

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

梶谷 亮輔¹⁾ 前村 公彦²⁾ 山元 康平³⁾
 関 慶太郎¹⁾ 尾縣 貢³⁾ 木越 清信³⁾

Ryosuke Kajitani¹, Hirohiko Maemura², Kohei Yamamoto³, Keitaro Seki¹, Mitsugi Ogata³ and Kiyonobu Kigoshi³:
 Method for evaluating the characteristics of counter movement in jump exercises. Japan J. Phys, Educ. Hlth. Sport Sci.

Abstract: The aim of this study was to examine the validity, reliability, and utility of a method for evaluating the characteristics of the counter movement jump. Fifty-two male track and field athletes (sprinters or decathletes) jumped from a 30-cm platform and consciously changed their counter movement times. This study determined the counter movement time required to achieve the highest jump.

The results are summarized as follows:

1. The waveform between the counter movement time and jumping height was an inverted U-shape.
2. It is normally accepted that the optimum counter movement time is determined via the jump test.
3. There was a significant correlation between the first test and the re-test in terms of the counter movement time.
4. Participants were classified into 5 groups based on their optimum counter movement times and highest jumping heights.

These results suggest that the newly developed jumping test discussed in this study is a valid method for evaluating the characteristics of counter movement.

Key words : optimum counter movement time, jump test, spring

キーワード : 最適反動動作時間, ジャンプテスト, ばね

I 緒 言

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」と競技者の特性が表現されている。また、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ことが指摘されている(関子・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カ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、両者のトレーニングのどちらを優先的に行うか、あるいはその内容を決定する際の1つの指標となることが考えられる。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技術を選択す

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 環太平洋大学体育学部
〒709-0863 岡山県岡山市東区瀬戸町観音寺 721
3) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
連絡先 梶谷亮輔

1. University of Tsukuba, Graduate school of Comprehensive Human Sciences
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. International Pacific University, Department of Physical Education
721 Kanonji, Seto, Higashi-ku, Okayama, okayama 709-0863
3. University of Tsukuba, Faculty of Health and Sport Sciences
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
Corresponding author r.kajitani03@gmail.com

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、選択する技術が異なることを示唆するものである。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”を基に走高跳の踏切技術を変更すべきであると提案している。これらのことから、競技者のばね特性を把握することでトレーニングの方針を決定することができると考えられる。しかしながら、渡辺・守田(2012)は、日常的な観察に基づいて競技者のもつ“reactive strength”を主観的に評価しており、客観的に評価していない。そのために、渡辺・守田(2012)は、後述する“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で、“reactive strength”の特性を明らかにしていく必要性を指摘している。

これまでに、競技者のばね特性を評価することを試みた代表的な研究には、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動であるリバウンドドロップジャンプ(以下「RDJ」と略す)における接地時間、跳躍高を接地時間で除して算出される“RDJ_{index}”を用いて評価したもの(図子・高松, 1996; 松島, 2013)、運動様式の異なる3つの運動を用いて多視的に評価したもの(図子ほか, 1993)、そしてRDJにおける踏切中の身体重心降下量を力で除すことで算出される脚 Stiffness を用いて評価したもの(荻山・図子, 2015)の3つが挙げられる。

まず、競技者のばね特性を、“RDJ_{index}”を用いて評価した研究を概観する。なお、本研究では、後述するドロップジャンプ(DJ)とRDJとを同一のジャンプ運動として扱う。RDJの遂行能力の指標として前述した“RDJ_{index}”が用いられていて、これは短時間での力発揮能力を示す指標とされている。このような背景から、トレーニング現場では、短時間での力発揮能力が要求される陸上競技の短距離走および跳躍競技者のばね特性を、“RDJ_{index}”を用いて評価している。また、図子・高松(1996)は、“RDJ_{index}”が同じ値であった場合、接地時間に依存している「硬いばねを有するタイプ」と滞空時間に依存している「柔らかいばねを

有するタイプ」とに分類している(図子・高松, 1996)。しかし、“RDJ_{index}”を用いて競技者のばね特性を評価する場合には注意が必要であるとする研究もみられる。RDJは、接地時間をできるだけ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しない運動である(図子・高松, 1995)。したがって、RDJは足関節を中心とした運動様式であると言える。このことについて、深代(2017)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は、その評価には十分注意が必要なることを指摘している。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いるものの、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。このことから、ジャンプ運動において跳躍高を犠牲にすることなく接地時間の長短を検討する必要があると考えられるが、現時点でそのような評価方法は見当たらない。

次に、運動様式の異なる3つの運動を用いて評価した研究を概観する。図子ほか(1993)は、各種スポーツ種目における下肢のばね特性について、DJ、垂直跳およびスクワットという異なる3つの運動から検討している。そして、各種スポーツ競技者の力発揮特性を3つのタイプに分類しており、下肢の筋力およびパワー発揮特性を明らかにできることを示唆している。しかし、運動様式が異なると、必要とされる力発揮能力が運動ごとに異なることが推察される。そのため、競技者のばね特性を適切に評価する際には、運動様式を統一する必要があると考えられる。また、ジャンプ運動における接地時間からばね特性を評価することを試みる際、垂直跳では接地時間を測定することが困難であることも問題点の1つに挙げられる。

さらに、脚 Stiffness を用いた研究を概観する。脚 Stiffness を用いた研究では、これが高いほどいわゆる「硬いばね」、低いほど「柔らかいばね」

としてそれぞれの動きのばね特性が評価されている (Brughelli and Cronin, 2008a, 2008b; Serpell et al., 2012). 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。したがって、脚 Stiffness では、ジャンプ運動のようにヒトの反動動作全体の特性を評価する必要のある運動において、その特性を適切に評価しているとは言い難い。さらに、この指標を用いてばね特性を評価することを試みる際、5回連続ジャンプを用いた研究も散見されるが (苅山・図子, 2013, 2015), この方法では、分析対象とする1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」とか「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。さらに言えば、Stiffness を算出するために必要なフォースプレートのような特殊な機材は、トレーニング現場で簡単に扱えるものではない。

上述してきたように、ばねとは、反動動作を伴う運動の全てに共通する能力であることが指摘されており (図子, 2005), ばね特性は反動動作全体の特性 (以下「反動動作特性」と略す) のことを指していると考えられる。しかし、これまでのところ競技者の反動動作特性は、接地時間を短くすることを強調したジャンプ運動、運動様式の異なる数種類の運動、および伸張局面のみを対象として機械的なばね特性を評価する脚 Stiffness を用いて評価されてきた。

そこで本研究では、30 cm の台上から跳び下り、接地時間 (以下「反動動作時間」と略す) 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反動動作特性を評価する方法について、個人の反動動作特性を評価する方法としての妥当性、信頼性、および実用性を検討することを目的とした。

II 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 (身長: 174.0 ± 4.9 cm; 体重: 63.3 ± 4.5 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。

2. ジャンプ運動の測定

(1) 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) スクワットジャンプ (SJ)

SJ は膝関節屈曲角 90° の状態から、上方へ跳躍させた。

2) カウンタームーブメントジャンプ (CMJ)

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発揮した試技を分析対象とした。

3) ジャンプテスト

本研究で用いるジャンプテストは、最も高く跳ぶために用いる反動動作時間を判定するためのジャンプテストであった (以下「ジャンプテスト」と略す)。30 cm 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、極めて短い反動動作時間で高く跳

ぶことを意識させた試技（以下「バリスティックなジャンプ」と略す）から、反動動作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、反動動作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、反動動作時間（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、反動動作時間の順序は無作為に行った。いずれの反動動作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が、バリスティックなジャンプのみ、できる限り短い反動動作時間で高く跳ぶことを指示した。なお、それぞれの反動動作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。

上述した3種類の鉛直方向へのジャンプ運動のうちSJおよびCMJは、ジャンプテストにおいて垂直跳と同程度の跳躍高を確保するための目安にするために行った。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。

(2) 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ト、ディケイエイチ社製）上で行わせた。ジャンプテストは、反動動作時間をおおよそ0.1秒単位で変化させるため、被験者および験者が1回の試技ごとに反動動作時間を確認できるように、試技直後に反動動作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。

(3) 算出項目

1) SJ・CMJおよびジャンプテスト

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（9.81 m/s²）を示す。

2) ジャンプテスト

“RDJ_{index}”（図子ほか、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反動動作時間を個人の反動動作時間の最適値（以下「最適反動動作時間」と略す）とした。

3. ジャンプテストの再現性検証のためのテスト

ジャンプテストの再現性検証のためのテスト（以下「re-test」と略す）を行った。そして、再現性検証のため、ジャンプテストとre-testにおける最適反動動作時間と最大跳躍高のそれぞれの相関関係および級内相関係数(ICC)を検討した。なお、re-testはジャンプテストから3ヶ月後に行い、このときの被験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。

4. 統計処理

ジャンプテストにおける最適反動動作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およびCMJの跳躍高とジャンプテストの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。ジャンプテストとre-testの最適反動動作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、ジャンプテストとre-testの最適反動動作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、ジャンプテストにおける競技者の最適反動動作時間と最大跳躍高からタイプ分けを行うために、最適反動動作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。

III 結果

1. SJ, CMJ およびジャンプテストの記録

表 1 には SJ および CMJ の跳躍高、ジャンプテストにおけるバリスティックなジャンプ時の RDJ_{index} （その時の反動動作時間および跳躍高）および最大跳躍高（その時の反動動作時間および RDJ_{index} ）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 ± 0.06 m（変動係数：12.9%）、ジャンプテストにおけるバリスティックなジャンプ時の RDJ_{index} は 2.65 ± 0.46 m/s（変動係数：17.4%）、その時の反動動作時間は 0.16 ± 0.02 sec（変動係数：12.8%）、跳躍高は 0.42 ± 0.07 m（変動係数：17.6%）であった。なお、ジャンプテストにおける最大跳躍高は 0.50 ± 0.05 m（変動係数：10.8%）、最大跳躍高時の反動動作時間は 0.56 ± 0.21 sec（変動係数：38.1%）、最大跳躍高時の RDJ_{index} は 1.14 ± 0.76 m/s（変動係数：66.6%）であった。

図 1 には SJ および CMJ の跳躍高とジャンプテストにおけるバリスティックなジャンプの跳躍高および最大跳躍高との比較を示した。その結果、

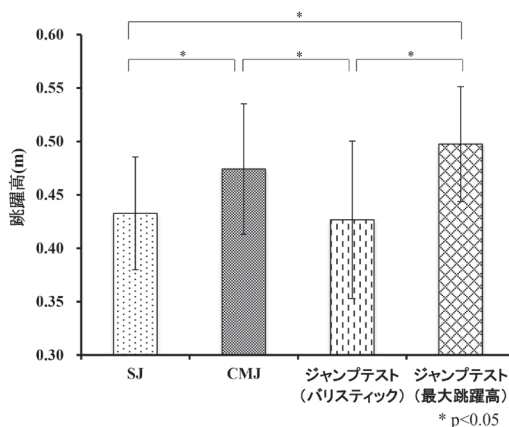


図 1 SJ, CMJ およびジャンプテストの跳躍高の比較

SJ の跳躍高と CMJ の跳躍高およびジャンプテストにおける最大跳躍高との間、CMJ の跳躍高とジャンプテストにおけるバリスティックなジャンプの跳躍高との間、そしてジャンプテストにおけるバリスティックなジャンプの跳躍高とジャンプテストの最大跳躍高との間に有意差が認められた ($p < 0.05$).

2. 被験者の反動動作時間と跳躍高との関係の散布図が示す波形の特徴

図 2 には、ジャンプテストと re-test に参加した被験者 ($n = 37$) のうち特徴的であった 4 名の結果における反動動作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

表 1 SJ, CMJ およびジャンプテストの記録

	平均値 ± 標準偏差	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
ジャンプテスト (バリスティック)		
RDJ_{index} (m/s)	2.65 ± 0.46	17.4
反動動作時間 (sec)	0.16 ± 0.02	12.8
跳躍高 (m)	0.42 ± 0.07	17.6
ジャンプテスト		
最大跳躍高 (m)	0.50 ± 0.05	10.8
最大跳躍高時の反動動作時間 (sec)	0.56 ± 0.21	38.1
最大跳躍高時の RDJ_{index} (m/s)	1.14 ± 0.76	66.6

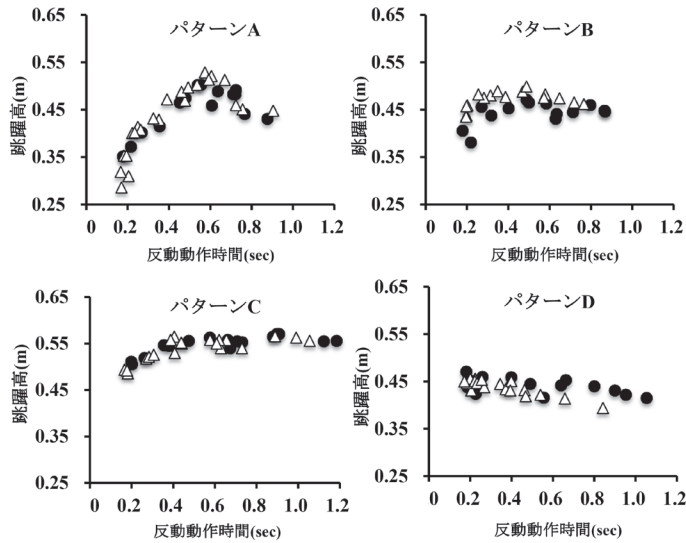


図2 ジャンプテストと re-test における反動動作時間と跳躍高との関係

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の反動動作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と比較して反動動作時間が長い試技での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はある一定の反動動作時間から反動動作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はバリスティ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。

また、ジャンプテストと re-test における反動動作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. 最適反動動作時間における被験者の分布

図3には、本研究において判定された最適反動動作時間における被験者の分布を示した。最適反動動作時間は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

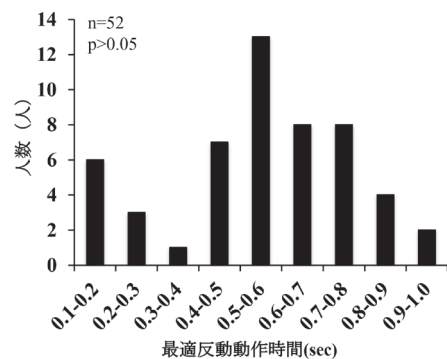


図3 最適反動動作時間における被験者の分布

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4には、ジャンプテストと re-test における最適反動動作時間の関係を示し、図5にはジャンプテストと re-test における最大跳躍高との関係を示した。ジャンプテストと re-test の最適反動動作時間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、ジャンプテストと 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、ジャンプテス

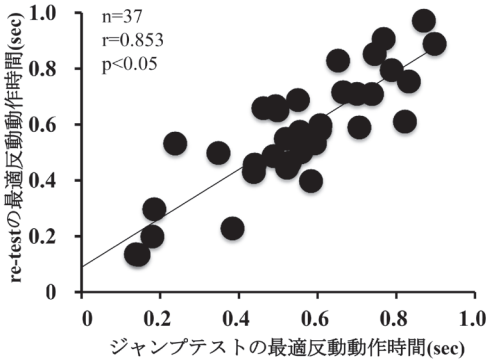


図4 ジャンプテストの最適反動動作時間と re-test の最適反動動作時間との関係

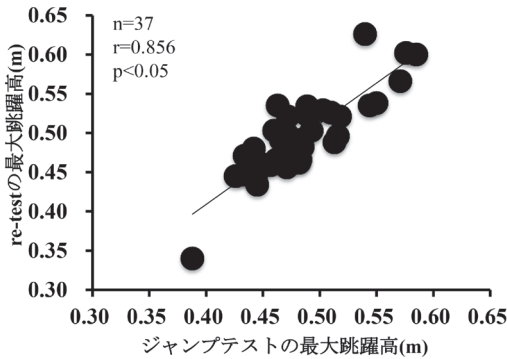


図5 ジャンプテストの最大跳躍高と re-test の最大跳躍高との関係

表2 ジャンプテストと re-test における最適反動動作時間および最大跳躍高の比較

	ジャンプ テスト	re-test
最適反動動作時間 (sec)	0.56 ± 0.21	0.57 ± 0.20
最大跳躍高 (m)	0.50 ± 0.05	0.46 ± 0.11*

*:p<0.05

と re-test の最適反動動作時間の間には有意差 ($t = -1.152$; n.s.) は認められなかったが、ジャンプテストと 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 (表2)。また、ジャンプテストと re-test における最適反動動作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、最適反動動作時間 (ICC = 0.85)、最大跳躍高 (ICC = 0.82) であった。

5. 最適反動動作時間と最大跳躍高との関係

図6には、最適反動動作時間と最大跳躍高との

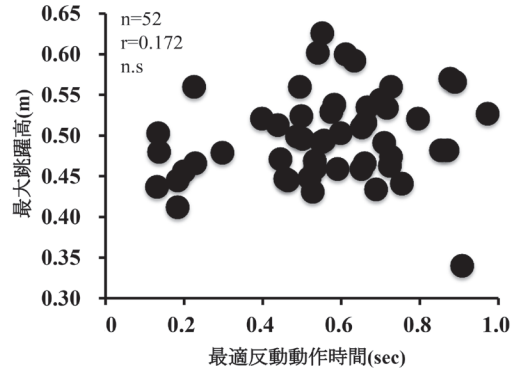


図6 最適反動動作時間と最大跳躍高との関係

関係を示した。最適反動動作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. 最適反動動作時間と最大 RDJ_{index} 時の反動動作時間との関係

図7には、最適反動動作時間と最大 RDJ_{index} 時の反動動作時間との関係を示した。最適反動動作時間と最大 RDJ_{index} 時の反動動作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8には、クラスター分析によるタイプ分けの結果を示した。ジャンプテストにおける最大跳躍高と最適反動動作時間を指標として、Ward法によるクラスター分析を行った結果、クラスターが分かれる点で5つのタイプ (Type 1・Type 2・

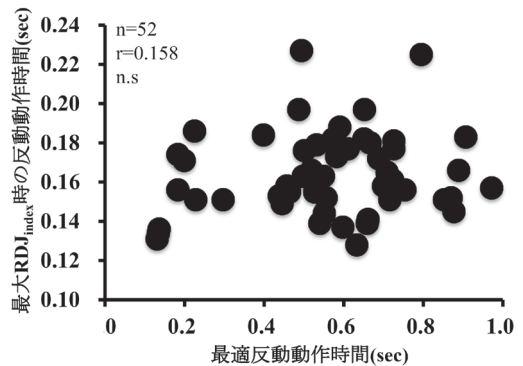


図7 最適反動動作時間と最大 RDJ_{index} 時の反動動作時間との関係

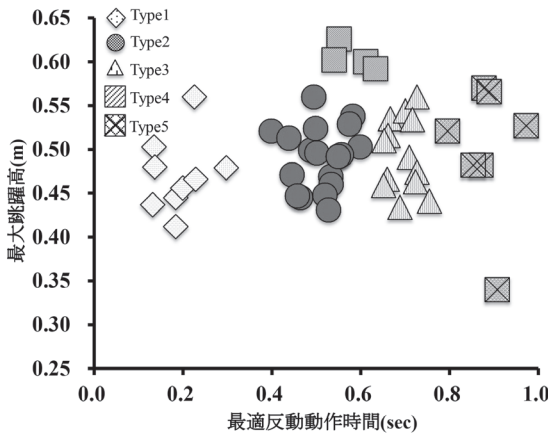


図8 最大跳躍高と最適反動動作時間によるタイプ分け

Type 3・Type 4・Type 5) に分類された。

IV 考察

本研究の目的は、30 cm の台上から跳び下り、反動動作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反動動作特性を評価する方法について、個人の反動動作特性を評価する方法としての妥当性、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、ジャンプテストにおける最適反動動作時間が個人間で異なることが示唆された。このことは、最適反動動作時間の長短から競技者の反動動作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、競技者の反動動作特性は 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. ジャンプテストの妥当性、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)。本研究で開発するジャンプテストは、反動動作時間の最適値を手がかりに個人の反動動作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。

ジャンプテストにおける個人の反動動作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ても、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、最適反動動作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、反動動作時間が短い場合は十分な力積を確保できないこと、反動動作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、最適反動動作時間の長短を検討することで、競技者の反動動作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、最適反動動作時間について、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も、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、最適反動動作時間における被験者の分布を検討したところ (図 3)、短い反動動作時間から、長い反動動作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、最適反動動作時間は個人間で異なることが示唆された。したがって、ジャンプテストによって、競技者の反動動作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ジャンプテストから約 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、ジャンプテストにおいて判定された最適反動動作時間と re-test おける最適反動動作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、ジャンプテストにおける最適反動動作時間と re-test における最適反動動作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、個人の最適反動動作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、長期間での最適反動動作時間の経時的な変化は検討していない。今後、長期に渡る最適反動動作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、ジャンプテストにおける最大跳躍高と re-test における最大跳躍高と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、ジャンプテストと 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、ジャンプテストと 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、ジャンプテストにおける最適反動動作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、最適反動動作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、個人で最適な反動動作時間が存在することを示唆している。これらのことから、ジャンプテスト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、最適反動動作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、本研究で開発するジャンプテストは、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反動動作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

も簡便であり、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

ジャンプテストと従来の評価法とを比較するために、ジャンプテストと RDJ における反動動作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、最適反動動作時間と最大 RDJ_{index} 時の反動動作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、ジャンプテスト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、下肢三関節の働きを総合的に評価できていない可能性が高いことから、ジャンプテストの反動動作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、本研究で開発したジャンプテストは跳び下りを行う台の高さを 30 cm に規定し、測定条件を統一した。このことから、ジャンプテストでは運動エネルギーを統一して、反動動作特性を評価することができる。そして、反動動作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、ジャンプテストでは、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反動動作特性を評価する方法となると考えられる。

3. ジャンプテスト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反動動作特性を示している。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，ジャンプテストにおける最適反動動作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，競技者の反動動作特性は5つのタイプ（Type 1・Type 2・Type 3・Type 4・Type 5）に分類された（図8）。Type 1・Type 2・Type 3・Type 5については，それぞれ最適反動動作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，競技者の反動動作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，これらはトレーニングの存在が考えられる。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反動動作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反動動作特性のトレーニング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反動動作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反動動作特性を評価していくことが必要となる。また，本研究では最適反動動作時間と競技力や競技特性との関係や，最適反動動作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。

V 要 旨

本研究の目的は，30 cm の台上から跳び下り，反動動作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のジャンプ運動を用いて個人の反動動作特性を評価する方法について，個人の反動動作特性を評価する方法としての妥当性，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) ジャンプテストにおける反動動作時間と跳躍高との関係は，逆Uの字を示した。
- 2) 最適反動動作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) ジャンプテストにおいて判定された最適反動動作時間と re-test において判定された最適反動動作時間との間には有意な相関関係が認められた。
- 4) 最適反動動作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，本研究で開発したジャンプテストは競技者の反動動作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。

付記

本研究は，JSPS 科研費 16K01609 の助成を受けて実施されたものです。

文 献

- 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.
- Baumann, H., Jäggi, M., Soland, F., Howald, H., and Schaub, M. C. (1987) Exercise training in duces transitions of myosin isoform subunits within histochemically typed human muscle fibres. *Pflügers Arch.*, 409: 349-360.
- 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.
- 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.
- 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.
- 苅山靖・関子浩二 (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用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.
- 苅山靖・関子浩二 (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.
- 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.
- 内藤景・苅山靖・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.
- Ritzdorf, W. (2009) Approaches to technique and technical training in the high jump. *New Studies Athletics*, 24 (3): 31-34.
- 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.
- 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.
- 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・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 (1995) 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.

(2016 年 11 月 29 日受付)
(2017 年 11 月 17 日受理)