなる妥当性を検討するために, 個人が選択した最適接地時間について力学的に検討する.

【研究課題2】

競技者のばね的特性を評価する新たな方法によって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との関係を検討し、実用性についてより詳細に検討する。

3. 研究の意義

本研究では、競技者のばね的特性を評価するためにジャンプ運動を用いた全く新しい方法を開発しその妥当性、信頼性、および実用性について検討する。また、新たな方法によって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との関係を検討する。これらを検討することによって、これまで用いられてきたばね的特性を評価する方法の課題を解決した評価方法を提案することが可能となり、より厳密にばね的特性を評価することができる。さらに、新たな方法によって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との間に関係が認められるとすれば、その特性に応じたトレーニングの立案や課題を発見することに繋がることが考えられる。

4. 研究の仮説

- (1) 競技者のばね的特性を評価する新たな方法によって評価された競技者のばね的特性は、個人間で異なることが考えられ、新たなジャンプテストにおける接地時間と跳躍高との関係からみられる波形は逆Uの字を示すことが予想される。さらに、新たなジャンプテストによって評価されるばね的特性が個人の特性であるならば、再現性が認められる【研究課題1-1】。
- (2) 新たなジャンプテストによって評価される個人のばね的特性は最適接地時間から明らかにさ

れており、最適接地時間の長い競技者ほど股関節の貢献が大きく、短い競技者ほど足関節の貢献が大きいことが考えられる【研究課題1-2】。

- (3) 新たなジャンプテストによって評価されたばね的特性、つまり、トレーニング現場で表現される「硬いばねを有するタイプ」あるいは「柔らかいばねを有するタイプ」は、スプリント走のパフォーマンスを構成するパラメータに影響を及ぼしていることが考えられる【研究課題2】。

5. 研究の限界

(1) 対象者による限界

本研究では、陸上競技の短距離、跳躍、および混成競技を専門とする男子学生競技者を対象としたため、本研究で得られた知見を他の年齢層、他の競技種目を専門とする競技者、女子競技者、および本研究で対象とした被験者とは異なる競技レベルの競技者を対象とした場合には当てはめるには限界がある。

(2) 方法による限界

本研究では、競技者のばね的特性を評価する全く新しい方法を用いていることから、今後様々な追試験を重ねてその妥当性については十分に検討していく必要のある方法である。

本研究では、ジャンプ運動における接地時間を手掛かりとしてばね的特性を評価しており、そのときの姿勢等は考慮されていないことに注意する必要がある。

IV. 競技者のばね的特性を評価する新たな方法の開発とその妥当性、信頼性、および実用性の検討 (研究課題 1-1)

1. 目的

研究課題 1-1 では、競技者のばね的特性を評価する新たな方法を開発しその妥当性、信頼性、および実用性について検討する。

緒言で述べたように、競技者のばね的特性を評価する従来の方法にはいくつかの問題点が挙げられる。1 つ目は、接地時間を判定できない方法を用いていることである。例えば、CMJ を含めた実験運動を用いてタイプ分けを試みた研究が挙げられる (遠藤ほか, 2007)。CMJ は、RJ と同じジャンプ運動であるが、接地時間を判定することができない。そのため、競技者のばね的特性をジャンプ運動から評価する際には、ある高さの台上から跳び下りて再び跳び上がるジャンプを行うような方法で接地時間を判定する必要がある。さらに、2 つ目には接地時に受け止める機械的エネルギーが同一でないことが挙げられる。これは、RJ には多くの場合 5 回連続ジャンプ運動が用いられ、分析対象となる前の跳躍高が次の接地期における動作に影響することから、個人間で条件を統制することができない。したがって、測定を行う際には台上の高さを統一する必要がある。3 つ目には、ばね特性を評価する力学的な脚 Stiffness は、伸長局面のみを対象としていることが挙げられる。つまり、脚 Stiffness では、短縮局面が評価できていない。しかし、トレーニング現場において見た目のばね的特性の硬い柔らかいとは、短縮局面も反映して判断していることは想像に難くない。したがって、反動動作全体を含めてばね的特性を評価する必要があると考えられる。最後に、4 つ目はバリストティックなジャンプ運動である RJ や RDJ は、跳躍高が犠牲にされていることが挙げられる。両者のジャンプ運動における指示は、で

きる限り接地時間を短くしてできる限り高く跳ぶことである（図子・高松，1996；図子ほか，2017）．
そのため，接地時間を短くすることが特に強調されてしまい，跳躍高が犠牲となっている可能性がある．したがって，接地時間を短くすることを強調するのではなく，可能な限り高く跳んだ際の接地時間を判定し，それが競技者のばね的特性を評価する指標となると考えられる．これらのことを踏まえて，本研究課題では新たなジャンプテストを開発し，この妥当性，信頼性，および実用性を検討することを目的とする．なお，本研究では新たに開発したジャンプテストについて，接地時間を様々に変化させることから Multi contact time jump test（以下，MCT-jump test）と呼ぶこととする．

2. 方法

(1) 被験者

被験者は，大学陸上競技部に所属し短距離走もしくは混成競技を専門とする男性陸上競技者 52 名とした（表 1）．また，実験に先立ち，研究の目的および実験に伴う安全性と危険性を書面にて十分に説明し，インフォームドコンセントを得た．なお，本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行われた（承認番号：体 28-131）．

(2) 実験試技

実験試技は，以下に示した 3 種類の鉛直方向へのジャンプ運動であった．

1) SJ：スクワットジャンプ

SJ は膝関節屈曲角 90° の状態から，上方へ跳躍させた．

2) CMJ：カウンタームーブメントジャンプ

CMJは立位の状態から反動動作を用いて、上方へ跳躍させた。

なお、両ジャンプとも全力で高く跳ぶことを口頭で指示し、2試技ずつ行わせた。そして、このときの最大跳躍高を發揮した試技を分析対象とした。

3) MCT-jump test : Multi contact time-jump test

本研究で用いるMCT-jump testは、最も高く跳ぶために用いる接地時間を判定するためのテストであった。30cmの台上から跳び降りた後、再び跳び上がるジャンプ運動を15-20回程度行わせた。このとき、極めて短い接地時間で高く跳ぶことを意識させた試技（リバウンドドロップジャンプ）から、接地時間を長くする試技、そして完全に停止してから跳び上がる試技まで、接地時間を意識的に変化させて試技を行わせた。このとき被験者には、「今の試技よりも若干長く」、「停止するくらいまで長く」、「もっと短く」という声かけをした。また、接地時間（約0.1秒-1.0秒程度）はおおよそ0.1秒単位で変化させてジャンプを行わせた。さらに、順序効果による影響を無効にするため、接地時間の順序は無作為に行った。いずれの接地時間でのジャンプもできる限り高く跳ぶことを口頭で指示して行わせた（リバウンドドロップジャンプのみできる限り短い接地時間で高く跳ぶという指示）。なお、それぞれの接地時間において著しく跳躍高の低い試技は失敗試技として分析対象から除外した。

また、試技は十分なウォーミングアップを行った後、トレーニングシューズを履かせて行わせた。なお、全てのジャンプ運動は試技の際に上肢の動作による影響を排除するため、手を腰に当てた状態で行わせ、試技間は疲労の影響を無くすために休息を十分にとらせた。

(3) 測定方法

各ジャンプ運動はマットスイッチ（マルチジャンプテスタ、ディケイエイチ社製）上で行わせた。

MCT-jump test は、接地時間をおおよそ 0.1 秒単位で変化させるため、被験者および験者が 1 回の試技ごとに接地時間を確認できるように、試技直後に接地時間と跳躍高の関係図を作成し、プロジェクターを用いてスクリーン上に投影した (図 1)。

(4) 算出項目

1) SJ・CMJ および MCT-jump test

マットスイッチから跳躍中の滞空時間 (s) と接地時間 (s) を求め、跳躍高 (m) を以下の式によって算出した。

$$\text{跳躍高 (m)} = 1/8 \cdot g \cdot (\text{滞空時間})^2$$

ここで、g は重量加速度 (9.81m/s²) を示す。

2) MCT-jump test

“RDJ_{index}” (図子ほか, 1995) を以下の式によって算出した。これは、できる限り短い接地時間で高い跳躍高を獲得する能力を示す指標である。

$$\text{RDJ}_{\text{index}} \text{ (m/s)} = (1/8 \cdot g \cdot \text{滞空時間}^2) / \text{接地時間}$$

本研究において、最大跳躍高を発揮した試技における接地時間を個人の接地時間の最適値 (以下「最適接地時間」と略す) とした。

(5) 再現性検証のためのテスト

再現性検証のためのテスト (以下“re-test”と略す) を 1 回目の測定と同様のプロトコルで行った。そして、MCT-jump test と re-test における最適接地時間と最大跳躍高のそれぞれの相関関係および級内相

表1 被験者の身体特性とパフォーマンス

被験者	身長(m)	体重(kg)	専門種目	シーズンベスト(s)
1	1.68	67	100m	11.24
2	1.65	58	100m	11.20
3	1.84	73	100m	10.86
4	1.72	62	100m	10.96
5	1.60	50	100m	11.81
6	1.73	68	100m	11.61
7	1.70	63	100m	11.80
8	1.76	68	100m	11.21
9	1.74	63	100m	11.68
10	1.78	62	100m	11.51
11	1.74	60	100m	10.68
12	1.65	55	100m	11.40
13	1.67	68	100m	11.19
14	1.85	68	100m	11.10
15	1.77	69	100m	11.20
16	1.74	68	100m	10.99
17	1.67	59	100m	11.41
18	1.71	65	100m	10.44
19	1.77	60	400m	49.13
20	1.73	62	400m	51.35
21	1.71	57	400m	49.73
22	1.71	65	400m	50.84
23	1.83	68	400m	48.88
24	1.75	66	400m	50.14
25	1.75	62	400m	52.28
26	1.76	62	400m	49.48
27	1.73	64	400m	53.10
28	1.68	58	400m	49.98
29	1.76	68	400m	50.68
30	1.72	60	400m	50.38
31	1.72	58	400m	48.49
32	1.79	72	400m	48.03
33	1.74	65	400m	49.91
34	1.74	70	400m	50.22
35	1.71	61	400m	49.74
36	1.81	65	400m	49.88
37	1.76	57	400m	49.37
38	1.73	63	110mH	15.69
39	1.74	67	110mH	15.27
40	1.77	70	110mH	15.49
41	1.74	64	110mH	16.68
42	1.85	65	110mH	15.37
43	1.76	62	400mH	56.54
44	1.76	62	400mH	55.56
45	1.75	65	400mH	52.68
46	1.71	60	400mH	58.07
47	1.73	61	400mH	51.36
48	1.73	61	400mH	53.70
49	1.77	61	400mH	59.64
50	1.71	63	10種競技(100m)	11.51
51	1.80	62	10種競技(100m)	11.44
52	1.76	63	10種競技(100m)	11.02
平均値	1.74	63.3		
標準偏差	0.05	4.4		



図1. 実験風景

関係数 (ICC) を検討した。なお, re-test は MCT-jump test から約 3 ヶ月後に行い, このときの被検者は怪我等の理由で参加できない競技者を除く, 計 37 名であった。

(6) 統計処理

MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高の被験者の分布について Shapiro-Wilk の正規性の検定を用いて正規性を検討した。

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。各測定項目間の関係を検討するために, Pearson の積率相関係数を算出した。また, SJ の跳躍高, CMJ の跳躍高, 最大 RDJ_{index} 時の跳躍高と MCT-jump test の最大跳躍高の有意差検定には一元配置の分散分析を用い, F 値が有意であった項目については Scheffe 法により多重比較を行った。MCT-jump test と re-test の最適接地時間および最大跳躍高の有意差検定には対応のある t 検定を用いた。また, MCT-jump test と re-test の最適接地時間および最大跳躍高の再現性を検討するために級内相関係数を算出した。さらに, MCT-jump test における競技者の最適接地時間と最大跳躍高からタイプ分けを行うために, 最適接地時間と最大跳躍高に対して, 変量を標準化した平方ユークリッド距離を求め, これを手がかりとして Ward 法によるクラスター分析をケース (個体) に対して行った。なお, いずれの統計処理においても, 有意性は危険率 5%未満で判定した。

3. 結果

(1) SJ, CMJ, および MCT-jump test

表 2 には, SJ および CMJ の跳躍高, MCT-jump test における最大 RDJ_{index} とその時の接地時間と跳躍高, および MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高を示した。SJ の跳躍高は 0.43 ± 0.05 m (変

動係数; 12.2%), CMJ の跳躍高は $0.47\pm 0.06\text{m}$ (変動係数; 12.9%), MCT-test における最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ は $2.65\pm 0.46\text{m/s}$ (変動係数; 17.4%), その時の接地時間は $0.16\pm 0.02\text{sec}$ (変動係数; 12.8%), 跳躍高は $0.42\pm 0.07\text{m}$ (変動係数; 17.6%) であった. また, MCT-jump test における最適接地時間は $0.56\pm 0.21\text{sec}$ (変動係数; 38.1%), 最大跳躍高は $0.50\pm 0.05\text{m}$ (変動係数; 10.8%) であった.

表 3 には, re-test における SJ および CMJ の跳躍高, RDJ 時の最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ とその時の接地時間と跳躍高, および MCT-jump test における最大跳躍高とそのときの接地時間と $\text{RDJ}_{\text{index}}$ を示した. SJ の跳躍高は $0.43\pm 0.06\text{m}$ (変動係数; 13.4%), CMJ の跳躍高は $0.47\pm 0.06\text{m}$ (変動係数; 12.4%), RDJ 時の $\text{RDJ}_{\text{index}}$ は $2.38\pm 0.51\text{m/s}$ (変動係数; 21.8%), その時の接地時間は $0.17\pm 0.03\text{sec}$ (変動係数; 19.5%), 跳躍高は $0.40\pm 0.05\text{m}$ (変動係数; 13.6%) であった. また, MCT-jump test における最適接地時間は $0.57\pm 0.20\text{sec}$ (変動係数; 36.1%), 最大跳躍高は $0.46\pm 0.11\text{m}$ (変動係数; 24.1%) であった.

図 2 には, SJ, CMJ, 最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ 時の跳躍高, および MCT-jump test における最大跳躍高との比較を示した. その結果, SJ の跳躍高と CMJ の跳躍高および MCT-jump test における最大跳躍高との間, CMJ の跳躍高と MCT-jump test における最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ 時の跳躍高との間, そして最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ 時の跳躍高と MCT-jump test の最大跳躍高との間に有意差がそれぞれ認められた ($p<0.05$).

(2) 被験者の接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形の特徴

図 3, 図 4, 図 5, および図 6 には, MCT-jump test と re-test に参加した被験者 ($n=37$) のうち特徴的であった 4 名の結果における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形を示した. なお, このときの 37 名の被験者の波形はこれら 4 つのパターンのいずれかと類似していた.

パターン A の接地時間と跳躍高との関係からみられる波形は逆 U の字を示しており, 多くの被験者

表2 SJ, CMJ, およびMCT-jump test の各パラメータ

		平均値	変動係数(%)
SJ	跳躍高(m)	0.43±0.05	12.2
CMJ	跳躍高(m)	0.47±0.06	12.9
MCT-jump test(RDJ)	最大RDJ _{index} (m/s)	2.65±0.46	17.4
	接地時間(s)	0.16±0.02	12.8
MCT-jump test	跳躍高(m)	0.42±0.07	17.6
	最適接地時間(s)	0.56±0.21	38.1
	最大跳躍高(m)	0.50±0.05	10.8
			n=52

表3 re-test における SJ, CMJ, および MCT-jump test の各パラメータ

		平均値	変動係数(%)
SJ	跳躍高(m)	0.43 ± 0.06	13.4
	CMJ		
CMJ	跳躍高(m)	0.47 ± 0.06	12.4
	MCT-jump test(RDJ)		
MCT-jump test(RDJ)	最大RDJ _{index} (m/s)	2.38 ± 0.51	21.8
	接地時間(s)	0.17 ± 0.03	19.5
MCT-jump test	跳躍高(m)	0.40 ± 0.05	13.6
	最適接地時間(s)	0.57 ± 0.20	36.1
	最大跳躍高(m)	0.46 ± 0.11	24.1
			n=37

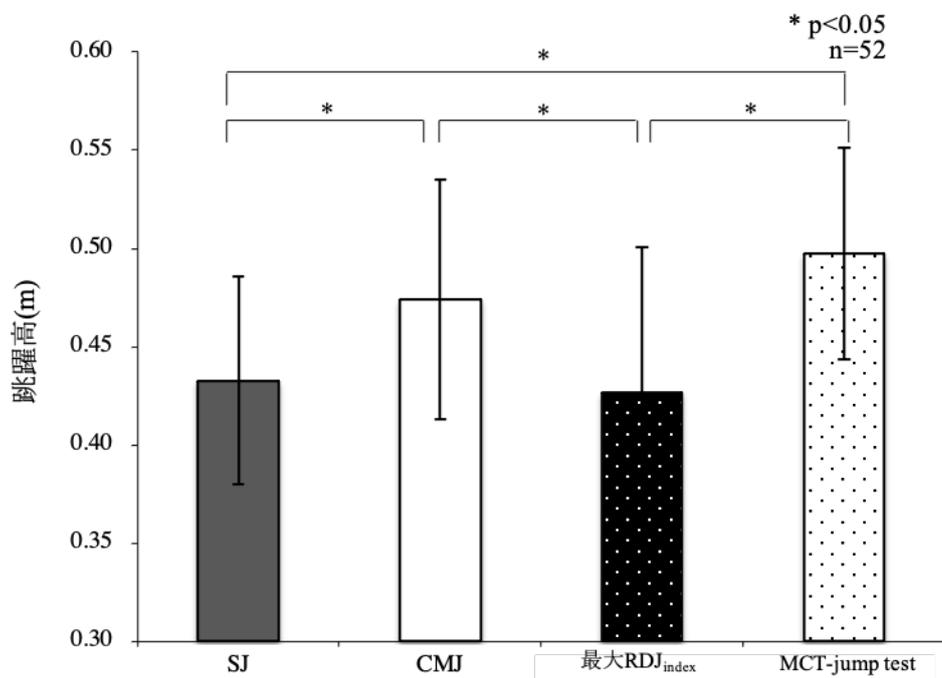


図2. SJ, CMJ, 最大RDJ_{index}時の跳躍高, およびMCT-jump testの最大跳躍高の比較

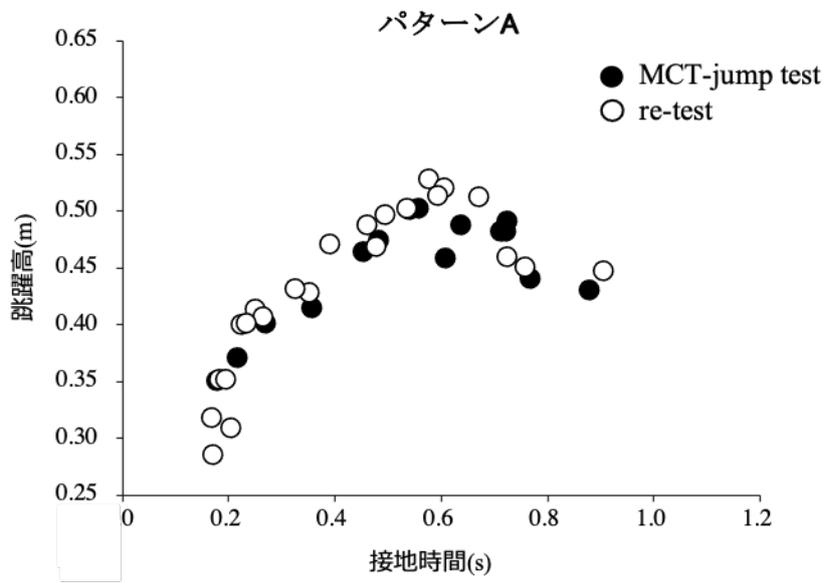


図3. MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターンA)

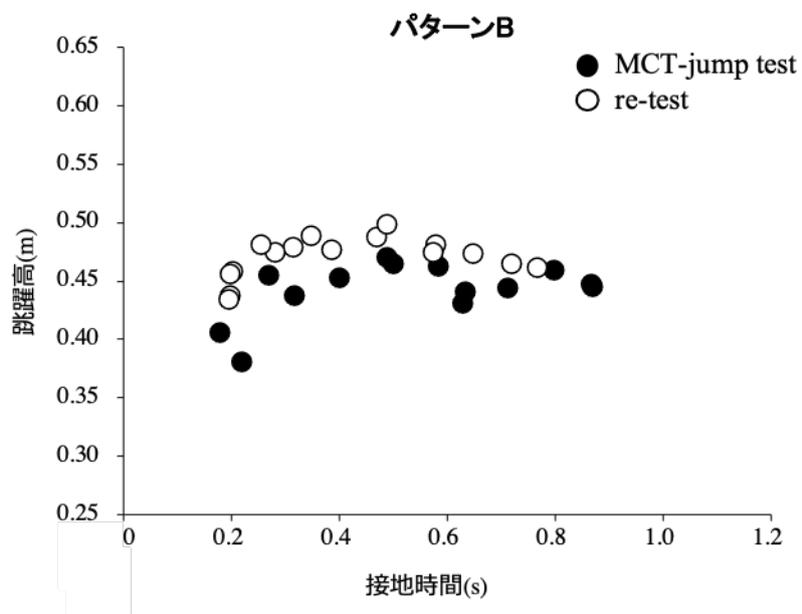


図4. MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターンB)

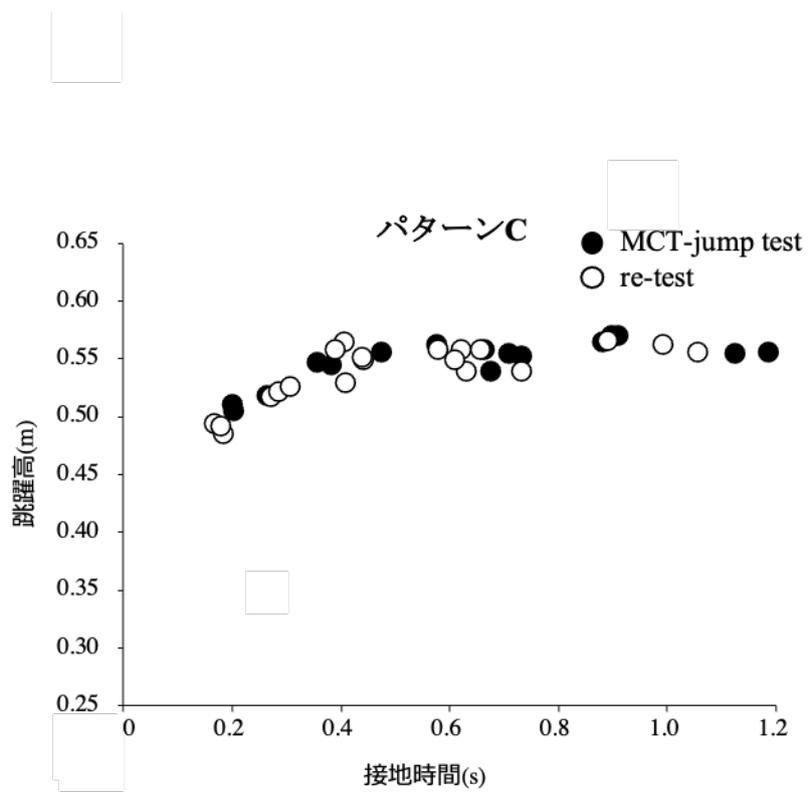


図5. MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターンC)

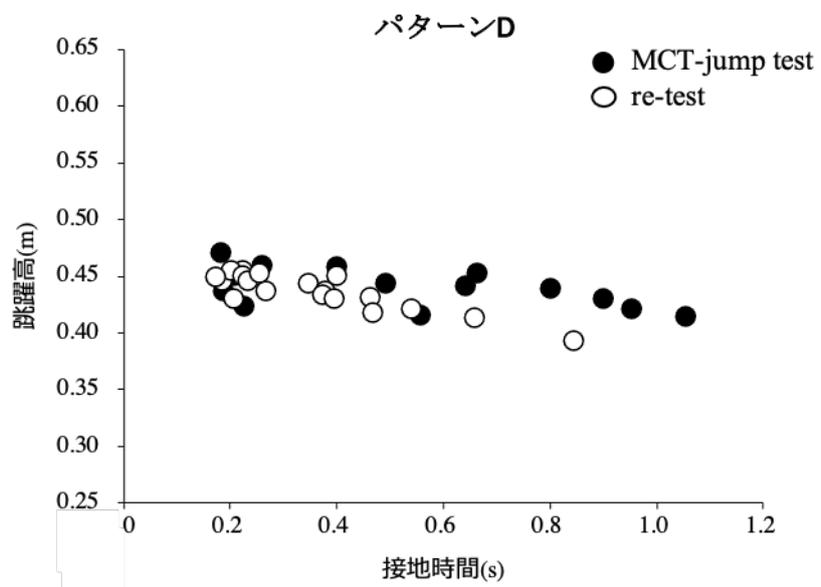


図 6. MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形 (パターンD)

がパターン A であった。パターン B およびパターン C は、パターン A と比較して接地時間が長い試技における跳躍高の低下が少なく、顕著な逆 U 字を示していない。また、パターン C は、ある一定の接地時間から接地時間を長くしても跳躍高に大きな変化は認められなかった。パターン D はバリストイックなジャンプで最大跳躍高を發揮し、その後低下している。さらに、MCT-jump test と re-test における接地時間と跳躍高との関係は、多くの被験者で類似していた。

(3) 最適接地時間における被験者の分布

図 7 には、本研究において判定された最適接地時間における被験者の分布を示した。最適接地時間は 0.10–0.20 秒の間に 6 人、0.20–0.30 秒の間に 3 人、0.30–0.40 秒の間に 1 人、0.40–0.50 秒の間に 7 人、0.50–0.60 秒の間に 13 人、0.60–0.70 秒の間に 8 人、0.70–0.80 秒の間に 8 人、0.80–0.90 秒の間に 4 人、0.90–1.00 秒の間に 2 人であり、正規分布していることが認められた ($W=0.956$, $p>0.05$, $n=52$)。なお、被験者の分布における全ての区間は、○以上●未満 (○—●) と示した。

(4) 再現性の検討

図 8 には、MCT-jump test における最適接地時間と re-test における最適接地時間との関係を示し、図 9 には MCT-jump test における最大跳躍高と re-test における最大跳躍高との関係を示した。MCT-jump test における最適接地時間と re-test の最適接地時間との間には有意な正の相関関係が認められた ($r=0.853$; $p<0.05$)。また、MCT-jump test における最大跳躍高と re-test の最大跳躍高の間にも有意な正の相関関係が認められた ($r=0.856$; $p<0.05$)。さらに、有意差検定を行ったところ、MCT-jump test と re-test の最適接地時間の間には有意差 ($t=1.152$; n.s.) は認められなかったが (図 10)、MCT-jump test と

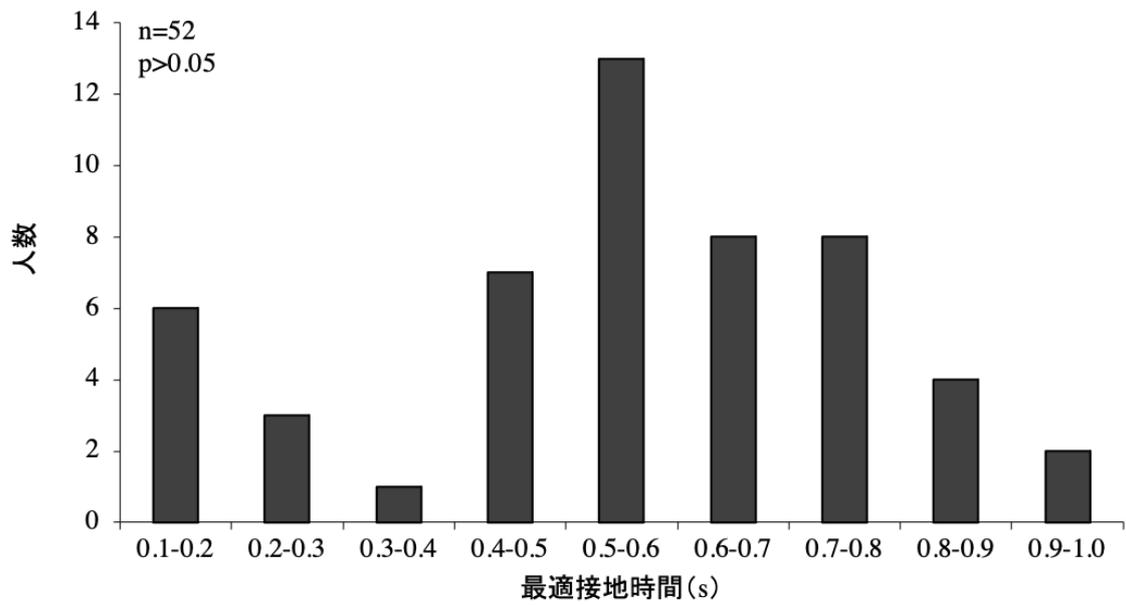


図7. 最適接地時間における被験者の分布

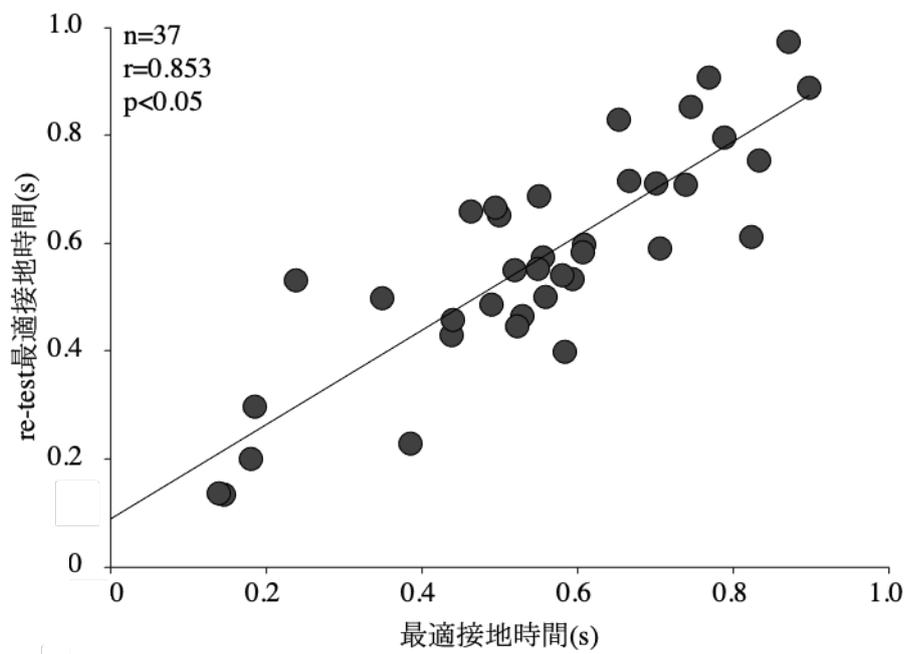


図8. MCT-jump test における最適接地時間と re-test の最適接地時間との関係

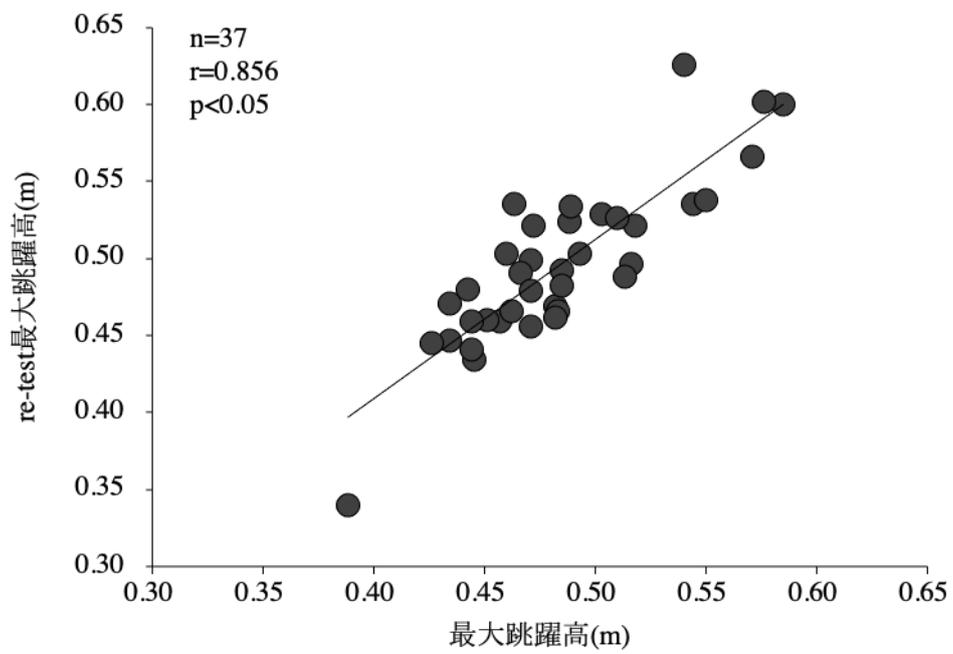


図9. MCT-jump test における最大跳躍高と re-test の最大跳躍高との関係

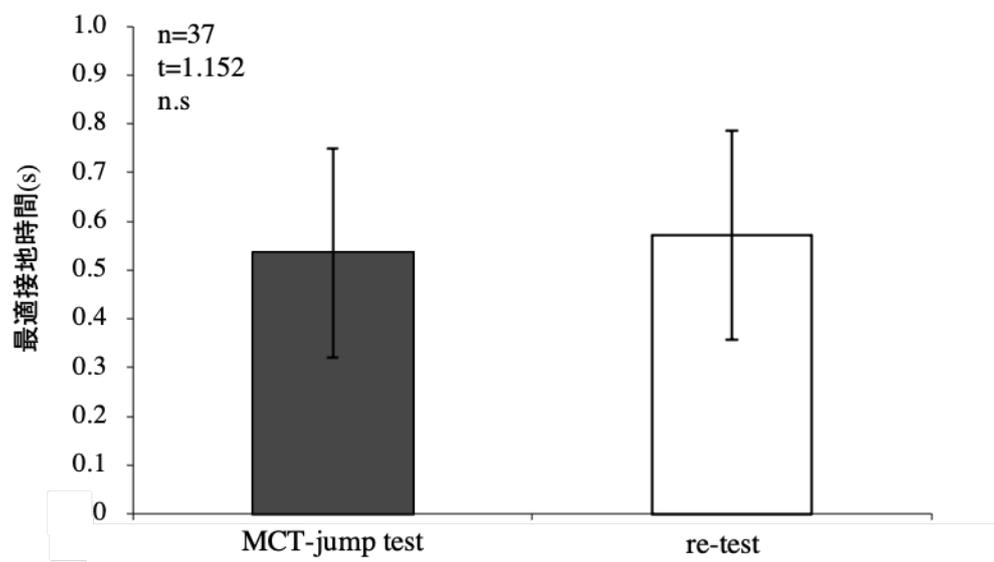


図 10. MCT-jump test と re-test の最適接地時間の比較

re-test の最大跳躍高の間には有意差 ($t=-2.523$; $p<0.05$) が認められた (図 11)。また, MCT-jump test と re-test における最適接地時間および最大跳躍高の級内相関係数を算出したところ, 最適接地時間 (ICC=0.85), 最大跳躍高 (ICC=0.82) であった。

(5) 最適接地時間と最大跳躍高との関係

図 12 には, MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高との関係を示した。最適接地時間と最大跳躍高の間には有意な相関関係は認められなかった ($r=0.172$; n.s.)。

(6) 最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との関係

図 13 には, MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との関係を示した。最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との間には有意な相関関係は認められなかった ($r=0.158$; n.s.)。

(7) タイプ分けの試み

図 14 には, クラスタ分析によるタイプ分けの結果を示した。MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高を指標として, Ward 法によるクラスタ分析を行った結果, クラスタが分かれる点で 5 つのタイプ (Type1・Type2・Type3・Type4・Type5) に分類された。

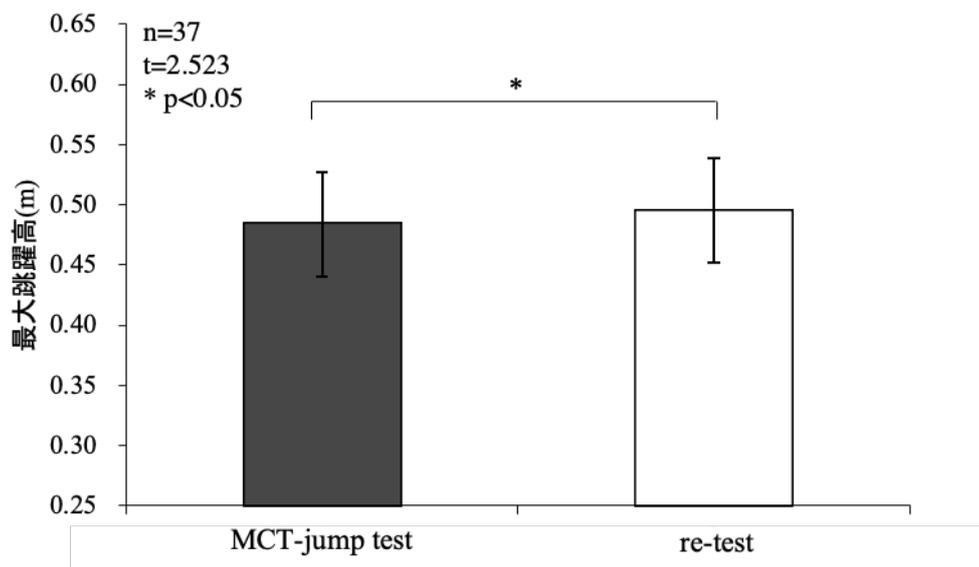


図 11. MCT-jump test と re-test の最大跳躍高の比較

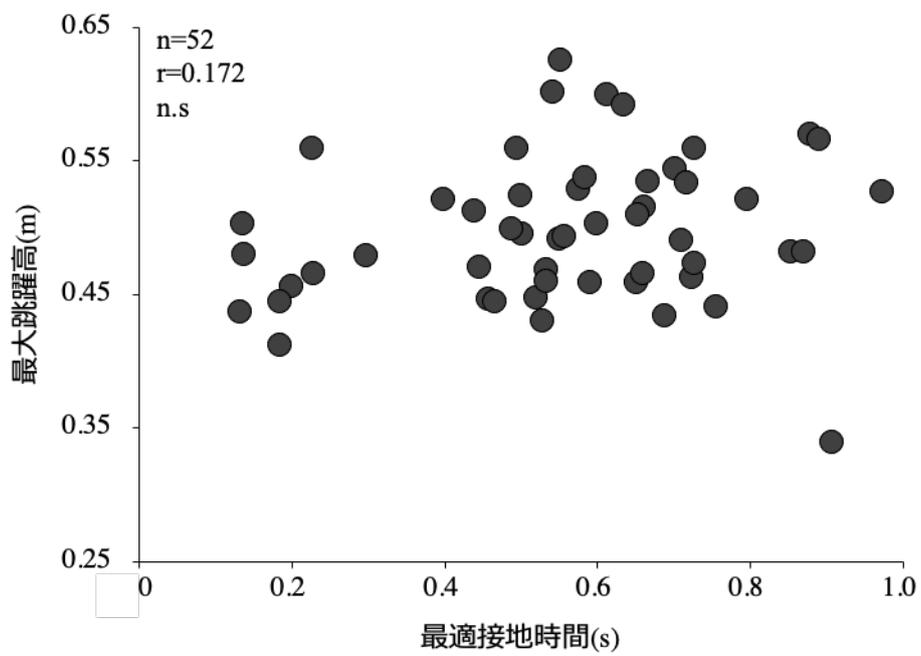


図 12. MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高との関係

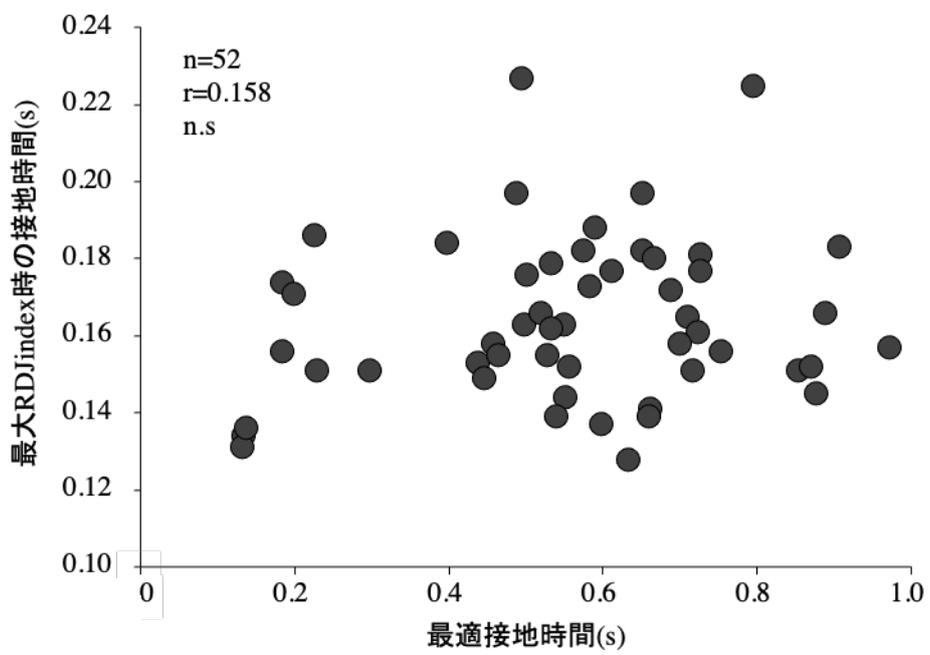


図 13. MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との関係

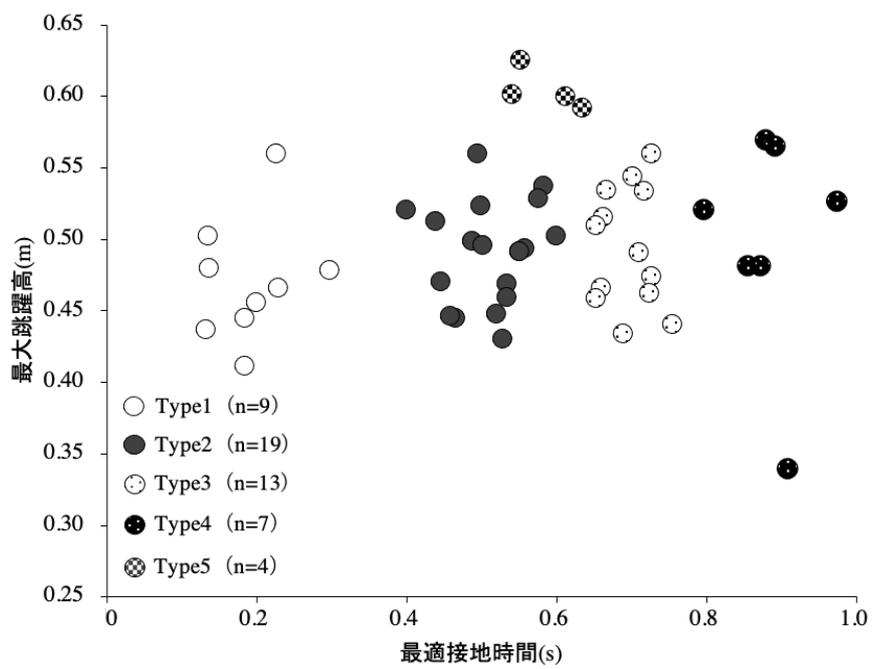


図 14. MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高を指標としたタイプ分け

4. 考察

本研究の目的は、30cmの台上から跳び下り、接地時間を意識的に変化させながら高く跳ぶジャンプ運動を用いて個人のばね的特性を評価する方法について、個人のばね的特性を評価する方法の妥当性、信頼性、および実用性を検討することであった。本研究の主な結果として、MCT-jump testにおける最適接地時間が個人間で異なることが示唆された。このことは、最適接地時間の長短から競技者のばね的特性を評価することができる可能性を示している。これまで、競技者のばね的特性はRDJを用いて評価されてきた(図子・高松, 1996)。そのため、従来の評価法との比較およびトレーニング現場でどのように活用していくかを検討していくこととする。

(1) MCT-jump testにおける妥当性、信頼性、および実用性の検討

新たなテストを開発するためには、妥当性、信頼性および実用性を検討する必要があると指摘されている(松浦, 1983)。本研究で開発するMCT-jump testは、接地時間の最適値を手がかりに個人のばね的特性を評価する全く新しい方法であるため、これらを検討した。

MCT-jump testにおける個人の接地時間と跳躍高との関係を検討し、その散布図が示す波形をみると、多くの競技者が逆Uの字を示していた(図2)。パターンAからパターンDまで競技者によって波形の特徴は異なるものの、最適接地時間の長短を把握することが可能となる。このような結果となった要因として、接地時間が短い場合は十分な力積を確保できないこと、接地時間が長すぎるとは反動の効果が薄れてしまうことによって、両者の跳躍高が相対的に低くなったためだと考えられる。このことから、散布図の示す波形が逆Uの字を示している中で、最適接地時間の長短を検討することで、競技者のばね的特性を明らかにすることができる可能性が考えられる。また、最適接地時間について、

それぞれの項目におけるばらつきを表す指標である変動係数をみてみると、他の項目と比較してばらつきが大きい傾向が認められた（変動係数：38.1%）。さらに、最適接地時間における被験者の分布を検討したところ（図3）、短い接地時間から、長い接地時間の者まで様々であり、正規分布していることが認められた。これらのことから、最適接地時間は個人間で異なることが示唆された。したがって、MCT-jump test によって、競技者のばね的特性を評価する方法の妥当性は高いことが考えられる。

また、テストの信頼性を検討するために MCT-jump test から約3ヶ月後に再度同じ実験設定で re-test を行い、再現性を検討した。再現性は、MCT-jump test おいて判定された最適接地時間と re-test おける最適接地時間との相関関係を検討すること、および級内相関係数を検討することで判断した。その結果、両者の間には有意な正の相関関係が認められ（図4）、級内相関係数は0.85であった。さらに、有意差検定の結果、MCT-jump test における最適接地時間と re-test における最適接地時間との間には有意差は認められなかった（表2）。これらのことから、個人の最適接地時間に経時的な変化は少なく、高い再現性を有する方法であったことが示唆された。また、このことはテストの信頼性を高めるとともに、高い妥当性が保証されたことを示唆している。しかしながら、3ヶ月という比較的短い期間における再現性の検討であり、長期間での最適接地時間の経時的な変化は検討していない。今後、長期に渡る最適接地時間のトレーナビリティの有無や、経時的な再現性の検討もしていく必要があると考えられる。

一方、MCT-jump test における最大跳躍高と re-test における最大跳躍高の間にも有意な正の相関関係が認められ（図5）、級内相関係数は0.82であった。しかし、MCT-jump test と re-test における最大跳躍高を比較した結果、両者の間には有意差が認められた（表2）。したがって、MCT-jump test と re-test 時に発揮したパフォーマンス（最大跳躍高）は異なることが示唆された。このことは、被験者のコン

ディションやトレーニング状況が影響し、最大跳躍高には差が認められたことが考えられる。また、MCT-jump test における最適接地時間と最大跳躍高との関係を検討した結果、両者の間には有意な相関関係は認められなかった (図 6)。このことは、最適接地時間の長短が最大跳躍高に影響しないことを意味しており、個人で最適な接地時間が存在することを示唆している。これらのことから、MCT-jump test において発揮した最大跳躍高はトレーニングによって変化させられる競技者の「能力」として捉えることができ、最適接地時間は競技者のもつ「特性」と捉えることができると考えられる。

また、本研究で開発する MCT-jump test は、非常に簡便な方法であると言える。松浦 (1983) は、テストの実施方法が簡便であればあるほどより多くの人に利用されやすく、かつ客観性を高め、信頼度を高めることができると述べている。本研究では、比較的多くのスポーツ種目におけるトレーニング手段として用いられる鉛直方向へのジャンプ運動をテストとして用いた。そして、そのときの算出項目は接地時間と跳躍高であり、これは誰でも即座にフィードバック可能な項目である。さらに、用いた器具は利用が簡単なマットスイッチであり、測定場所の制限が少ないことから簡便であり、トレーニングの現場でも扱いやすく、実用性の高い方法であると考えられる。

(2) 従来の評価法との比較

MCT-jump test と従来の評価法とを比較するために、MCT-jump test と RDJ における接地時間の長短が異なる指標であることを検証する必要がある。そこで、最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との関係を検討した (図 7)。その結果、両者の間には有意な相関関係は認められなかったことから、MCT-jump test は従来の評価法とは異なる競技者の特性を評価していることが考えられる。つまり、先行研究で明らかにされているように RDJ が特に足関節のパワー発揮能力を反映した指標であり、下肢三関

節の動きを総合的に評価できていない可能性が高いことから、MCT-jump test の接地時間との相関関係が認められなかったことが考えられる。

また、各種スポーツ種目における下肢の力発揮特性について検討した研究（図子ほか，1993）との比較において、本研究で開発した MCT-jump test は跳び下りを行う台の高さを 30cm に規定し、測定条件を統一した。このことから、MCT-jump test では運動エネルギーを統一して、ばね的特性を評価することができる。そして、接地時間を測定することが可能となり、これがジャンプ運動時における反動動作の様相の違いを反映していることが推察され、「硬いばねを有するタイプ」あるいは「柔らかいばねを有するタイプ」であるのかを判定することができると考えられる。また、MCT-jump test では、RDJ も同様に実施しており、2つのテストを別々に行う必要はないことから、簡便に実施しやすいという利点が挙げられる。これらのことを総合的に考えると、従来の方法をより精緻化した競技者のばね的特性を評価する方法となると考えられる。

（3）MCT-jump test を活用した競技者のタイプ分け

これまでの結果から、個々の競技者は異なるばね的特性を示している。近年、陸上競技においては競技者の個人の特徴に着目することへの重要性が指摘され（阿江，1999；Debaere et al., 2013；内藤ほか，2013），競技者のタイプ分けを行うことが個々の競技者に対して具体的なトレーニング目標を設定する際の手がかりになると考えられている。そこで、MCT-jump test における最適接地時間とそのときの跳躍高を変数とし、クラスター分析によるタイプ分けを試みた。その結果、競技者のばね的特性は5つのタイプ（Type1・Type2・Type3・Type4・Type5）に分類された（図8）。Type1・Type2・Type3・Type5については、それぞれ最適接地時間の短いタイプから長いタイプに分類されたことから、「硬いばねを

有するタイプ」と「柔らかいばねを有するタイプ」を客観的に示す指標となる可能性が示唆された。そして、この指標を用いることで競技者の種目選択やタレント発掘を行う際の1つの指標になることも考えられる。

また、競技者のばね的特性のタイプに関して、この特性を成立させている要因には生得的にかなりの部分が規定されるものと、トレーニングを通じて発達させられるものが含まれている。前者は骨格の大きさ、筋や腱の構造のような身体的特性であり、これは遺伝的に決定されている変化させられない要因である(図子・高松, 1996)。一方、後者は筋組成や神経筋腱の調節機能などの機能的・生理学的な要因であり、これらはトレーナビリティのあることが考えられる。例えば、長期間に渡り筋力トレーニングを行った研究では、FT および ST 線維の肥大が認められている (MacDougall et al., 1980)。また、トレーニングにより、FT および ST 線維のタイプ移行が認められたという報告も存在する (Baumann et al., 1987)。

上述した筋生理学的研究から、長期に渡るトレーニングによって競技者のばね的特性は変化する可能性も考えられる。そのため、長期的なトレーニングによるばね的特性のトレーナビリティの有無を明らかにすることができれば、これまで競技者の特性と見なされてきたばね的特性そのものを改善する新たなトレーニングの可能性が開かれると考えられる。したがって、今後も継続的に競技者のばね的特性を評価していくことが必要となる。また、本研究では最適接地時間と競技力や競技特性との関係や、最適接地時間と競技場面で用いられる技術タイプとの関係について検討していない。これらを詳細に検討していくことで、実際のトレーニング現場で表現される「硬いばねを有するタイプ」および「柔らかいばねを有するタイプ」との関連を明らかにすることができると考えられ、競技者個人の特徴を活かしたトレーニングを選択する際の知見となることが期待されるため、今後の検討課題とす

る.

5. 要約

本研究の目的は、30cm の台上から跳び下り、接地時間を意識的に変化させながら高く跳ぶジャンプ運動を用いて個人のばね的特性を評価する方法について、個人のばね的特性を評価する方法の妥当性、信頼性、および実用性について検討することであった。

本研究において、以下の結果が得られた。

- 1) MCT-jump test における接地時間と跳躍高との関係は、逆Uの字を示した。
- 2) 最適接地時間からみた被験者の分布は正規分布していることが認められた。
- 3) MCT-jump test において判定された最適接地時間と re-test において判定された最適接地時間との間には有意な相関関係が認められた。
- 4) MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の接地時間との間には有意な相関関係は認められなかった。
- 5) 最適接地時間と最大跳躍高を指標にクラスター分析を行い、被験者を5つのタイプに分類することができた。

以上の結果から、本研究で開発した MCT-jump test は競技者のばね的特性を評価する新たな評価法として妥当であることが示唆された。

V. ばね的特性を評価する新たな方法の力学的な検討（研究課題1-2）

1. 目的

本研究課題では、本研究において開発した MCT-jump test におけるすべての試技における力学的な検討を行い、個人が最適接地時間を選択した理由を検討する。

研究課題1-1では、MCT-jump test に再現性が認められること、接地時間と跳躍高との関係は逆U字の関係を示すとの仮説が立証されたことを報告した。一方で、このテストの妥当性をさらに詳しく検証するためには、個人が最適接地時間を選択した理由を検討する必要がある。そこで、本研究課題では、力学的に詳細なデータを収集することで、その理由を検討することを目的とした。

これまでの研究において、RDJ において接地時間を短縮するためには、大きな質量や慣性モーメントを持つ身体部位である股関節を動員せずに、短時間に大きなパワーを発揮できる構造・機能特性を有する足関節の貢献を大きくする必要のあることが示されている(図子・高松, 1995; 図子ほか, 1998)。つまり、RDJ は足関節を中心としたジャンプ運動であり、股関節の貢献度が極めて小さいと言える。荻山ほか(2012)は、接地時間の長くなるジャンプ運動の背景には、足関節による負の仕事の貢献度が小さく、股関節による負および正の仕事の貢献度が大きくなることを示していることから、反対に、接地時間を短くすると、相対的に足関節の貢献度が大きくなり、股関節の貢献度が小さくなるものと推察される。しかし、個人内において台高を統一して、接地時間を変化させることで、このことを検証した研究は見当たらない。また、最適接地時間が短い者の、接地時間が長い試技における力学的特徴、および最適接地時間が長い者の、接地時間が短い試技における力学的特徴を把握することで、個人がなぜ最適接地時間を選択したのかを検証することができる。

さらに、**研究課題1-1**では、MCT-jump test の妥当性を検証するプロセスとして、従来の方法との比較を行ってきた。しかし、**研究課題1-1**では、文献研究において明らかにした従来方法の問題点、つまり脚 Stiffness が短縮局面を対象としておらず、ジャンプ運動全体におけるばね的特性を示すことができていないという問題点の解決に至っていない。

そこで**研究課題1-2**では、本研究において開発した MCT-jump test におけるすべての試技における力学的な検討を行い、個人が最適接地時間を選択した理由を検討するとともに、MCT-jump test における最適接地時間と脚 Stiffness との関係を検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属し短距離走、跳躍、混成競技を専門とする男性陸上競技者 13 名とした（身長： $1.75\pm 0.02\text{m}$ ；体重： $70.5\pm 5.4\text{kg}$ ）。また、実験に先立ち、研究の目的および実験に伴う安全性と危険性を書面にて十分に説明し、インフォームドコンセントを得た。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行われた（承認番号：体 28-131）。

(2) 実験試技

実験試技は、**研究課題1-1**と同様に MCT-jump test を行わせた。

また、試技は十分なウォーミングアップを行った後、トレーニングシューズを履かせて行わせた。なお、全てのジャンプ運動は試技の際に上肢の動作による影響を排除するため、手を腰に当てた状態で行わせ、試技間は疲労の影響を無くするために休息を十分にとらせた。

(3) 測定方法

測定は、2台のフォースプレートシステム（Kistler社製、9287C）上で行われた。このとき、地面反力を測定するため、サンプリング周波数は1000Hzとし各X、Y、Z方向の力をA/D変換ボードによってパーソナルコンピュータに取り込んだ。また、身体座標を測定するために赤外線カメラ10台（Vicon Motion Systems社製、ViconMX+、250Hz）を用いた。Viconシステムは、反射マーカを添付した身体計測点13点（ダミーマーカ1点を含む）の3次元座標データを250Hzのサンプリング周波数で収集した。また、図子ほか（2017）が用いているQuick Motion Analysis System（DKH社製）を用いた。これは、フォースプレートシステムとViconシステムを組み合わせ、下肢関節キネマティクスおよびキネティクスデータを計測し、リアルタイムで評価診断できる装置である。

(4) 算出項目

パフォーマンス変数について、鉛直地面反力（10Nを基準）から接地時間と滞空時間を算出した。跳躍高は、滞空時間と重力加速度の式に代入して算出した。また、跳躍高を接地時間で除すことで RDJ_{index} を算出した。

身体重心を、身体部分慣性係数を用いて算出した（阿江、1996）。関節仕事は、Quick Motion Analysis System内で負のトルクパワー、正のトルクパワーを時間積分することで負の仕事と正の仕事とした。貢献度は、それぞれの関節が発揮した絶対仕事を下肢三関節の総仕事で除した相対仕事として算出した。また、力学的なばねを示すために、脚Stiffnessを算出した。脚Stiffnessはジャンプ運動中の身体を身体重心と接地足を結んだ質量と線形のばねからなる質量-ばねモデルを用いて、以下の式より算出した。

$$\text{脚 Stiffness} = F_{\text{mean}} \cdot \Delta L^{-1}$$

ここで、 F_{mean} は、接地足の接地からばねモデルの最大短縮までにおける鉛直地面反力の平均値であり、 ΔL は、接地足の接地からばねモデルの短縮量である。したがって、脚 Stiffness は値が高いほど硬いばねを示している。なお、本研究では、最大 RDJ_{index} を示した試技の脚 Stiffness を算出している。

(5) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。各測定項目間の関係を検討するために、Pearson の積率相関係数を算出した。また、2 次回帰分析を行った。さらに、**研究課題 1-1** におけるクラスター分析について、**研究課題 1-2** の対象者も含めて再度クラスター分析を行った。なお、いずれの統計処理においても、有意性は危険率 5% 未満で判定した。

3. 結果

表 4 には、対象者それぞれの MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高を示した。また、対象者の最適接地時間は $0.55 \pm 0.17\text{s}$ 、最大跳躍高は $0.49 \pm 0.38\text{m}$ であった。

図 15 には、**研究課題 1-1** におけるクラスター分析の結果に、本研究課題の対象者を追加し再度クラスター分析を行なったものを示した。その結果、全てのタイプに本研究課題の対象者が分類された。

表 5 には、対象者それぞれの MCT-jump test における下肢関節貢献度を示した。また、対象者の負の関節貢献度は、足関節 $15.2 \pm 12.9\%$ 、膝関節 $41.0 \pm 8.4\%$ 、股関節 $43.8 \pm 13.7\%$ であり、正の関節貢献度は、足関節 $24.4 \pm 7.4\%$ 、膝関節 $29.7 \pm 7.4\%$ 、股関節 $45.9 \pm 10.4\%$ であった。

表4 MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高

対象者	最適接地時間(s)	最大跳躍高(m)
a	0.380	0.48
b	0.504	0.46
c	0.752	0.53
d	0.492	0.53
e	0.576	0.55
f	0.532	0.48
g	0.544	0.48
h	0.392	0.57
i	0.876	0.45
j	0.504	0.47
k	0.180	0.50
l	0.692	0.52
m	0.668	0.45
平均値	0.55	0.50
標準偏差	0.17	0.38

n=13

表6には、対象者それぞれのMCT-jump testにおける下肢関節仕事を示した。また、対象者の負の関節仕事は、足関節 $-0.46 \pm 0.23 \text{ J/kg}$ 、膝関節 $-1.34 \pm 0.33 \text{ J/kg}$ 、股関節 $-1.49 \pm 0.53 \text{ J/kg}$ であり、正の関節仕事は、足関節 $1.08 \pm 0.53 \text{ J/kg}$ 、膝関節 $1.34 \pm 0.33 \text{ J/kg}$ 、股関節 $2.11 \pm 0.63 \text{ J/kg}$ であった。

表7には、MCT-jump testにおける最適接地時間および最大跳躍高と負の下肢関節貢献度、正の下肢関節貢献度、負の関節仕事、および正の関節仕事との相関係数をそれぞれ示した。その結果、MCT-jump testにおける最適接地時間と負の足関節貢献度 ($r=-0.54; p<0.05$)、負の股関節貢献度 ($r=-0.60; p<0.05$)、正の足関節貢献度 ($r=-0.64; p<0.05$)、正の股関節貢献度 ($r=-0.65; p<0.05$) との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。また、MCT-jump testにおける最適接地時間と負の股関節仕事 ($r=-0.65; p<0.05$)、正の足関節仕事 ($r=-0.53; p<0.05$)、正の股関節仕事 ($r=-0.57; p<0.05$) との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。一方、MCT-jump testにおける最大跳躍高との間には全ての変数において有意な相関関係は認められなかった。なお、図16、図17、図18、図19にはそれぞれ有意な相関関係が認められた項目について示したが、単回帰式と比較して2次回帰式の決定係数が高かったことから、2次の回帰曲線を示した。

図20、図21、図22には、競技者k、競技者d、競技者1のMCT-jump testにおける関節貢献度および関節仕事の接地時間ごとの個人内変化を示した。図23には、MCT-jump testにおける最適接地時間と最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ 時の脚Stiffnessとの関係を示した。MCT-jump testにおける最適接地時間と最大 $\text{RDJ}_{\text{index}}$ 時の脚Stiffnessとの間には有意な相関関係は認められなかった。

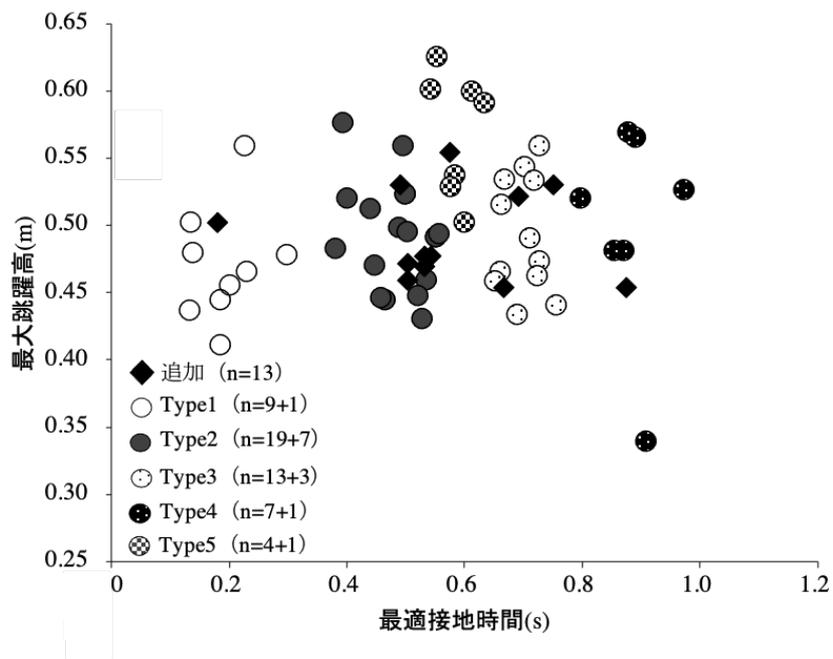


図15. MCT-jump testにおける最適接地時間と最大跳躍高を指標としたタイプ分け

表5 MCT-jump test における下肢関節貢献度

対象者	関節貢献度_負			関節貢献度_正		
	足関節(%)	膝関節(%)	股関節(%)	足関節(%)	膝関節(%)	股関節(%)
a	14.2	65.6	20.2	21.8	52.7	25.6
b	10.4	30.5	59.1	23.2	21.2	55.7
c	12.2	37.1	50.8	20.6	26.2	53.2
d	3.8	43.1	53.1	25.3	28.6	46.2
e	7.3	44.7	48.0	16.9	32.6	50.5
f	11.4	42.0	46.6	23.1	28.0	49.0
g	9.1	42.3	48.7	24.4	25.4	50.3
h	15.9	44.8	39.5	25.9	29.7	44.5
i	18.8	40.1	41.0	25.2	31.6	43.2
j	14.9	33.1	52.2	23.5	26.1	50.5
k	57.9	33.6	8.6	48.3	31.2	20.5
l	12.4	40.3	47.4	16.9	30.5	52.6
m	9.9	36.2	54.0	22.9	22.7	54.5
平均値	15.2	41.0	43.8	24.4	29.7	45.9
標準偏差	12.9	8.4	13.7	7.4	7.4	10.4

n=13

表6 MCT-jump test における下肢関節仕事

対象者	関節仕事_負			関節仕事_正		
	足関節(J/kg)	膝関節(J/kg)	股関節(J/kg)	足関節(J/kg)	膝関節(J/kg)	股関節(J/kg)
a	-0.39	-1.77	-0.55	0.79	1.90	0.92
b	-0.31	-0.92	-1.79	0.96	0.87	2.30
c	-0.40	-1.23	-1.68	0.95	1.21	2.46
d	-0.13	-1.47	-1.79	1.09	1.23	1.99
e	-0.31	-1.73	-1.95	0.95	1.84	2.86
f	-0.40	-1.50	-1.63	1.04	1.25	2.20
g	-0.32	-1.34	-1.60	1.00	1.03	2.08
h	-0.49	-1.34	-1.19	1.28	1.46	2.19
i	-0.70	-1.48	-1.50	1.14	1.43	1.96
j	-0.48	-1.06	-1.72	0.99	1.10	2.12
k	-1.12	-0.66	-0.18	1.92	1.24	0.81
l	-0.56	-1.82	-2.15	1.04	1.89	3.26
m	-0.39	-1.15	-1.67	0.97	0.97	2.33
平均値	-0.46	-1.34	-1.49	1.08	1.34	2.11
標準偏差	0.23	0.33	0.53	0.26	0.33	0.63

n=13

表7 MCT-jump test における最適接地時間および最大跳躍高と下肢関節貢献度および下肢関節仕事との相関係数

	関節貢献度_負			関節貢献度_正			関節仕事_負			関節仕事_正		
	足関節	膝関節	股関節	足関節	膝関節	股関節	足関節	膝関節	股関節	足関節	膝関節	股関節
最適接地時間	-0.54 *	-0.16	0.60 *	-0.64 *	-0.27	0.65 *	0.28	-0.32	-0.65 *	-0.53 *	-0.01	0.57 *
最大跳躍高	-0.05	0.20	-0.08	-0.09	0.13	-0.03	0.08	-0.30	-0.06	0.22	0.45	0.28

* : p<0.05

n=13

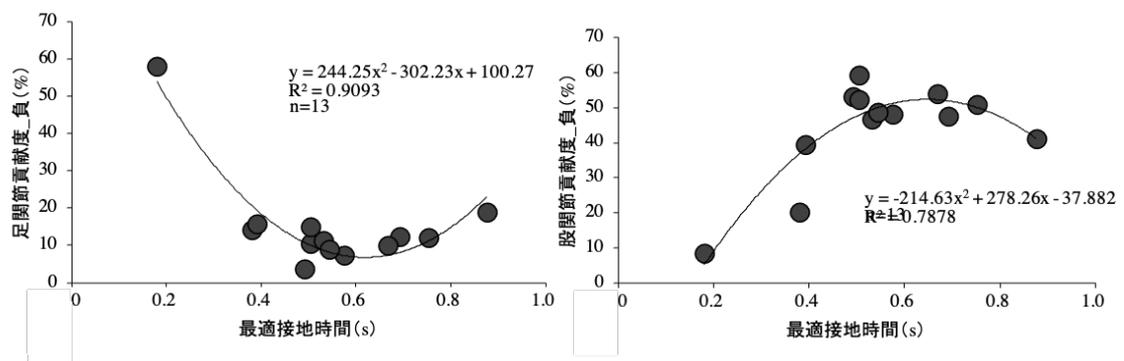


図 16. MCT-jump test における最適接地時間と負の足関節および股関節貢献度との関係

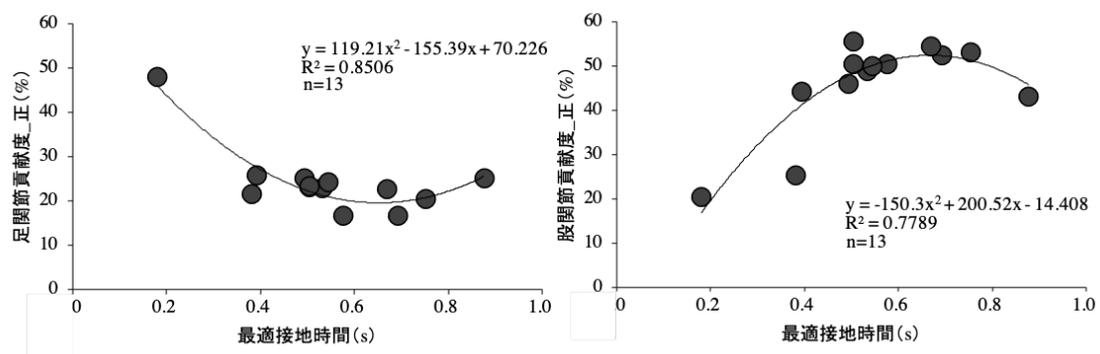


図 17. MCT-jump test における最適接地時間と正の足関節および股関節貢献度との関係

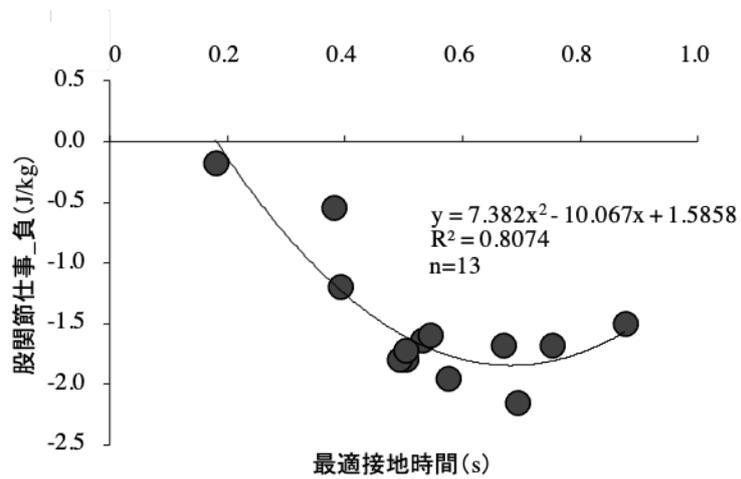


図 18. MCT-jump test における最適接地時間と負の股関節仕事との関係

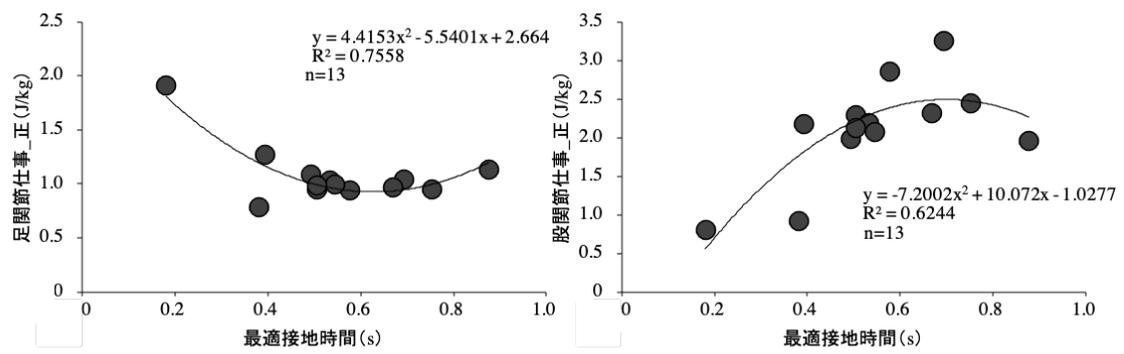


図 19. MCT-jump test における最適接地時間と正の足関節および股関節仕事との関係

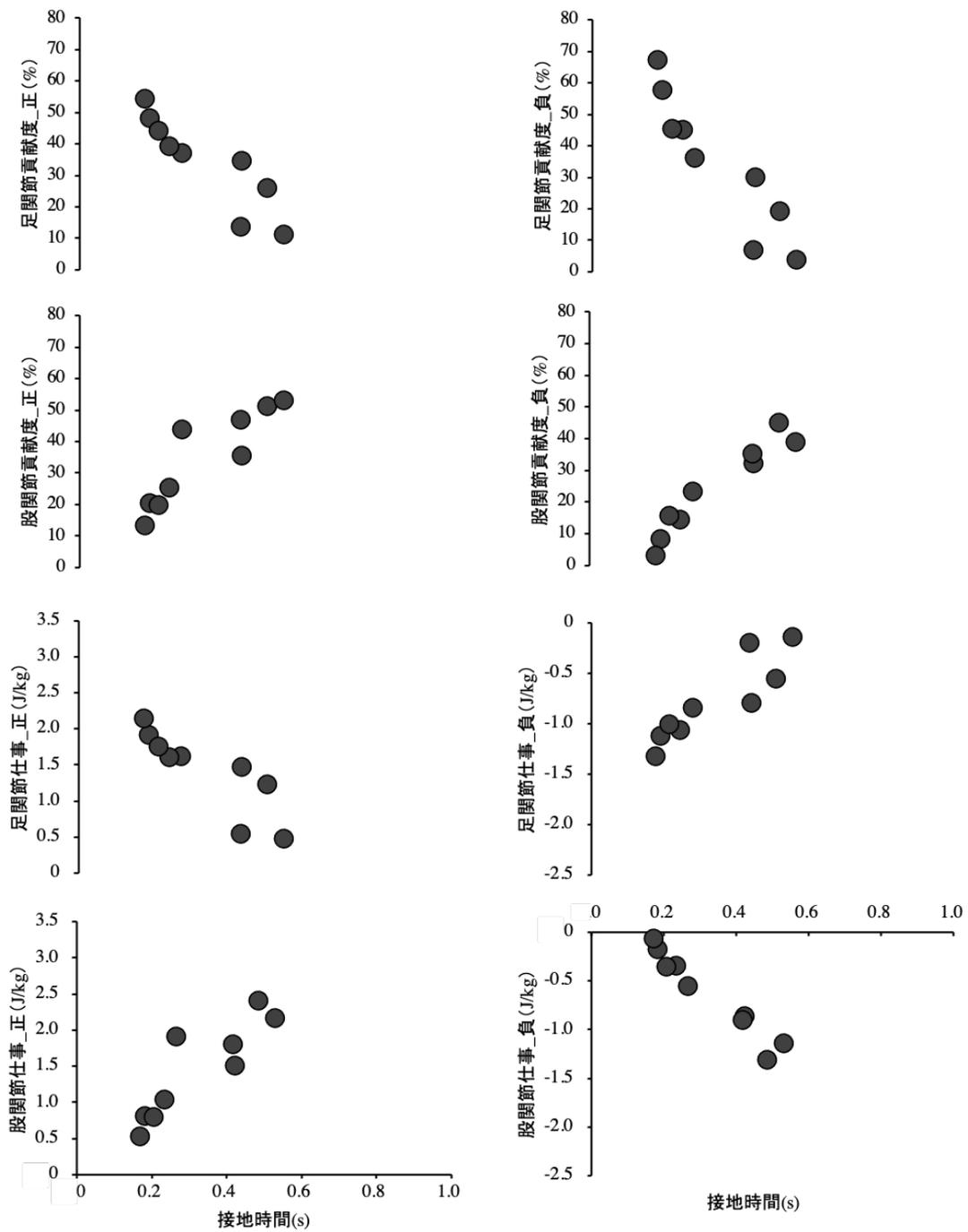


図 20. 対象者 k の最適反動動作時間と関節貢献度および関節仕事の変化

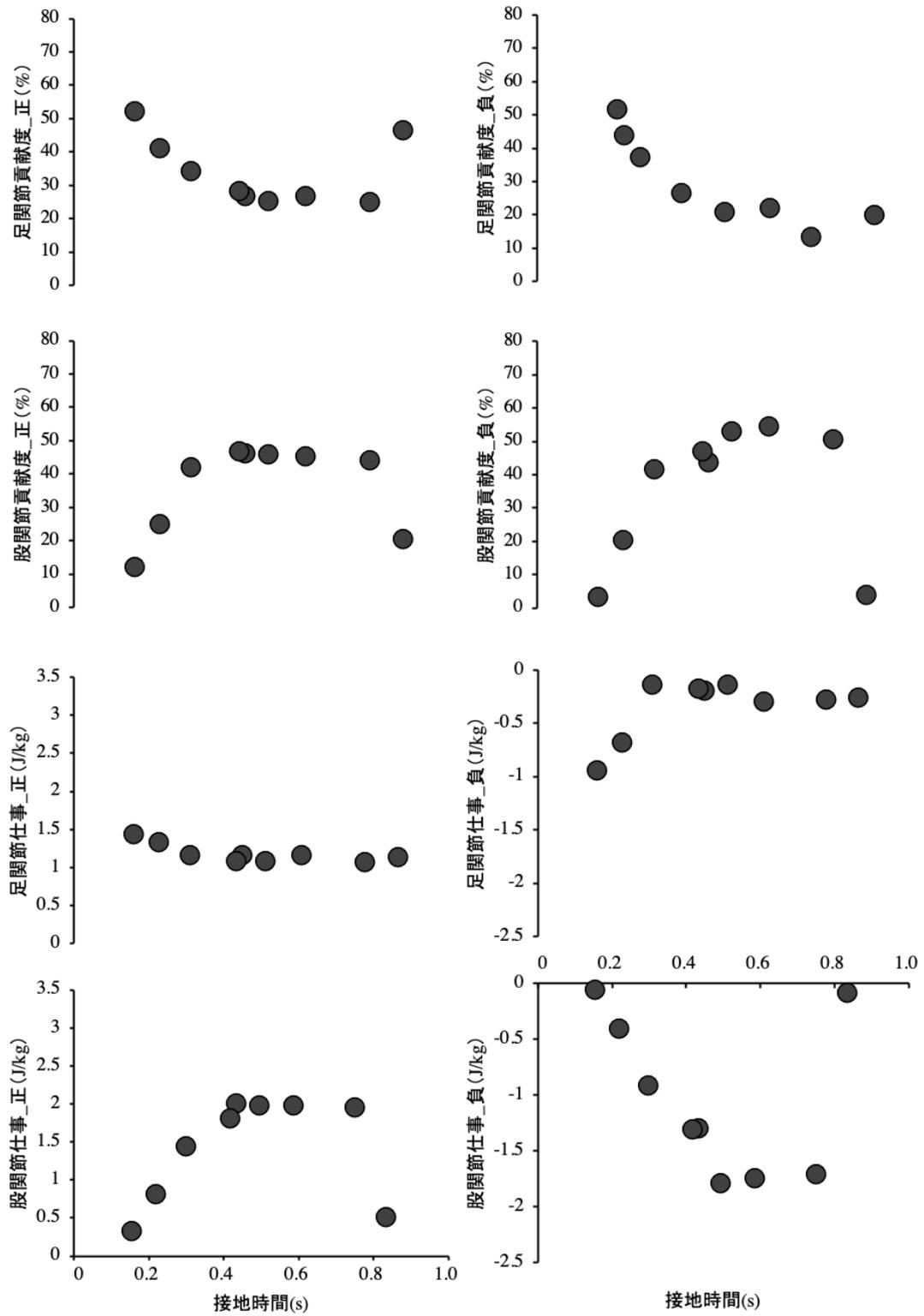


図 21. 対象者 d の最適反動動作時間と関節貢献度および関節仕事の変化

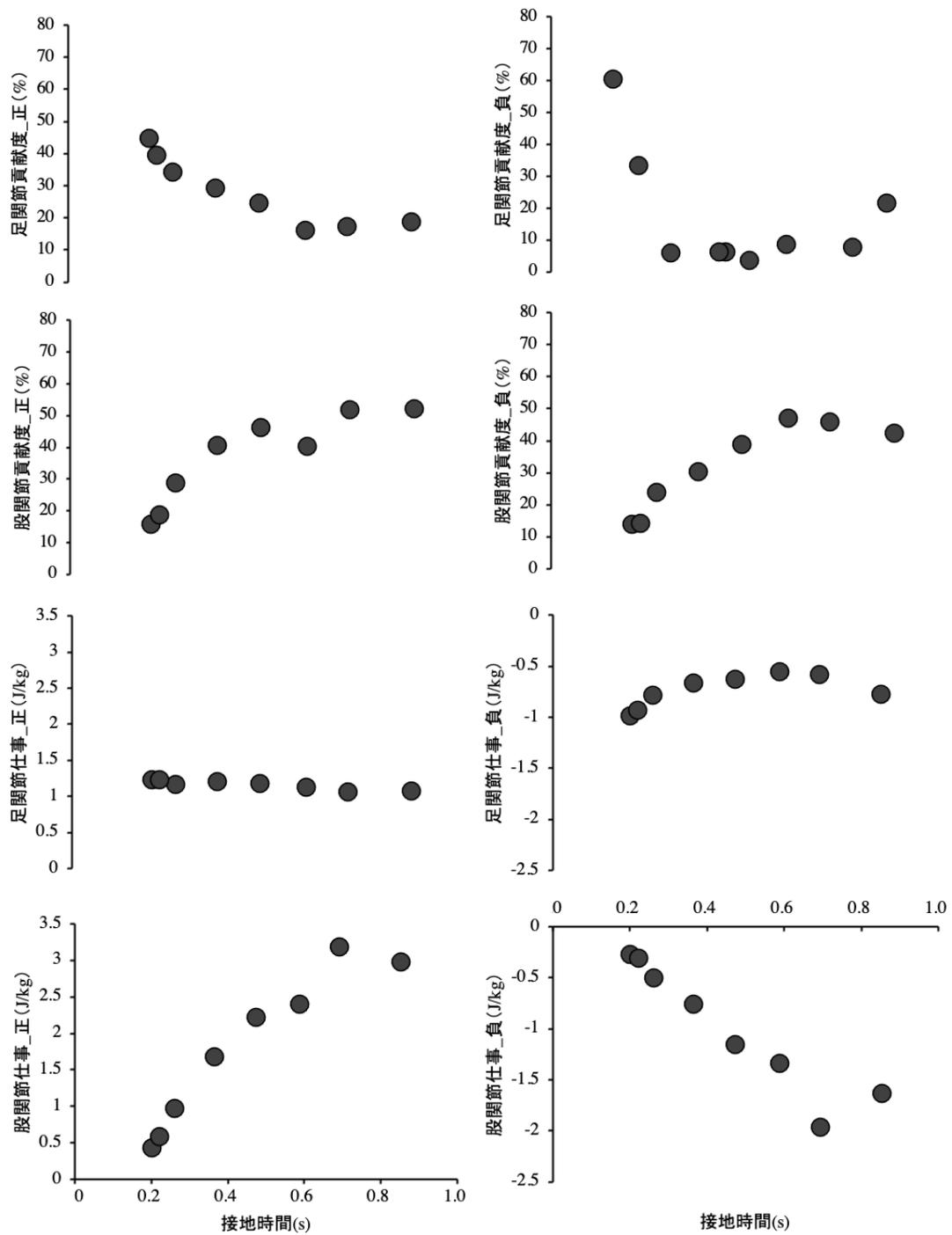


図 22. 対象者 1 の最適反動動作時間と関節貢献度および関節仕事の変化

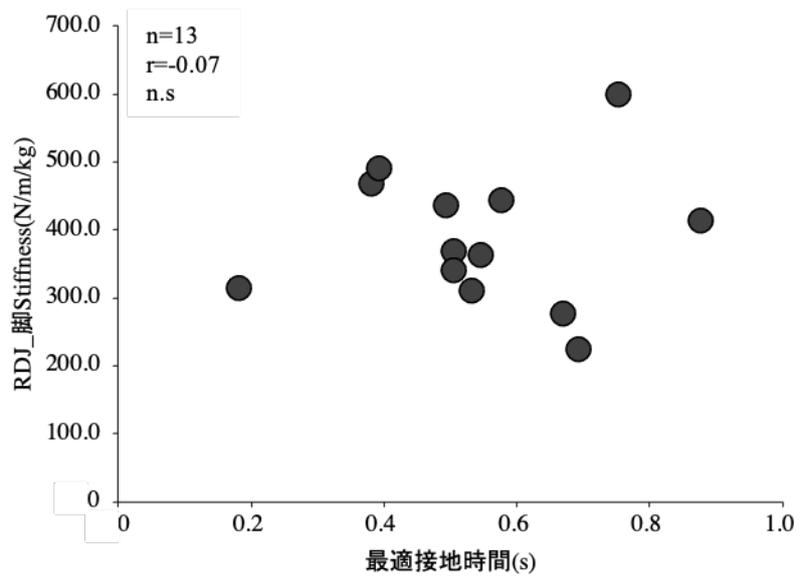


図 23. MCT-jump test における最適接地時間と RDJ の脚 Stiffness との関係

4. 考察

本研究の目的は、MCT-jump test における最適接地時間の力学的要因を検討し、最適接地時間と RDJ 時の脚 Stiffness との関係を検討することであった。

鉛直方向へのジャンプ運動を運動遂行時間に着目して分類すると、反動を用いないスクワットジャンプ、比較的長い運動時間（約 0.5~1.0 秒）で行われる垂直跳（CMJ）と、比較的短い運動時間（0.2 秒未満）で行われるリバウンドドロップジャンプ（RDJ）に分類されている（高松, 1989 ; Bobbert et al., 1986 ; 図子ほか, 1993）。これらのジャンプ運動は、下肢関節角度の変化パターンが異なることや、下肢関節の貢献度が異なることも報告されている（Bobbert et al., 1987 ; Fukashiro and Komi, 1987 ; 図子・高松, 1995 ; 森長ほか, 2010）。Bobbert et al (1986) は、CMJ と RDJ における下肢関節の貢献度を検討し、CMJ では、股関節 39%、膝関節 32%、足関節 29%であり、RDJ では、股関節 7%、膝関節 34%、足関節 49%であったことを報告している。このように、CMJ では顕著に股関節の貢献度が高く、RDJ では顕著に足関節の貢献度が高いことが明らかとなっている。本研究の MCT-jump test における最適接地時間の平均値は 0.55 秒であり（表 4）、先行研究の示している CMJ と同様の運動遂行時間であった。そして、MCT-jump test における最適接地時間の関節貢献度は股関節、膝関節、足関節の順に高く（表 5）、関節仕事および貢献度からみて CMJ に近い試技であったことが示された。なお、MCT-jump test における最適接地時間と下肢関節貢献度との関係を検討したところ、MCT-jump test における最適接地時間と足関節および股関節の貢献度との間に有意な相関関係が認められた（表 7）。このことは、MCT-jump test における最適接地時間が短い者では股関節と比較して足関節の貢献が大きくなり、反対に、最適接地時間が長い競技者では足関節と比較して股関節の貢献が大きくなること示された。したがって、最も高く跳ぶことのできる接地時間は個人によって大きく異なり、最も高く跳ぶための関節仕事および

貢献度のバランスも、個人によって大きく異なる可能性が示唆された。

一方、図 16, 図 17, 図 18, 図 19 には、MCT-jump test における最適接地時間と関節貢献度および関節仕事との間に相関関係が認められたものを示し、これらの 2 次の曲線回帰を示したところ、その波形は U 字または逆 U 字を示している。両者の間には、相関関係が認められている一方で、最適接地時間がある一定の長さ以上となった場合、足関節の正負の貢献度は増加し、股関節の正負の貢献度は減少する傾向が認められた。この傾向は、股関節および足関節の仕事においても認められた。接地時間が長くなることで反動の効果が薄れ、筋の張力が低下する可能性があり、最適接地時間が長い競技者は、股関節の正負の仕事および貢献度が低下することは理解できる。一方、股関節とは逆に、足関節の正の仕事では、最適接地時間の短い競技者から最適接地時間約 0.6 秒の長い競技者までは仕事が減少する傾向が認められ、その後さらに最適接地時間が長い者では、増加に転じているとみることできる。これは、股関節で大きな仕事を発揮することができなかつたために、このような傾向になったものと考えられる。

ただ、この関係は、個人間の関係を示したものであって、個人内で接地時間を変化させる場合にも、U 字または逆 U 字の関係が認められるか否かについて検討する必要がある。研究課題 1-1 におけるタイプ分けに、研究課題 1-2 の対象者も含めてクラスター分析を行ったところ、研究課題 1-2 の対象者はそれぞれ Type1 (n=1), Type2 (n=7), Type3 (n=3), Type4 (n=1), Type5 (n=1) に分類された。そこで、最適接地時間 0.180s であり Type1 に属している k 競技者 (図 20), 最適接地時間 0.492s であり Type2 に属している d 競技者 (図 21), 最適接地時間 0.692s であり Type3 に属している l 競技者 (図 22) の個人内における接地時間変化に伴う各関節の仕事および貢献度の変化を検討した。個人間においてみられた傾向と同様に、いずれの被験者も接地時間が短くなるにつれて、足関節の正負の仕事お

よび貢献度が増加し、逆に接地時間が長くなるにつれ、股関節の正負の仕事および貢献度が増加する傾向が認められた。このことから、最も高く跳ぶことのできる試技は、足関節と股関節とがトレードオフする関係の中で、総仕事を大きくすることのできる最適なバランスを選択していることが示唆された。なお、最適接地時間が本研究の被験者の中で最も短かった k 競技者と、平均的な d 競技者および最適接地時間の長い l 競技者とを比較すると、k 競技者の最適接地時間となった接地時間 0.2 秒弱での試技における足関節の正の仕事が約 2.5j/kg であったのに対して、d 競技者と l 競技者における接地時間 0.2 秒弱での試技における足関節の正の仕事は 1.5j/kg および 1.25j/kg 程度の値であった。このように、股関節の正の仕事の最大値と同程度の仕事を、極めて短い接地時間において足関節で発揮することのできる競技者は、最適接地時間が短く、そうでない競技者は、最適接地時間が長い、つまり股関節の正の仕事が最大となる接地時間を選択している可能性が示唆された。

本研究では、ばね的特性の評価を試みた従来の方法の問題点として、脚 Stiffness では伸長局面のみを対象としていて、短縮局面を評価できていないことを挙げた。そこで、本研究課題では、MCT-jump test によって評価されたばね的特性と力学的なばね特性を示す脚 Stiffness との関係を検討した。脚 Stiffness については、接地時間が短くなるほど増大することが報告されている (Arampatzis et al., 2001)。そのため、脚 Stiffness の高い競技者ほど膝関節の貢献が少なく、足関節の貢献が大きいと言える。その結果、最も高い RDJ_{index} を示した試技における脚 Stiffness と MCT-jump test における最適接地時間との間には有意な相関関係は認められなかった (図 23)。したがって、ジャンプ運動における脚の動作を機械的なばねと見立てて評価した指標と、可能な限り高く跳ぶために選択するばね的特性とは共変関係がなく、言い換えると脚 Stiffness は、可能な限り高く跳ぶために個人が選択する沈み込みの量や、短縮局面の力発揮時間を反映していないことが示唆された。これらのことから、本研究において開発

した MCT-jump test は、脚 Stiffness と比較しても、可能な限り高いパフォーマンスを発揮するという実際のスポーツ場面に見られる状況におけるばね的特性の硬い、柔らかいを評価する方法として妥当であることを示唆している。

5. 要約

本研究の目的は、本研究において開発した MCT-jump test におけるすべての試技における力学的な検討を行い、個人が最適接地時間を選択した理由を検討するとともに、MCT-jump test における最適接地時間と脚 Stiffness との関係を検討することとした。

本研究で得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) MCT-jump test における最適接地時間と足関節および股関節の貢献度との間に有意な相関関係が認められた。
- 2) 股関節の正の仕事の最大値と同程度の仕事を、極めて短い接地時間において足関節で発揮することのできる競技者は、最適接地時間が短いことが示された。また、極めて短い接地時間において足関節で大きな仕事を発揮することのできない競技者は、股関節の正の仕事が最大となる接地時間を選択している可能性が示唆された。
- 3) MCT-jump test における最適接地時間と最大 RDJ_{index} 時の脚 Stiffness との間に有意な相関関係は認められなかった。

以上のことから、MCT-jump test における最適接地時間が短い競技者は足関節の貢献が高く、最適接地時間の長い競技者は股関節の貢献が高いことが示唆された。また、脚 Stiffness を用いて評価された

ばね特性と、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とは異なる競技者の特性を評価していることが示唆された。

VI. MCT-jump test におけるばね的特性とスプリント走の接地時間との関係 (研究課題2)

1. 目的

多くのスポーツ種目におけるトレーニング現場では、「硬いばねを有するタイプ」あるいは「柔らかいばねを有するタイプ」と競技者のばね特性が表現されている。そして、指導者や競技者がばね特性を評価する場合、ジャンプ運動における踏切時間および滞空時間の2つの要因を手掛かりに、主観的・印象的・総合的に評価しているとされている(図子・高松, 1996)。つまり、指導者や競技者はトレーニング現場において、見た目のばね特性を直感的に判断していることが推察される。このような競技者のばね特性を客観的に示すことができれば、技術トレーニングや体力トレーニングを行う際の手がかりとなることが予想され、その内容を決定する際の一つの指標となることも指摘されている(梶谷ほか, 2018)。例えば、走高跳において習得すべき技術を選択する際に、Ritzdorf (2009) は競技者の“reactive strength”を評価し、その際の踏切時間の長短に応じて走高跳の踏切技術を選択することを提案している。つまり、これは「硬いばねを有するタイプ」であるか、あるいは「柔らかいばねを有するタイプ」であるかによって、選択する踏切技術が異なることを示唆するものである。そして、これらのタイプを検討する方法として、“RDJ_{index}”などの比較的簡便な運動系テスト指標を利用していくことも推奨されている(渡辺・守田, 2012)。また近年では、リバウンドドロップジャンプ(RDJ)やリバウンドジャンプ(RJ)を用いて“RDJ_{index}”および“RJ_{index}”を算出し、スプリント走のパフォーマンスや疾走動作との関連が検討されている(Nagahara et al., 2014 ; Kariyama and Zushi, 2016)。この背景には、スプリント走は短時間で力発揮が要求される運動であり、“RDJ_{index}”および“RJ_{index}”は短時間で力発揮の評価指標であることが挙げられる。しかしながら、梶谷ほか(2018)は“RDJ_{index}”を用いて競技者の

ばね特性を評価することの問題点を指摘していることや、股関節が主動関節となるスプリント走を RDJ のような足関節中心の運動で評価するには注意が必要であることも指摘されている (深代, 2017)。

一方、スプリント走においてもばね特性を評価することが試みられており、主に地面に加えた力を身体重心の変位で除した値で算出される脚 Stiffness を用いて評価されている。スプリント走における脚 Stiffness の変化を検討した研究を概観すると、加速能力に優れた競技者はスタート後 30–60m において脚 Stiffness の増加が著しいことや (Bret et al., 2002)、疾走速度の高い競技者は脚 Stiffness が高く、これによりピッチが高いことも報告されている (Monte et al., 2016)。一方、加速局面では疾走速度の増加に伴って脚 Stiffness が減少することや (土江ほか, 2005)、ある世界一流スプリンターは脚 Stiffness が低く、接地時間が長いことでストライドが大きいと報告されている (Taylor et al., 2012)。このように、スプリンターのばねの硬さを把握することは、競技者、コーチおよび研究者の興味関心を集めていると言える。

しかしながら、上述した脚 Stiffness は伸張局面のみを対象として機械的にばねが硬いか柔らかいかを評価しており、ばね特性を適切に評価できているとは言い難い。関子 (2005) は、スポーツ競技者が有するばね特性について“spring like behavior in human”と表現しており、部分的な筋や腱の持つ特性が総合的に反映されて、最終的にスポーツ運動における“spring like behavior”が表出することを指摘している。つまり、Stiffness のみでスポーツ競技者のばね特性を評価することは適切ではないことが考えられる。したがって、競技者のばね特性を適切に把握するためには、Stiffness で評価することに加えて、短縮局面も評価の対象となる指標を用いる必要がある。これに関して、梶谷ほか (2018) は、ジャンプ運動を用いた新たなテストを提案している。このテストは、30cm の台上から跳び降り、接地時間を 0.1 秒–1.0 秒程度の間で意識的に変化させて 15 回から 20 回程度のジャンプを行わせ、最大跳躍高を發揮

した試技の接地時間の長短から競技者のばね的な特性（以下「ばね的特性」と略す）を評価している。

しかし、これまでに、梶谷ほか（2018）が提案しているジャンプテストによって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との関係は検討されていない。もし、両者の間に相関関係が認められなければ、そもそもスプリンターのばね的特性を把握する必要などなく、一方、両者の間に相関関係が認められれば、ばね的特性に応じて選択する疾走動作のタイプ、つまり、ピッチ型の疾走動作あるいはストライド型の疾走動作のどちらを選択すべきかなどの手掛かりとなることも考えられる。したがって、ばね的特性を把握することは、スプリンターのトレーニングを立案する際に有益な知見となることが考えられる。

以上のことから、本研究では梶谷ほか（2018）が提案しているテストによって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との関係を検討することを目的とした。

2. 方法

(1) 対象者

対象者は、大学陸上競技部に所属し100m走を専門とする男性陸上競技者13名であった（表8）。実験に先立ち、研究の目的および実験に伴う安全性と危険性を書面にて十分に説明し、インフォームドコンセントを得た。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得て行なわれた。

(2) 実験試技

実験試技は、以下に示したスプリント走とMCT-jump testであった。

表8 被験者の身体特性とパフォーマンス

被験者	身長(m)	体重(kg)	専門種目	シーズンベスト(s)
1	0.173	68	100m	11.24
2	0.176	68	100m	11.20
3	0.171	61	100m	10.86
4	0.178	62	100m	10.96
5	0.164	55	100m	11.81
6	0.168	60	100m	11.61
7	0.174	60	100m	11.80
8	0.167	68	100m	11.21
9	0.165	60	100m	11.68
10	0.172	62	100m	11.51
11	0.167	67	100m	10.68
12	0.172	67	100m	11.40
13	0.165	58	100m	11.19
平均値	0.170	62.8		11.16
標準偏差	0.004	4.2		0.33

1) スプリント走

スプリント走は, Nagahara et al (2014) を参考にクラウチングスタートから 60m の全力疾走とした.

このとき, 対象者には実際の 100m 走のレースを想定して走ることを口頭で指示した. なお, 実験試技におけるスプリント走は, 試合期の測定であったため対象者への負担等を考慮し, 100m 走ではなく 60m 走を用いた.

2) MCT-jump test

MCT-jump test は, 最も高く跳ぶための接地時間を判定するためのテストであった. 30cm の台上から跳び下りた後, 再び跳び上がるジャンプ運動を 15-20 回程度繰り返して行わせた. このとき, 極めて短い接地時間で高く跳ぶことを意識させた試技 (以下「リバウンドドロップジャンプ (RDJ)」と略す) から, 比較的長い接地時間で高く跳ぶことを意識させた試技, そして完全に停止してから跳び上がる試技まで, 接地時間を意識的に変化させて試技を行わせた. また, 接地時間 (0.1 秒-1.0 秒) はおおよそ 0.1 秒単位で変化させてジャンプを行わせた. さらに, 順序効果を排除するため, 接地時間の順序は無作為に行った. いずれの接地時間におけるジャンプもできる限り高く跳ぶことを口頭で指示して行わせたが, RDJ のみ, できる限り短い接地時間で高く跳ぶことを指示した. なお, 試技の際に上肢の影響を排除するため, 手を腰に当てた状態で行わせ, 試技間は疲労の影響を無くするため休息を十分にとらせた.

(3) データ収集およびデータ分析

1) スプリント走

スプリント走は、対象者の側方から高速度ビデオカメラ（CASIO 社製, EX-F1）を用いて、毎秒 300 フレーム、露出時間 1/2000 秒で撮影した。本研究では、100m 走の疾走局面を区分した研究に基づき（金高ほか, 2005）、5-15m 地点を加速局面とし、45-55 地点を最大疾走局面とした。そのため、10m 地点および 50m 地点に高速度ビデオカメラを設置し、撮影した。撮影されたビデオ画像をコンピュータに取り込み、Frame Dias For Windows（ディケイエイチ社製）を用いて、毎秒 150 フレームで全身 23 点と走路の両側に 1m 間隔で設置した較正マーク 4 点の 2 次元座標を読み取った。分析は右足接地瞬間の 5 コマ前から、再び右足が接地する瞬間の 5 コマ後までの 1 サイクル（2 歩）に渡って行った。画像から読み取った身体各部の座標は較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数を Wells and Winter（1980）の方法にもとづいて決定し（6.0-10.5Hz）、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて平滑化した。

2) MCT-jump test

MCT-jump test は、マットスイッチ（マルチジャンプテスタ, ディケイエイチ社製）上で行わせ、接地時間および滞空時間を測定した。MCT-jump test は、接地時間をおおよそ 0.1 秒単位で変化させるため、被験者および験者が 1 回の試技ごとに接地時間を確認できるように、接地時間と跳躍高の関係図を示した。その際、プロジェクターを用いてスクリーン上に投影し、関係図を提示した。

(4) 算出項目

1) スプリント走

分析を行った 1 サイクル（2 歩）におけるつま先の水平移動距離を 2 等分したものをストライド、1

サイクルに要した時間を2等分したものの逆数をピッチとし、両者の積を疾走速度として算出した(羽田ほか, 2003)。また、接地時間は左右の足の接地から離地までの時間を2等分し、滞空時間は、左右の離地から接地までの時間を2等分することによって算出した。さらに、支持期における身体重心の水平移動距離(以下「支持期距離」と略す)、支持期における支持脚の膝関節最小角度(以下「支持脚膝関節最小角度」と略す)、および支持期における最低身体重心高を算出した。なお、支持期における最低身体重心高は、立位における身体重心高の比で示している。

2) MCT-jump test

マットスイッチから跳躍中の滞空時間(s)と接地時間(s)を求め、跳躍高(m)を以下の式によって算出した。

$$\text{跳躍高 (m)} = 1/8 \cdot g \cdot (\text{滞空時間})^2$$

また、“RDJ_{index}”(関子ほか, 1993)を以下の式によって算出した。これは、できる限り短い接地時間で高い跳躍高を獲得する能力を示す指標であり、RDJの評価指標である。

$$\text{RDJ}_{\text{index}} \text{ (m/s)} = (1/8 \cdot g \cdot \text{滞空時間}) / \text{接地時間}$$

本研究において、最大跳躍高を発揮した試技における接地時間を個人の接地時間の最適値(以下:「最適接地時間」と略す)とした。そして、ばね的特性は最適接地時間の長短を指標として評価した。

(5) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。各測定項目間の関係を検討するために、Pearsonの積率相関係数を算出した。また、MCT-jump testにおける最適接地時間と最大RDJ_{index}時の接地時間、

およびMCT-jump test における最大跳躍高と最大 RDJ_{index} 時の跳躍高を対応のある t 検定を用いて有意差を検定した。なお、いずれの統計処理においても、有意性は危険率 5%未満で判定した。

3. 結果

表 9 には、スプリント走における加速局面および最大疾走局面の疾走速度 ($7.67\pm 0.44\text{m/s}$, $9.59\pm 0.37\text{m/s}$), 接地時間 ($0.13\pm 0.008\text{s}$, $0.10\pm 0.004\text{s}$), 滞空時間 ($0.09\pm 0.009\text{s}$, $0.11\pm 0.006\text{s}$), 支持期距離 ($0.94\pm 0.07\text{m}$, $0.90\pm 0.06\text{m}$), 支持期膝関節最小角度 ($137.2\pm 6.48\text{deg}$, $141.0\pm 4.87\text{deg}$), および最低身体重心高 ($53.9\pm 0.55\%$, $50.3\pm 1.19\%$) の平均値 \pm 標準偏差を示した。

表 10 には、MCT-jump test における最適接地時間 ($0.50\pm 0.24\text{s}$), 最大跳躍高 ($0.53\pm 0.07\text{m}$), 最大 RDJ_{index} ($2.76\pm 0.41\text{m/s}$) およびそのときの接地時間 ($0.16\pm 0.03\text{s}$) と跳躍高 ($0.43\pm 0.05\text{m}$) の平均値 \pm 標準偏差を示した。なお、MCT-jump test における最適接地時間は最大 RDJ_{index} 時の接地時間と比較して有意に長く ($t=5.34$; $p<0.05$), MCT-jump test における最大跳躍高は最大 RDJ_{index} 時の跳躍高と比較して有意に高い値 ($t=4.72$; $p<0.05$) を示した。

表 11 には、最大 RDJ_{index} 時における接地時間とスプリント走の加速局面および最大速度局面の疾走速度および接地時間との相関係数を示した。最大 RDJ_{index} 時における接地時間と加速局面の疾走速度 ($r=0.230$, n.s.), および最大速度局面の疾走速度 ($r=0.312$, n.s.) との間には有意な相関関係は認められなかった。最大 RDJ_{index} 時における接地時間と加速局面の接地時間 ($r=0.434$, n.s.), および最大速度局面の接地時間 ($r=0.093$, n.s.) との間には有意な相関関係は認められなかった。

表 12 には、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の加速局面および最大速度局面の疾走速度, 接地時間, 支持期距離, 支持期膝関節最小角度, および最低身体重心高との相関係数を示

した。MCT-jump test における接地時間と加速局面の疾走速度 ($r=0.107$, n.s.), および最大速度局面の疾走速度 ($r=0.232$, n.s.) との間には有意な相関関係は認められなかった。MCT-jump test における最適接地時間と加速局面の接地時間 ($r=0.643$, $p<0.05$), および最大速度局面の接地時間 ($r=0.793$, $p<0.05$) との間には有意な正の相関関係が認められた。MCT-jump test における最適接地時間と加速局面の支持期距離 ($r=0.608$, $p<0.05$), および最大速度局面の支持期距離 ($r=0.601$, $p<0.05$) との間には有意な正の相関関係が認められた。MCT-jump test における最適接地時間と加速局面の支持期膝関節最小角度 ($r=-0.734$, $p<0.05$) との間には有意な負の相関関係が認められた。一方, MCT-jump test における最適接地時間と最大速度局面の支持期膝関節最小角度 ($r=-0.204$, n.s.) との間には有意な相関関係は認められなかった。MCT-jump test における最適接地時間と加速局面の最低身体重心高 ($r=-0.600$, $p<0.05$), との間には有意な負の相関関係が認められた。

なお, 図 24, 図 25, 図 26, 図 27 には有意な相関関係が認められたものをそれぞれ示した。

表9 スプリント走における疾走速度, 接地時間, 滞空時間, 支持期距離, 支持期膝関節最小角度, および最低身体重心高

		平均値±標準偏差
加速局面	疾走速度(m/s)	7.67±0.44
	接地時間(s)	0.13±0.008
	滞空時間(s)	0.09±0.009
	支持期距離(m)	0.94±0.07
	支持期膝関節最小角度(deg)	137.2±6.48
	最低身体重心高(%)	53.9±0.55
最大速度局面	疾走速度(m/s)	9.59±0.37
	接地時間(s)	0.10±0.004
	滞空時間(s)	0.11±0.006
	支持期距離(m)	0.90±0.06
	支持期膝関節最小角度(deg)	141.0±4.87
	最低身体重心高(%)	50.3±1.19
		n=13

表 10 MCT-jump test における最適接地時間, 最大跳躍高, 最大 RDJ_{index} およびそのときの接地時間と跳躍高

		平均値±標準偏差
MCT-jump test	最適接地時間(s)	0.50±0.24*
	最大跳躍高(m)	0.53±0.07*
	最大RDJ _{index} (m/s)	2.76±0.41
	最大RDJ _{index} 時の接地時間(s)	0.16±0.03
	最大RDJ _{index} 時の跳躍高(m)	0.43±0.05

n=13

*最適接地時間と最大RDJ_{index}時の接地時間,
最大跳躍高と最大RDJ_{index}時の跳躍高との間に有意差が認められた : p<0.05

表 11 最大 RDJ_{index} 時の接地時間とスプリント走の疾走速度および接地時間との相関係数

		最大RDJ _{index}
		接地時間
加速局面	疾走速度	0.230
	接地時間	0.434
最大速度局面	疾走速度	0.312
	接地時間	0.093

n=13
* : p<0.05

表 12 MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の疾走速度, 接地時間, および接地時間に

影響する要因との相関係数

		MCT-jump test
		最適接地時間
加速局面	疾走速度	0.107
	接地時間	0.643*
	支持期距離	0.608*
	支持期膝関節最小角度	-0.734*
	最低身体重心高	-0.600*
最大速度局面	疾走速度	0.232
	接地時間	0.793*
	支持期距離	0.601*
	支持期膝関節最小角度	-0.204
	最低身体重心高	-0.631*

n=13
* : p<0.05

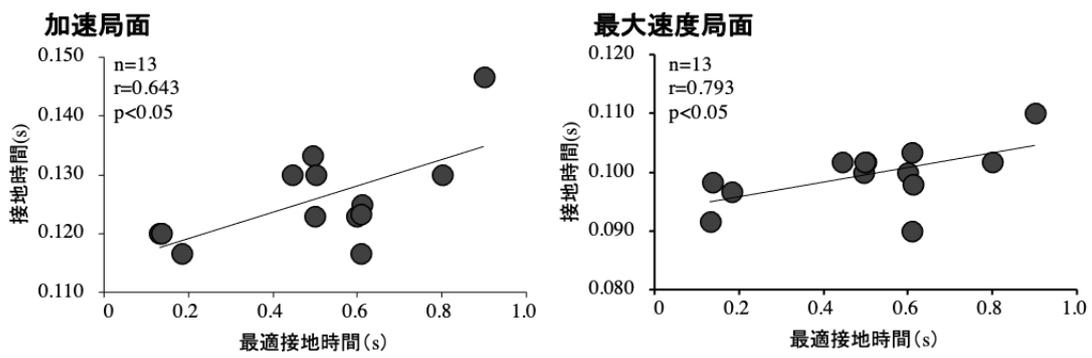


図24. MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間との関係

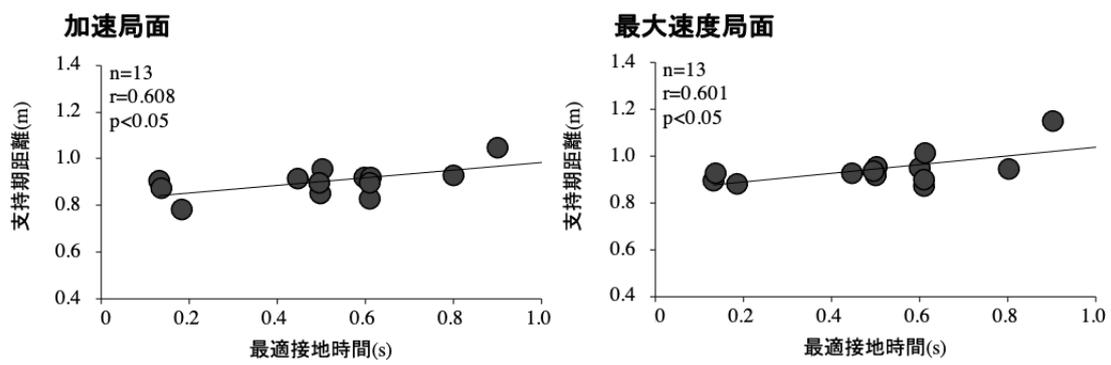


図25. MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の支持期距離との関係

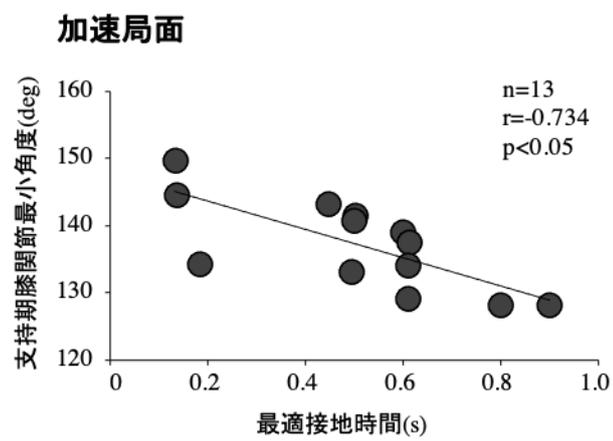


図 26. MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の支持期膝関節最小角度との関係

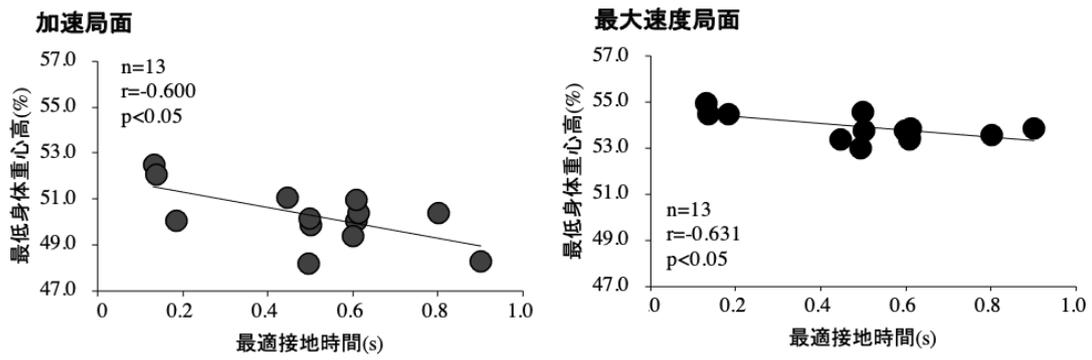


図 27. MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の最低身体重心高との関係

4. 考察

本研究では、競技者のばね的特性を評価する簡便な方法として、MCT-jump test と RDJ を用いてばね的特性を評価し、それぞれとスプリント走の疾走速度、接地時間、接地時間に影響する要因である支持期距離、支持期膝関節最小角度、および最低身体重心高との関係を検討した。

これまで指導現場では、スプリント走は短時間での力発揮能力がパフォーマンスに大きく影響することから (岩竹, 2017), スプリンターのトレーニングに力発揮時間の短いトレーニングを取り入れることも推奨されている (岩竹ほか, 2002)。また、スプリント走の接地時間 (約 0.1 秒-0.2 秒) と RDJ の接地時間 (約 0.2 秒以内) は類似しており (岩竹, 2017), スプリンターの力発揮能力は RDJ および RJ のようなバリスティックなジャンプ運動を用いて評価されてきた (Nagahara et al., 2014 ; Kariyama and Zushi, 2016)。しかし、これまで、スプリント走の接地時間とバリスティックなジャンプ運動の接地時間との間に有意な相関関係を認めた報告は見当たらない。そこで、本研究では、最大 RDJ_{index} 時の接地時間および MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間との関係を検討した。その結果、最大 RDJ_{index} 時の接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係は認められなかった。スプリント走における下肢の総仕事量からみた下肢関節それぞれの貢献度を検討した研究によれば、スプリント走は股関節の貢献が高い運動であること (羽田, 2008) が知られている。一方、各種ジャンプ運動における下肢の総仕事量からみた下肢関節それぞれの貢献度を検討した研究によれば、RDJ は相対的に足関節の貢献が大きいこと (Bobbet et al., 1986) が知られている。これらのことから、スプリント走と RDJ は関節の仕事量からみた特性は大きく異なると考えられる。深代 (2017) が股関節の貢献が大きいスプリント走を RDJ のような足関節の貢献が大きい運動によって評価する場合には注意が必要であると指摘していることも、このような理由によるものと推察される。したがって、

最大RDJ_{index}時の接地時間とスプリント走の接地時間との間には相関関係が認められなかったものと推察される。一方で、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係が認められた(表12および図23)。なお、MCT-jump testにおける最適接地時間の平均値は約0.50秒であり、スプリント走およびRDJの接地時間とは大きく異なる。これまで、RDJがスプリント走の接地時間と類似しているという理由で、スプリント走の力発揮特性を反映しているとされてきたことを考えると、平均値0.50秒であったMCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走の接地時間との間に有意な相関関係が認められたことは理解し難い。そこで、両者の間に有意な相関関係が認められた理由について、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走中の接地時間に影響する要因である支持期距離、支持期膝関節最小角度、および最低身体重心高との関係を検討することで明らかにすることを試みた。

まず、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走の支持期距離との関係を検討したところ、有意な相関関係が認められた(表12および図25)。スプリント走中の支持期距離は、支持期における脚セグメントの倒れ込みの大きさを反映している。したがって、深い沈み込みにおける力発揮を得意とする者は、MCT-jump testにおいても沈み込みを大きくすることで接地時間が長く、スプリント走の支持期においても支持期距離を長くしている可能性が示唆された。

次に、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走の支持期膝関節最小角度との関係を検討したところ、有意な相関関係が認められた(表12および図26)。膝関節は、大腿直筋や外側広筋などの大筋群がまたがる関節であり、下腿と大腿部からなる蝶番関節である。このような解剖学的な特徴から、ヒトの下肢中心の運動において身体重心の鉛直速度を獲得するうえで、大きな役割を果たしており、膝関節の屈伸動作は接地時間に影響するものと考えられる。したがって、深い沈み込みにおけ

る力発揮を得意とする者は、MCT-jump test においても沈み込みを大きくすることで最適接地時間が長く、スプリント走においても支持期の膝関節角度が深い可能性が示唆された。また、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の最低身体重心高との関係を検討したところ、有意な相関関係が認められた（表 12 および図 27）。このことから、MCT-jump test によって評価されたばね的特性は、スプリント走においてどれだけ沈み込みたいのかを評価する指標となることが考えられる。

これまで検討してきた MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間に影響する要因である支持期距離、および最低身体重心高の間には、加速局面においても最大速度局面においても有意な相関関係が認められた。しかし、スプリント走における支持期膝関節最小角度との関係は、加速局面においては有意な相関関係が認められた一方で、最大速度局面では有意な相関関係が認められなかった。先述の通り、膝関節はヒトの下肢中心の運動において身体重心の鉛直速度を獲得する上で、大きな役割を果たしており、加速局面では体幹を前傾させることによって、支持脚の膝関節伸展によって獲得された鉛直速度を推進方向の速度に変換している。一方で、最大速度局面では、体幹も直立し、膝関節の役割は加速局面のそれとは大きく異なる。Nagahara et al (2014) は、加速局面では、膝関節が屈曲した後に伸展し、最大速度局面と比較して接地時間が長いことを述べており、加速局面では最大速度局面と比較して支持期における膝関節筋群の発揮する力が大きいと言える。このようなことから、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走における支持期膝関節最小角度との間に、加速局面においては有意な相関関係が認められた一方で、最大速度局面では有意な相関関係は認められなかったものと推察される。

本研究では、最大 RDJ_{index} 時の接地時間および MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走における接地時間と接地時間に影響する要因である支持期距離、支持期膝関節最小角度、および最低

身体重心高との関連を検討した。その結果、上述してきたように、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係が認められたのに対して、最大 RDJ_{index} 時の接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係が認められなかった。したがって、MCT-jump test の最適接地時間から明らかにされるばね的特性は、従来の方法と比較してスプリント走の接地時間、つまり力発揮時間の特性を反映しており、スプリンターのばね的特性を評価する方法として有用である可能性が示唆された。このように、MCT-jump test を用いて、接地時間を様々に変化させて、最大跳躍高を発揮した接地時間からばね的特性を評価することで、個々人に応じたトレーニングを立案する際の手掛かりとなる可能性が考えられる。昨今の RDJ や RJ というバリスティックなジャンプ運動を用いて競技者のばね的特性を評価することが主流となっている現状では、そもそも深く沈み込むことが得意で、バリスティックなジャンプ運動における力・パワー発揮が苦手な競技者が存在した場合、その競技者の長所を評価しないままトレーニングを実施していることが考えられる。さらに、このような競技者に対して行われる助言やトレーニング指導は、接地時間を短くすることを中心に行われていることも予想され、個人のばね的特性に応じたトレーニングの構築には繋がらないことも考えられる。

本研究における被験者の 100m 走のシーズンベストは 11.16 ± 0.32 秒であり、MCT-jump test によって評価されたばね的特性は、被験者のパフォーマンスレベルに大きく影響されることが考えられる。谷川ほか (2010) は、短距離競技者を対象に最大疾走速度と最大 RJ_{index} との関係を検討し、100m 走の記録が高い競技者ほど関係性は低くなることを示唆している。したがって、ある一定以上のレベルの競技者を対象に最大 RDJ_{index} や最大 RJ_{index} を算出したとしても、実際のトレーニングに還元させていくことは困難であると考えられる。このことは、本研究の結果にも該当することが考えられる。つまり、

本研究で用いた短距離競技者よりも高いパフォーマンスレベルの競技者を対象とした場合には、本研究の結果が当てはまらないことも考えられる。

また、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間、接地時間に影響する要因である支持期距離、支持期膝関節最小角度、および最低身体重心高の関係を検討するだけでは、ばね的特性に応じた疾走動作タイプを示すことや、トレーニングの立案に向けた情報としては不十分である。そのため、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とスプリント走の疾走動作との関係を検討し、ばね的特性に応じた疾走動作タイプを示すことが今後の検討課題である。

5. 要約

本研究の目的は、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とスプリント走の接地時間との関係を明らかにすることであった。

本研究において、得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) 最大RDJ_{index}時の接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係は認められなかったのに対して、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間との間には有意な相関関係が認められた。
- 2) MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の支持期距離、支持期膝関節最小角度、および最低身体重心高との間には有意な相関関係が認められた。

以上の結果から、従来の方法と比較して、MCT-jump test はスプリント走の力発揮時間の特性を反映していることが示唆された。そして、MCT-jump test において沈み込みを大きくして最適接地時間が長

かった競技者は、スプリント走においても沈み込みを大きくし、脚セグメントを大きく倒して、接地時間を長くしていることが示唆された。

VII. 討論

1. MCT-jump test における最適接地時間の選択

本研究では、大学陸上競技部に所属し短距離走もしくは混成競技を専門とする男性陸上競技者 52 名を対象に、30cm の台上から跳び降りた後、再び跳び上がるジャンプ運動として MCT-jump test を行わせた。その結果、MCT-jump test における最適接地時間は、0.10–0.20 秒と極めて短い接地時間を選択する者や、0.90–1.00 秒と極めて長い接地時間を選択する者まで様々であった (図 7)。そして、最適接地時間の長短により、個人のばね的特性を評価することを試みたところ、**研究課題 1-1** では、跳躍高は同程度の 4 つのグループに分けることができたこと、**研究課題 1-2** では、足関節と股関節の仕事量または貢献度のバランスによって最適接地時間が異なり、足関節が股関節と同程度に出力できる者は最適接地時間が極めて短くなること、さらに**研究課題 2** では、最適接地時間とスプリント走における接地時間とは互いに影響を及ぼし合う関係にあることが示唆された。これらのことから、MCT-jump test は、陸上競技者のばね的特性を評価する方法として妥当であることが認められた。したがって、本節のタイトルにあるように、競技者は、個人に固有のばね的特性を有していて、ジャンプ運動においては最も筋出力を大きくできる接地時間、つまり沈み込みを選択していて、スプリント走においてはもっとも筋出力を大きくできる接地時間、つまり沈み込みを選択していた。これは、「意識的か、無意識的かに関わらず」である。そして、意識的であったとしても、無意識的であったとしても、本研究においては、最適接地時間の規定要因を明らかにすることはできなかった。そのため、本章では、これについて討論を進めたい。

個人に最適な接地時間、つまり沈み込みを規定する要因として、以下の点が考えられる。

- ① 筋の長さ-張力関係における至適長の個人差
- ② 自然長における筋の緩みの個人差
- ③ 極めて短い時間での足関節のパワー発揮能力
- ④ アキレス腱と腓腹筋の長さ比
- ⑤ 関節の解剖学的な制限

ここでは、特に「極めて短い時間での足関節のパワー発揮能力」について検討する。研究課題1-2において、最適接地時間が短い競技者は、その短い時間において足関節が大きな仕事をしていて、その値は、股関節の仕事が最大値を発揮した試技におけるそれと同程度であった。一方、最適接地時間が長い競技者は、短い接地時間での試技では足関節が大きな仕事をする事ができず、股関節の仕事が最大値を発揮した試技が最適接地時間となっている傾向が認められた。なお、足関節の仕事と接地時間との関係をグラフにプロットすると、マイナスの傾きの直線関係、もしくはU字の関係を示した。一方、股関節の仕事と接地時間との関係をグラフにプロットすると、両者の関係は逆U字を示すことが認められた。接地時間によって、股関節と足関節がこのようなバランスをとりながらジャンプ運動を遂行していることが考えられ、両者は相互補完的な関係にあると言える。そして、極めて短い接地時間でも、足関節が股関節と同程度の仕事をなす競技者では、最適接地時間が短く、極めて短い接地時間で足関節が十分な仕事ができない競技者では、股関節の仕事が最大値を示す接地時間が最適接地時間となるものと推察することができる。しかし、これは、30cmの台高を用いた本研究における特有の結果である可能性もある。それは、台高をより高くしてMCT-jump testを行わせた場合、足関節が着地の衝撃をエキセントリックな筋収縮によって受け止めることができない可能性が考えられ、これによって、極めて短い接地時間において足関節が股関節と同程度の仕事をなす競技者の分布は減ってい

くものと推察される。本研究では、主に短距離競技者の参加を得たが、今後他の種目、つまりより高い伸張負荷に耐えることが要求される種目、具体的には陸上競技跳躍競技者を対象として、MCT-jump test を実施する場合、台高をより高く設定する必要があるだろう。吉田ほか (2018) が、段階的に台高を高くしたドロップジャンプ (DJ) テストを行わせ、陸上競技跳躍競技者では、より高い台高において DJ_{index} が高い値を示す競技者が存在すると報告していることを考慮すると、競技者の種目特性に応じた台高の選択が必要になるものと考えられる。加えて、陸上競技の短距離競技者以外の様々な種目の競技者を対象に、それぞれの種目、またはポジションに応じたばね的特性を評価する試みも必要であろう。これによって、個人の特性に応じたテーラーメイド型の力・パワー発揮能力を高めるトレーニング手段の選択が可能になる。

一方で、本研究では、その有用性を示すことができなかったバリスティックな RDJ および RJ、さらにその評価指標である RDJ_{index} または RJ_{index} であるが、これまでのことを考慮すると、足関節周りの筋群の出力を高めることで、最適接地時間を短くすることができる可能性も否定できない。例えば、バリスティックな RDJ および RJ をトレーニング手段として取り入れて足関節周りの筋群の出力向上を目指し、同時に股関節回りの筋群の出力向上を目指すことで最適接地時間を短くしようとする試みは、トレーニングの方向性としてあり得ると考えられる。このような長期のトレーニング介入は、今後の検討課題である。

2. ばね的特性とパフォーマンスとの関係

以下に示す結果については、**研究課題 1-1** および**研究課題 2** において収集したデータから検討したが、MCT-jump test によって評価されたばね的特性の有用性を検討した本研究の目的とは合致しない

め、それぞれの研究課題の結果には掲載していない。しかし、MCT-jump test によって評価されたばね的特性をトレーニング現場でどのように活用していくのかを議論するために必要なデータであることから、それらの結果を踏まえて考察する。

研究課題 1-1 では、ばね的特性が競技者ごとで異なることを示し、MCT-jump test における最適接地時間と跳躍高を指標にクラスター分析によってタイプ分けを試みた。その結果、最適接地時間および跳躍高が異なる 5 つのタイプに分類された (図 14)。これら分類されたタイプにおいて、パフォーマンスについての関係も検討するために、全ての対象者の 100m 走タイムのシーズンベスト記録を算出し、タイプごとの比較を試みた (図 28)。分類された 5 つのタイプにおいて、一つのタイプを除いて、同程度の跳躍高を示し、同程度の跳躍高で最適接地時間の異なる 4 つのタイプに分類された。そして、タイプ間の 100m 走タイムのシーズンベスト記録を比較した結果、跳躍高の高かった一つのタイプのみ、有意に優れた 100m 走タイムのシーズンベスト記録を示し、同程度の跳躍高で最適接地時間の異なる 4 つのタイプ間では、有意な差は認められなかった。つまり、ばね的特性と 100m 走パフォーマンスとの関係について、柔らかいばねを有するタイプで、なおかつ高く跳ぶことのできる競技者がより優れたパフォーマンスを発揮していることを示している。しかし、本研究で跳躍高の高かったタイプ 4 に属する対象者は 4 名であり、有意差を検定するには対象者数が不十分であることも考えられる。

さらに、パフォーマンス変数には 100m 走タイムのシーズンベスト記録を用いているが、対象者には 100m 走を専門としていない競技者が含まれていることにも留意する必要がある。一方で、**研究課題 2** では、**研究課題 1-1** において 100m 走を専門としていた競技者 13 名を対象に、MCT-jump test における最大跳躍高とスプリント走における疾走速度との関係も検討した (図 29)。すると、両者の間には有意な相関関係が認められた。

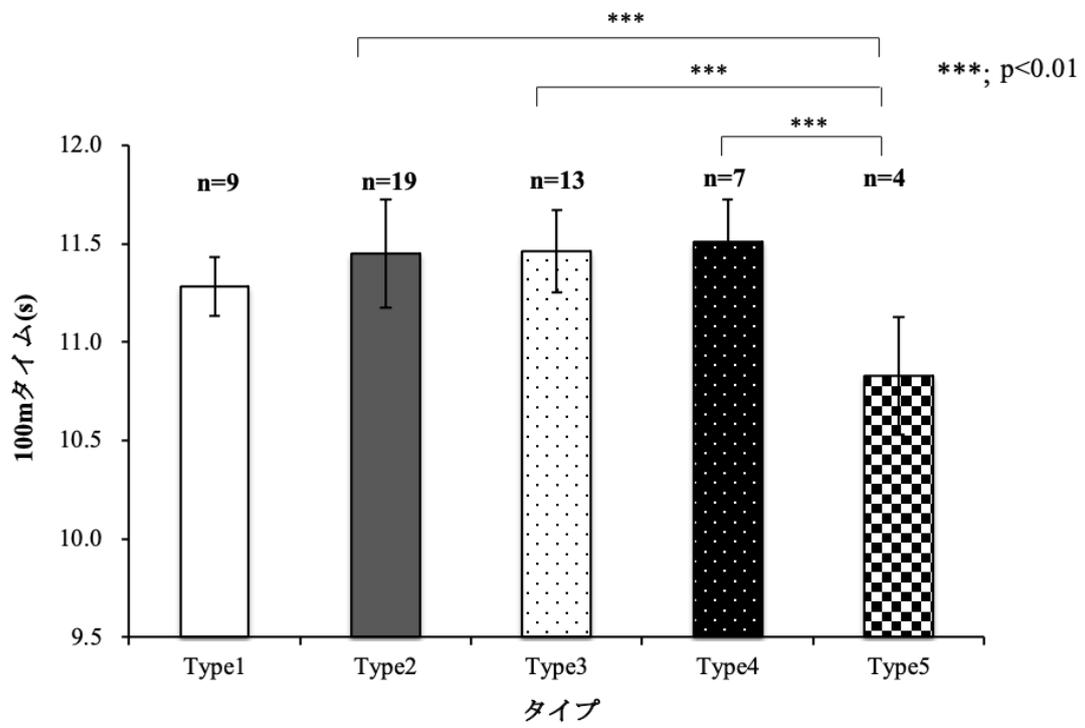


図28. タイプ別による100mタイムの比較

さらに、パフォーマンス変数には100m走タイムのシーズンベスト記録を用いているが、対象者には100m走を専門としていない競技者が含まれていることにも留意する必要がある。一方で、**研究課題2**では、**研究課題1-1**において100m走を専門としていた競技者13名を対象に、MCT-jump testにおける最大跳躍高とスプリント走における疾走速度との関係も検討した(図29)。すると、両者の間には有意な相関関係が認められた。さらに、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走における疾走速度との間には有意な相関関係は認められなかった。このことから、短距離競技者にとってジャンプ運動において高く跳ぶことは能力であり、力発揮時間、つまり接地時間は個人の特性であると言える。したがって、トレーニングの現場において指導する際に、接地時間に関する指導をする際は注意が必要で、あくまで個人が潜在的に有する能力を如何なくパフォーマンスに反映させるために接地時間に関して指導を行う必要があると認識する必要がある。例えば、スプリントトレーニングにおいては、接地時間を短くすることを意識するのは間違いであるとの指摘も存在する(伊藤, 2016)。そして、個人の潜在的に有する能力とはジャンプ運動においては跳躍高である。したがって、トレーニングの方向性とは、まず最適接地時間を探り、その接地時間で最も高く跳ぶことができる方向に強化されるべきであろう。このように考えると、ジャンプ運動における下肢筋群の出力向上を考える際、その手段としてバリスティックなRDJおよびRJに加えて、スクワットジャンプのような股関節の貢献の大きいジャンプ運動も併用する必要がある。

100m走においては、加速局面や最大速度局面に分けてその局面に必要な力・パワー発揮能力を検討するような試みも行われている。加速局面では最大速度局面と比較して、接地時間が長く、支持期において膝関節が屈曲した後に伸展するような振る舞いであることから、加速局面のパフォーマンスとSJおよびCMJの跳躍高との間に相関関係が認められたことが報告されている(Nagahara et al., 2014)。

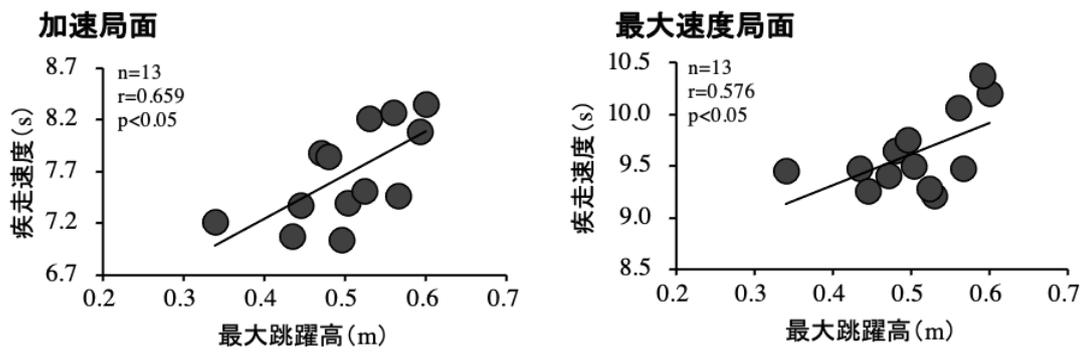


図 29 最大跳躍高と加速局面および最大速度局面の疾走速度との関係

一方、最大速度局面では、疾走速度が高まることで接地時間が短くなり、膝関節の伸展動作も少なくなる。最大速度局面のパフォーマンスと RJ_{index} との間には相関関係は認められていないものの、足関節の底屈のみで遂行され、RJ より接地時間の短いアンクルジャンプ (AJ) の AJ_{index} との間に有意な相関関係が認められている (Nagahara et al., 2014)。これらのように、局面ごとで必要とされる力・パワー発揮能力が異なることを考えると、本研究の MCT-jump test における最適接地時間の長短によっても加速局面の能力に優れるタイプであるのか、最大速度局面の能力に優れるタイプであるのかを示すことが可能であることも考えられる。

一方で、跳躍高を接地時間で除することで算出される index の有用性については、再度検討を続ける必要がある。つまり、能力指標である跳躍高を、個人の特徴を示す指標である接地時間で除し、算出される値を能力指標として捉えることに矛盾がある。この点は、スプリント走能力と RJ_{index} との間に有意な相関関係を認めない研究が散見されるようになったことが状況証拠であると言える (Kariyama and Zushi, 2016 ; Maulder et al., 2006 ; Nagahara et al., 2014)。したがって、能力を示す指標と特徴を示す指標とを一つの指標で表そうとすることは困難であり、MCT-jump test のように、最大跳躍高と最適接地時間とは分けて示すことが妥当であると考えられる。

一方で、MCT-jump test によって判定される最適接地時間が個人の特徴であって能力を示す指標ではないとして論を展開してきたが、やはり一定のレベルまで短い時間で力を立ち上げる能力、力の立ち上がり率に優れることが、能力となるスポーツ種目は存在すると考えられる。例えば、それは、球技や格技である。したがって、MCT-jump test によって評価されるばね的特性との関係について、スプリント種目のみならず様々なスポーツ種目の特性やパフォーマンスとの関係を検討していく必要がある。

3. ばね的特性のトレーナビリティ

研究課題1では、個人の選択した最適接地時間の継時的変化は極めて少なく、再現性も認められている。さらに、同一の対象者に約1年の期間を空け、MCT-jump test を行わせたところ、再現性が認められている。なお、この結果は本研究課題とは別に測定したものであるため、研究課題1には掲載していない。これらの結果を考慮すると、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とは、個人に固有の特性であることが考えられる一方で、ばね的特性には、生得的にかなりの部分が規定されるものと、トレーニングを通じて発達させられるものが含まれていることも事実である。前者については、骨格の大きさや、筋や腱の構造といった身体的特性のことであり、これは遺伝的に決定されることから変化させることが困難な要因とされている(図子・高松, 1996)。一方、後者については、筋組成や神経筋腱の調節機能などの機能的・生理学的な要因であり、これらはトレーニングを通じて発達させることができると考えられる。したがって、さらに長期間、または最適接地時間を変化させることを意図したトレーニングを行うことで、その時間は短く(または長く)なることも予想される。図子(2006)は、4年間に渡る長期トレーニングを行った跳躍競技者の事例から、RDJの接地時間が0.05秒短縮したことを報告している。このことから、MCT-jump test によって評価されたばね的特性も変化する可能性は十分に考えられる。

また、ばね的特性が変化した場合、スプリント走における接地時間、つまり沈み込みも同様に変化している可能性もある。研究課題2では、MCT-jump test における最適接地時間とスプリント走の接地時間およびそれに影響する要因との関係を検討し、有意な相関関係が認められた。したがって、両者

が同様の変化を示していく可能性も考えられ、もし同様に変化していくのであれば、MCT-jump test によって評価されたばね的特性は短距離競技者の適切なトレーニングの選択をサポートする指標となる。

4. 今後の課題

今後の課題として、以下の課題が挙げられる。

- ① MCT-jump test によって評価されたばね的特性の超長期的な変化の検討
- ② 陸上競技以外のスポーツ種目における種目特性をばね的特性から検討
- ③ 陸上競技者を対象として、スプリント種目以外の種目、特に跳躍種目の踏切動作との関係を検討
- ④ ばね的特性と陸上競技跳躍種目における踏切タイプとの関係を検討
- ⑤ ばね的特性と陸上競技スプリント走における疾走タイプ（ピッチ型とストライド型）との関係を検討

今後の課題①について、ばね的特性の超長期的な変化が認められるかどうかを検討する必要がある。

本研究では、分析対象期間が比較的短いことから、より長い期間を経た際にどのように変化するのかあるいは変化しないのかは検討することができない。例えば、研究課題1においてタイプ分けされた結果をみると、Type5 が最も高い跳躍高を示している。そして、Type1 や Type4 に位置づく競技者が、トレーニングによって発達し、競技力が高まる過程で、どのような変化が起きるのかを明らかにする必要がある。例えば、Type1 や Type4 においては、最適な接地時間でジャンプトレーニングを実施した際、そのままの最適接地時間で跳躍高が高まるのか、あるいは Type5 の方向へシフトしながら跳躍高が高まっていくのかは検討するべきである。

今後の課題の②③④について、本研究では主に陸上競技の短距離競技者を対象として、ばね的特性を検討しており、その他の競技者やスポーツ種目の特性との関係は検討していない。図子ほか(1993)は、様々なスポーツ種目の競技者の力発揮特性を検討しており、その特性はスポーツ種目ごとに異なることを明らかにしている。また、渡辺・守田(2012)は、陸上競技の走高跳競技者の踏切タイプを選択する際に、 RDI_{index} を用いることを推奨している。本研究では、 RDI_{index} と比較してMCT-jump testによって評価されたばね的特性の有用性を指摘していることから、ばね的特性と走高跳競技者の踏切タイプとの関係を検討することで、適切な踏切タイプを選択することに繋がる可能性も考えられる。これらのことから、各種スポーツ種目のばね的特性を把握することは、そのスポーツ種目に適したトレーニングを行う一つの指標となることから、今後これらの関係を検討していきたい。

今後の課題の⑤について、**研究課題2**では、MCT-jump testにおける最適接地時間とスプリント走の接地時間およびそれに影響する要因との関係を検討し、有意な相関関係が認められた。これまで、短距離競技者のトレーニングを考える際には、ピッチ型であるかストライド型であるのかといった疾走動作を用いて、トレーニングの戦略を立てることがある。ピッチ型であるかストライド型であるかは、実際のレースを分析して、その時の動作から判断されている。しかし、MCT-jump testによって評価されたばね的特性のような簡便な指標からそれを予測することができれば、ピッチ型であるかストライド型のトレーニングを即座に組み立てることができる。そのために、今後はばね的特性とスプリント走の疾走動作との関係も検討する必要がある。

VIII. 結論

本研究の目的は、文献研究によって明らかになった競技者のばね的特性の硬い柔らかいを評価する方法の課題を解決した新たな評価方法を開発し、その有用性を検討することであった。得られた結論は以下の通りである。

1. 本研究で開発した MCT-jump test によって評価されたばね的特性は個人間で異なることが示唆され、ばね的特性を評価する指標である最適接地時間には再現性が認められた。そして、MCT-jump test における最適接地時間と従来方法である最大 RDJ_{index} 時の接地時間との間には有意な相関関係が認められなかった。したがって、両テストでは競技者の異なる特性を評価していることが示唆され、MCT-jump test は従来方法をより精緻化した方法であると言える。
2. MCT-jump test における最適接地時間が短い競技者は足関節の貢献が高く、最適接地時間の長い競技者は股関節の貢献が高いことが示唆された。また、脚 Stiffness を用いて評価されたばね特性と、MCT-jump test によって評価されたばね的特性とは異なる競技者の特性を評価していることが示唆された。
3. 従来方法と比較して、MCT-jump test はスプリント走の力発揮時間の特性を反映していることが示唆された。そして、MCT-jump test において沈み込みを大きくして最適接地時間が長かった競技者は、スプリント走においても沈み込みを大きくし、脚セグメントを大きく倒して、接地時間を長

くしていることが示唆された。

以上の結果から、MCT-jump test は陸上競技者のばね的特性を評価する方法として有用であることが示唆された。

謝辞

本論文を作成するにあたり、木越清信助教には、研究計画の立案から論文の執筆に至るまで終始懇切丁寧なご指導と御校閲を賜りました。また木越先生には、7年間に渡り、研究指導に加えて陸上競技のコーチングに関する多くのご指導を頂きました。これらのことを通して、研究で得られた知見をコーチング現場へ活かすことの重要性を学ぶことができました。本当にありがとうございました。

尾縣貢教授には、コーチング学専攻3年制博士課程に進学するにあたり、主査をお引き受けいただき、博士論文や研究論文の書き方をご指導頂きました。また、博士論文の内容を充実させるための御助言をいくつも頂きました。ここに深く感謝致します。

向井直樹准教授、河合李信准教授、秋山央准教授、大山下圭悟准教授をはじめとする諸先生方には、論文の構成、実践現場への活用方法など論文全体にわたって貴重なご指導と御助言を頂いたことに感謝致します。

前村准教授には、博士論文の計画の立案から、実験へもご協力いただきました。また、筑波大学陸上競技研究室への進学も勧めていただいたことで、研究、コーチングや陸上競技に関する多くの学びを得ることができました。深く感謝致します。

陸上競技方法論研究室の諸先輩、同輩、後輩の皆様からも博士論文の執筆に多くのご協力をいただきました。また、筑波大学陸上競技部跳躍混成ブロック、環太平洋大学短距離ブロックには本論文の対象者を引き受けて頂きました。ありがとうございました。

最後に、大学院での学生生活を暖かく見守り続けてくれた両親に感謝致します。ありがとう。

2021年3月 梶谷 亮輔

参考文献

A

阿江通良 (1999) バイオメカニクスデータを現場にどう活かすか. トレーニング科学, 10(3): 139-144.

阿江通良・鈴木美沙緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの100m レース
パターンの分析-男子を中心に-. 世界一流競技者の技術, ベースボール・マガジン社, pp, 14-28.

Alexander, R. MacNeill. (2003) Principles of Animal Locomotion. Princeton University Press in the United
Kingdom.

B

馬渡峻輔 (2008) 生物を分類するとはどういうことか. 情報と科学の技術, 58(2):52-56.

Baumann, H., Jäggi, M., Soland, F., Howald, H. and Schaub, M. C. (1987) Exercise training induces transitions of
myosin isoform subunits within histochemically typed human muscle fibres. Pflügers Arch., 409: 349-360.

Bobbert, M.F., Huijing, P.A. and Van Ingen Schenau, G.J. (1986) A model of the human triceps surae muscle-tendon
complex applied to jumping. J. Biomechanics., 19: 887-898.

Bret C., Rahmain A., Dufour A.B., Messonnier L., Lacour J.R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in
100m sprint running. J. Sports Med. Phys. Fitness., 42: 274-281.

Brughelli, M. and Cronin, J. (2008a) A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping:
methodology and implications. Scand. J. Med. Sci. Sports, 18: 417-426.

Brughelli, M. and Cronin, J. (2008b) Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness: modeling and

recommendations for future research. *Sports Med.*, 38,: 647-657.

D

Debaere, S., Jonkers, I. and Delecluse, C. (2013) The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 27(1): 116-124.

E

遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣 貢 (2007) リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究. *体育学研究*, 52: 149-159.

F

Farley C, Glasheen J, McMahon T. Running springs: speed and animal size. (1993) *J Exp Biol* 185: 71-86.

深代千之 (2017) 瞬発性運動におけるパワー評価. *体育の科学*, 67 (4): 221-225.

福田厚治・伊藤 章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究*, 49: 29-39.

H

羽田雄一 (2008) 100m 走における下肢関節の貢献度の変化. *学習院大学スポーツ・健康科学センター 紀要*, 16: 9-14.

羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久 (2003) 100m 走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化. バイオメカニクス研究, 7: 193-205.

平山邦明・杉崎範英・加藤えみか・金久博昭・福永哲夫・川上泰雄 (2010) 腱スティフネス, 筋力および筋活動が反動動作による機械的仕事量増強の個人差に与える影響. 体育学研究, 55: 33-43.

I

伊藤 章 (2016) 短距離走の科学. 陸上競技研究, 107(4): 2-12.

岩竹 淳 (2017) 疾走能力に対するリバウンドジャンプ能力の位置付け. 体育の科学, 67(4): 232-237.

岩竹 淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤 健・岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47: 253-261.

K

門野洋介・阿江通良・榎本靖士・杉田正明・森丘保典 (2008) 記録水準の異なる 800m 走者のレースパターン. 体育学研究, 53(2): 247-263.

梶谷亮輔・前村公彦・山元康平・関慶太郎・尾縣 貢・木越清信 (2018) ジャンプ運動における個人の反動動作特性を評価する方法の開発. 体育学研究, 63(1): 139-149.

荻山 靖・冨子浩二 (2013) 陸上競技跳躍種目のパフォーマンス向上に対するバウンディングとリバウンドジャンプの使い方に関するトレーニング学的研究. トレーニング科学, 25: 41-53.

荻山 靖・冨子浩二 (2015) バウンディングにおける Stiffness 特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮: リバウンドジャンプとの比較から. 体育学研究, 60: 137-150.

木越清信 (2016) 跳躍競技のバイオメカニクス. 陸上競技学会誌, 14: 60-67.

金高宏文・松村 勲・瓜田吉久 (2005) 100m 走の加速区間における局面区分の検討-疾走速度, ストライド及びピッチの1歩毎の連続変化を手がかりにして-. スプリント研究, 15: 89-99.

Kuitunen S, Komi PV, Kyrolainen H. (2002) Knee and ankle joint stiffness in spring running. *Med Sci Sports Exerc* 34: 166-173.

M

MacDougall, J. D., Elder, G. C. B., Sale, D. G., Moroz, J.R., and Sutton, J. R. (1980) Effects of strength training and immobilization on human muscle fibres. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 43: 25-34.

松島一司 (2013) 数種類の台高を利用したドロップジャンプテスト法の開発. 平成24年度筑波大学大学院体育系修士研究論文集. 35: 385-388.

松浦義行 (1983) 体力測定法. 朝倉書店, pp.15-84.

McMahon, T. and Cheng, G.C. (1990) The mechanics of running : how does stiffness couple with speed?. *Journal of Biomechanics* 23 (1), 65-78.

宮下憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの中間疾走フォームの分析. *Japan Journal of Sports Science*.5:892-898.

Monte, A., Muollo, V., Nardello, F. and Zamparo, P. (2016) Sprint running : how changes in step frequency affect running mechanics and leg spring behavior at maximal speed. *J. Sports Med.*, 30: 1-7.

N

内藤 景・荻山 靖・宮代賢治・山元康平・尾縣 貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. 体育学研究, 58: 523-538.

Nagahara, R., Naito, H., Miyashiro, K., Morin, J. B. and Zushi, K. (2014) Traditional and ankle specific vertical jumps as strength powers indicators for maximal sprint acceleration. J. Med. Phys. Fitness., 54: 691-699.

O

岡野憲一・山中浩敬・九鬼靖太・谷川 聡 (2017) 伸長-短縮サイクル運動の遂行能力からみたトップレベル男子バレーボール選手の跳躍パフォーマンスの特性. 体育学研究, 62 (1): 105-114.

R

Ritzdorf, W. (2009) Approaches to technique and technical training in the high jump. New Studies Athletics, 24 (3): 31-34.

S

Serpell, B. G., Ball, N.B., Scarvell, J. M., and Smith, P. N. (2012) A review of models of vertical, leg, and knee stiffness in adults for running, jumping or hopping tasks. J. Sports Sci., 30: 1347-1363.

T

Taylor, MJ, and Beneke, R. (2012) Spring mass characteristics of the fastest men on Earth. J. Sports Med., 33: 667-

670.

土江寛裕・松尾彰文・磯 繁雄・福永哲夫 (2005) 陸上競技短距離選手にみられる加速走中の下肢ステ
ィフネスの変化. 東京体育学研究, 29-32.

V

Van Ingen Schenau,G.J. (1984) An alternative view of the concept of utilization of elastic energy in human movement.
Human Movement Science.3: 301-336.

W

渡辺輝也 (2007) 走高跳の技術類型に関する運動学的考察. 陸上競技学会誌, 5: 1-11.

渡辺輝也・守田俊啓 (2012) 走高跳の技術トレーニングに関する運動学的一考察：男子大学生選手に
おける技術修正プロセスの1例を対象として. 体育学研究, 57: 683-698.

Y

山元康平・宮代賢治・内藤 景・木越清信・谷川 聡・大山卞圭悟・宮下 憲・尾縣 貢 (2014) 陸上
競技400m 走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 59: 159-173.

横井孝志 (1988) 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究. 昭和 62 年度筑波大学大
学院教育学博士学位論文.

吉田拓矢・松島一司・林 陵平・凶子あまね・荻山 靖 (2018) 数種類の台高を用いた多段階式ドロ
ップジャンプテストによる伸長—短縮サイクル運動の遂行能力の評価. 体育学研究,

Z

関子あまね・荻山 靖・関子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価. 体力科学, 66(1): 79-86.

関子浩二 (2005) スポーツアスリートにおけるばねに関する理論とその可能性. 陸上競技研究, 60: 2-17.

関子浩二 (2006) 跳躍動作とその指導・トレーニング—プライオメトリックトレーニングに注目して—. トレーニング科学, 18(4): 297-305.

関子浩二・高松 薫 (1996) “ばね”を高めるためのトレーニング理論. トレーニング科学, 8: 7-16.

関子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. 体育学研究, 38: 265-278.

関子浩二・高松 薫 (1995a) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育学研究, 40: 29-39

関子浩二・高松 薫 (1995b) バリステックな伸長—短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因—筋力および瞬発力に着目して—. 体力科学, 44: 147-154.