

水平片脚跳躍を用いたバリスティックな 伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と 各種跳躍パフォーマンスとの関係

藤林 献明¹⁾ 荻山 靖¹⁾ 木野村嘉則¹⁾ 関子 浩二²⁾

Nobuaki Fujibayashi¹, Yasushi Kariyama¹, Yoshinori Kinomura¹ and Koji Zushi²: The relationship between common ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement in unilateral horizontal jump events and performance of various jump events. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.* 58: 61-76, June, 2013

Abstract : The purpose of this study was to develop a new method for measuring the common ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement in unilateral horizontal jump events and to investigate the relationship between the performances of various jump events. Ten male college track and field athletes performed the rebound long jump test (RLJ test). The participants jumped from a 0.1-m-high step to the ground after an approach run (falling jump), followed by jumping without interruption for as far as possible (propulsive jump). The falling jump distance was set at 1, 2, or 3 m, and touchdown velocity, jumping distance, contact time, ground reaction force and leg joint torque were measured for all three falling jump distances. To evaluate RLJ test performance, the RLJ index was calculated by dividing jumping distance by contact time. Simultaneously, the rebound jump test (RJ test) method for measuring the common ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement in lateral vertical jump events and the five steps of bounding (5SB) method for measuring the common ability to perform unilateral horizontal jump events were conducted. We found that there were no significant correlations between the jumping height, contact time, and RJ power [RJ power (W/kg) = jumping height (m) / (contact time (sec)/2)] of the RJ test and the jumping distance, contact time, and RLJ index of the RLJ test, or any of the three falling jump distances. Thus, it was concluded that abilities to perform those two tests differed. On the other hand, there was a strong correlation ($r=0.859$) between the RLJ index measured for a falling jump distance of 3 m (RLJ index3) and the IAAF score of track and field athletes. In addition, the pattern and magnitude for the ground reaction force and leg joint torque measured during the RLJ for a falling jump distance of 3 m had similar characteristics to takeoff in the long jump or triple jump during a competition. Furthermore, 5SB was correlated ($r=0.790$) with the IAAF score, but the correlation coefficient was less than that of the RLJ index3. The RJ index was not correlated with the IAAF score. These results demonstrate the significance of using the RLJ test and RLJ index from a 0.1-m-high step for measuring the common ability to perform the ballistic stretch-shortening cycle movement in unilateral horizontal jump events.

Key words : rebound long jump, contact time, control test, field test, evaluation method

キーワード : リバウンドロングジャンプ, 接地時間, コントロールテスト, フィールドテスト, 測定評価法

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) 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 藤林献明

1. *Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

2. *Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Tennoudai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Corresponding author n.fuji@live.jp

I 緒 言

陸上競技におけるスプリントの接地動作、走幅跳や三段跳の踏切動作は、極めて短時間のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動によって遂行されている(図子・高松, 1995). 言い換えると、陸上競技において優れたパフォーマンスを発揮するためには、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を高い水準に向上させることが必要不可欠となることを示すものである(図子ほか, 1993). バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力に関する測定評価法には、一般的にはリバウンドジャンプテストやリバウンドドロップジャンプテストが用いられている(遠藤ほか, 2007; 木越ほか, 2004; 木越ほか, 2005; 図子ほか, 1993; 図子・高松, 1995). これらのテストでは、その場で垂直方向に、できるだけ短い接地時間で高く跳ぶことを指示したジャンプを実施し、その際の接地時間と滞空時間をもとにして、踏切中の平均パワー(Rebound Jump power もしくは Rebound Jump index; 以下「RJ power」と略す)を算出し、その値を成績として評価診断がなされる. この RJ power については、踏切中の力学的パワーを簡易的に算出する simplified power (Fukashiro, 1992) とも高い相関関係が認められており(Tauchi et al., 2008), 高度な機器を用いることなくトレーニング現場において、即座にフィードバックが可能となる指数である. また、各種スポーツのパフォーマンスとの関係についての検討もなされており、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力が要求されるスポーツ種目の選手は高い RJ power を示すこと、競技水準が高いほど RJ power も高いことなどが認められており、プライオメトリックトレーニングの効果に関する評価診断やタレントの発掘に RJ power を用いることの有効性が明らかにされている(遠藤ほか, 2007; 木越ほか, 2005; 大宮ほか, 2009; 図子ほか, 1993; 図子・高松, 1995). 実践現場におけるこのテストの利用について概観すると、リバウンドジャンプ

テストは日本陸上競技連盟の跳躍部門における選手強化のための体力・運動能力テストの中に導入されているとともに、多くの球技スポーツ種目においても利用されるようになりつつあるのが現状である.

このリバウンドジャンプは、その場で垂直方向への高さを目指した両脚跳躍運動であり、腰関節や膝関節に対して足関節の仕事の貢献度が高いエクササイズであることが示されている(木越ほか, 2004; 図子・高松, 1995), これに対して、走幅跳や三段跳などの陸上競技における跳躍運動は、助走によって獲得した高い水平速度を利用して、片脚踏切によってできるだけ遠くまで跳ぶことを目指す片脚跳躍運動であることから、下肢関節の屈曲・伸展運動に加えて、踏切時の地面反力によって生じる身体の前方向への起こし回転運動や、自由振込脚(以下「振込脚」と略す)の振込運動が、非常に大きな役割を演じていることが示されている(村木, 1996). さらに、下肢各関節の貢献度からみても、膝関節や股関節の仕事の貢献度が高い運動であることが示されており(志賀・尾懸, 2004), 足関節の仕事の貢献度が高いリバウンドジャンプとは異なる運動特性を持っていることが推察できる. これらのことは、リバウンドジャンプと RJ power を用いた測定評価法は、基本的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を評価診断するためには有効であるものの、走幅跳や三段跳などの水平片脚跳躍に内在する遂行能力を、専門的な観点から評価できない可能性が考えられる.

水平片脚跳躍の能力を測定評価するためには、一般的には立三段跳や立五段跳などの跳躍運動を用いたテストが実施されてきた(木越ほか, 2001; 村木, 1996; 植田・広川, 2001; 植田, 2007). これらのテストでは、静止立位の状態から両脚で跳び出し、その後交互に片脚跳躍を連続して行い、その跳躍距離の優劣をもとにした評価診断が行われる. しかし、この測定評価法は、実施した仕事量の大きさを意味する跳躍距離の評価診断のみに留まったものであることから、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を

評価診断する際の原則となる、運動遂行時間の要素を加味した測定評価法ではないことが考えられる。また、実際の競技動作に対して、安全かつ簡便に遂行可能に設定したテストでは、実際の競技よりも速度が低い状態で行われるために、長い時間をかけて高いパフォーマンスを獲得することが可能となる。そのために、テストの成績に運動時間の要素を加味することは、高い速度で短時間に運動が遂行される競技においては、専門性を維持するために非常に重要な要素となり得る。これらのことから、走幅跳や三段跳の踏切動作に類似した運動、すなわち水平片脚跳躍で前方へ遠くまで跳ぶ運動形態のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動をテスト運動として用いた上で、仕事量の大きさと運動遂行時間の2要因を含めた指数による評価診断法を考案することが必要である。

そこで本研究では、水平片脚跳躍に内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を測定評価するために、ある高さの台上を走って助走し、片脚踏切で跳び下りるとともに、逆脚で短時間に着地・踏切を遂行して前方にできるだけ遠く跳ぶ跳躍運動である、ボックスジャンプエクササイズを用いたテスト方法と指数を考案した。そして、本研究において考案した指数と、一般的なバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の指標であるリバウンドジャンプテストによるRJ power、これまで一般的に跳躍能力の指標として利用されてきた立五段跳テストによる跳躍距離、そして最終目的である実際の跳躍種目のパフォーマンスとの相互関係について検討することを目的とした。

Ⅱ 方 法

1. 対象者

対象者は体育大学の陸上競技部に所属しており、跳躍種目を専門とする選手男子10名（棒高跳1名、走高跳2名、走幅跳5名、三段跳2名）であった。対象者の年齢は 21.0 ± 1.4 歳、身長は 1.76 ± 0.09 m、体重は 69.6 ± 3.5 kgであった。対象者は少なくとも専門種目の経験を5年以上有

しており、1週間に12時間程度の専門的トレーニングを行っていた。対象者のうち1名は全日本選手権で上位の成績を有しており、2名は全日本学生選手権入賞、4名は全日本学生選手権出場レベルの成績を有していた。残りの3名は地域大会出場レベルの成績であった。本研究は所属する大学の研究倫理指針（人に関する研究）に基づいて行われた。対象者には事前に本研究の目的や危険性などを十分に説明し、危険を感じた場合や身体に違和感を感じた場合には、いつでも測定を中止できることを説明するとともに、実験参加に対する同意を書面で得た上で実施した。

2. 実験試技

テスト試技に用いたリバウンドロングジャンプ (Rebound Long Jump, 以下「RLJ」と略す) は、跳躍選手が現場でトレーニング手段として利用しているボックスジャンプエクササイズを応用して作成したものであった。RLJはある高さの台上を助走して片脚で踏切って跳び下り、その逆脚で接地し、できるだけ短時間に弾むように踏切って可能な限り遠くまで跳ぶ跳躍運動である (Fig. 1)。このRLJは身体の水平速度とともに、落下に関する鉛直速度が踏切時には下肢の負荷となるような運動である。助走後に台から跳び下りる跳躍はFalling Jump (以下「FJ」と略す)、主運動である2回目の跳躍はPropulsive Jump (以下「PJ」と略す) とした。予備実験の結果、台の高さは0.3 mの時点、FJ距離は3 mの時点で跳躍の遂行が困難になる参加者が存在した。また、台の高さは0.3 mより低い高さでは台の高さがテストの成績に大きな影響を与えないことが明らかになった。台の高さには、実際のトレーニング現場で用いられている台の高さの中で最も低いものは0.1 mであることが多いために、安全性を配慮して0.1 mに設定することが適切であると判断した。また、PJにおける接地瞬間の水平速度を一定にするために、FJ距離は1 m, 2 m, 3 mの3種類に設定し、台上の助走距離と歩数を固定した。1 mでは助走を用いないその場からのFJ, 2 mでは3歩の助走歩数によるFJ, 3 mでは5歩の

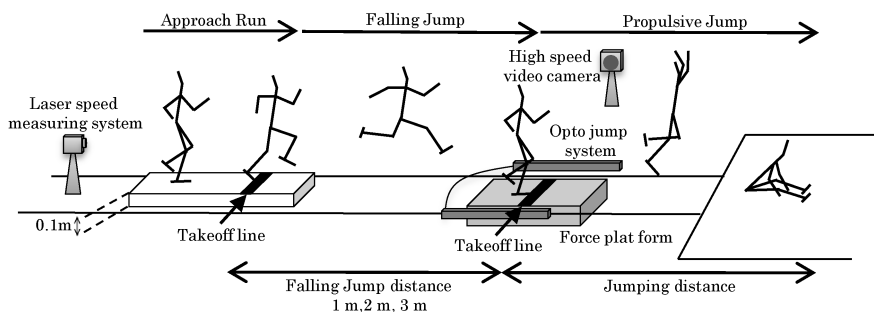


Fig. 1 The trial method of Rebound Long Jump.

助走歩数によるFJに設定した。FJ距離の増加はPJの速度や負荷、難易度を高めるため、安全性や専門性を考慮し、測定はより容易に実行できる1mから開始し、2m, 3mの順で行った。なお、FJおよびPJの踏切位置には0.2mのラインを引き目印にさせた。いずれもラインを超えた場合、あるいはラインから大きく後方で踏切った場合には無効試技とした。PJを行う脚は走幅跳の踏切脚とし、FJはその逆の脚で行わせた。実施の際には、FJでは試技条件をしっかりと実施すること、PJでは可能な限り短い時間で弾むように踏切って、できるだけ遠くへ跳躍すること、着地は両足をそろえた状態で行うことを指示した。実験対象者には事前に数日間に渡って試技を正確に行えるように練習を行わせ、動作が正確に安定してできるようになったことを確認した上で試技を実施するようにした。

パフォーマンスとしての跳躍距離は、PJの接地足のつま先から、砂場に着地した際に着いた最も近い部分の痕跡までの距離を計測した。跳躍距離には着地技術が大きく影響を及ぼし、跳躍距離の約5%を占めることが認められている (Hay et al., 1986; 尾縣・中野, 1992; 尾縣ほか, 1993)。しかし、本研究の対象者が日常的に立五段跳や走幅跳などのトレーニングを実践していることや、事前に行った数日間の練習では、着地技術についても配慮し、個人差がなくなるように練習をさせた。したがって、着地技術の良否が対象者の跳躍距離に及ぼす影響は小さかったと仮定した。なお、一般的なコントロールテストにおける

ジャンプテストや、実際の走幅跳や三段跳についても全て着地動作を含めた評価であることも (木越ほか, 2001; 村木, 1996; 植田・広川, 2001; 植田, 2007) 考慮して判断した。

一般的にジャンプテストとして用いられているリバウンドジャンプ (Rebound Jump, 以下「RJ」と略す) と立五段跳についても、RLJと同時に計測した。RJは6回のその場による連続両脚跳躍であり、全ての跳躍を出来るだけ短い時間で高く跳ぶように行わせた。最大のパフォーマンスを測定するために、腕の振り込み動作などの他の動作には制限を設けなかった。立五段跳は静止立位の状態から両脚で飛び出し、その後4回の交互片脚跳躍を連続で行い、最大の跳躍距離を獲得するように行わせた。全ての測定については、十分なウォーミングアップを行わせた後に実施し、成功試技を2回計測した上でその中の最高記録を代表値として採用した。なお、実験参加者には事前に数日間に渡って試技を正確に行えるように練習を行わせ、動作が正確に安定してできるようになったことを確認した上で試技を実施するようにした。

3. 測定項目および算出項目

RLJにおける測定項目としては、主運動であるPJの跳躍動作を高速度ビデオカメラ (NAC社製, HSV-500C3VCR, 300 fps) を用いて撮影するとともに、接地速度、跳躍距離、接地時間、地面反力を測定した。接地速度はレーザー式速度測定装置 (JENOPTIK社製, LDM301S, 1000

Hz) を用いて、試技中の水平速度を測定した。跳躍距離はスチールメジャー (NISHI 社製) を用いて測定した。PJ における接地時間の測定には、Opto Jump System (Microgate 社製, 1000 Hz) を用いた。PJ における踏切中の地面反力 (垂直方向と水平前後方向の成分) は、PJ の踏切地点に埋設した Force Platform (Kistler 社製, 15907, 1000 Hz) によって計測した。測定した跳躍距離 (jumping distance) と踏切による接地時間 (contact time) を用いて、以下の式によって Rebound Long Jump index (以下、「RLJ index」と略す) を算出した。

$$\text{RLJ index (m/s)} = \frac{\text{jumping distance (m)}}{\text{contact time (s)}}$$

撮影されたビデオ画像はパーソナルコンピューター (DELL 社製, DM061) に取り込み、ビデオ動作解析システム (ディケイエイチ社製, Frame-DIAS II for windows ver.3) を用いて、画像上の身体部分点23点 (左右の手先, 手首, 肘, 肩峰, つま先, 母指球, 踵, 外果, 腓骨頭, 大転子, 耳珠点と頭頂, 胸骨上縁) および4点の較正マークを、毎秒150フレームで踏切接地10コマ前から踏切離地後10コマにわたってデジタル化した。得られた身体部分点の二次元座標は、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、Butterworth Low-Pass Digital Filter を用いて3.0-10.5 Hz の範囲で平滑化した。

Force Platform から獲得した地面反力データは、1000 Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、パーソナルコンピューター (DELL 社製, DXP061) に取り込んだ。また、水平方向の地面反力の値が負の値を示した局面を踏切前半局面、正の値を示した局面を踏切後半局面として定義した。踏切中における身体重心の水平速度を評価するために、前半局面の力積と後半局面の力積を算出し、踏切局面全体の総力積を算出することによって、踏切中に身体重心が加速したのか、あるいは減速したのかについて評価した。水平方向および垂直方向の地面反力ともに、踏切接地直後

の立ち上がりの最大値を第1ピーク値、第1ピークから一度低下した後、再度立ち上がった際の最大値を第2ピーク値とした。踏切前半局面における水平方向のピーク値は、負の方向に最も大きかった値とした。

PJ の踏切における下肢の関節トルクを算出するために、下肢を股関節、膝関節および足関節で分割した2次元リンクセグメントモデルを構築した。さらに、Free Body Diagram に基づき、各部位の近位端に作用するトルクを運動方程式で求め、それを関節トルクとした。伸展 (足関節は底屈) を正、屈曲 (足関節は背屈) を負として正負の変換を行った。なお、各セグメントの重心や慣性モーメントの算出には、阿江 (1996) の日本人アスリートにおける身体部分慣性係数を用いた。

地面反力および全ての関節トルクは、体重あたりの相対値として算出した。また、踏切による接地時間の異なる試技を比較するために、PJ の接地時間を100%として規格化して比較することとした。

RJ における測定項目としては、マットスイッチ (DKH 社製, マルチジャンプテスター) を用いて、滞空時間 (air time) と踏切による接地時間 (contact time) を測定した。これらの時間を用いて、以下の式によって RJ power を算出した (図子ほか, 1993; 図子・高松, 1995)。なお、6回の跳躍の中で RJ power が最も高い値を代表値とした。

$$\text{RJ power (W/kg)} = g \cdot \text{air time (s)}^2 / 4 \cdot \text{contact time (s)}$$

g は重力加速度 9.81 m/s²,

立五段跳における測定項目としては、スチールメジャー (NISHI 社製) を用いて、両脚によるスタート時の接地足つま先から、砂場に着地した際に着いた最も近い部分の痕跡までの最短距離を測定した。

本研究の実験参加者の競技パフォーマンスの評価には、専門種目の記録を得点に換算できる IAAF Scoring Tables of Athletics 2011 (Internation-

tional Association of Athletics Federations, 2011) を用いて点数化したもの (以下, 「IAAF Score」と略す) を用い, 相対値として実施した。

4. 統計処理

設定した測定条件による差を検定するために, 一元配置分散分析を行った。その結果, F 値が有意であると認められた項目については, Turkey の HSD 検定によって多重比較を行った。また, 相関関係の検定には Pearson の積率相関係数を用いた。なお, すべての検定には, 統計ソフト SPSS ver15.0 J for windows (SPSS 社製) を使用し, 有意水準は 5%未満とした。

Ⅲ 結 果

RLJ における 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する接地速度については, 1 m では 3.37 ± 0.61 m/s, 2 m では 6.56 ± 0.43 m/s, 3 m では 7.36 ± 0.31 m/s と有意に高くなることが認められた。また, 対象者と同レベルの選手が行った三段跳中の接地速度は, 9.64 ± 0.21 m/s であることが報告されている (築野ほか, 2011)。この値を基準にして, 上述の接地速度を相対的にみると, 1 m では $34.91 \pm 6.29\%$, 2 m では $68.23 \pm 4.23\%$, 3 m では $76.37 \pm 3.22\%$ となった (Table 1)。

Fig. 2 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する跳躍距離, 接地時間, RLJ index の平均値を示したものである。3つの項目のいずれにおいても, 1 m と 2 m, 1 m と 3 m の間には有意な差があったが, 2 m と 3 m の間には有意な差は認められなかった。なお, 接地時間の平均値は, 1 m では $0.30 \pm$

0.05 s であったのに対して, 2 m では 0.19 ± 0.02 s, 3 m では 0.18 ± 0.02 s となり, 2 m 以降では 0.2秒より短く非常に短時間の接地になることが認められた。

Fig. 3 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する地面反力の波形を示したものである。垂直方向の地面反力については, 1 m の試技では第 1 ピーク値よりも第 2 ピーク値の方が大きい, 2 m では同程度

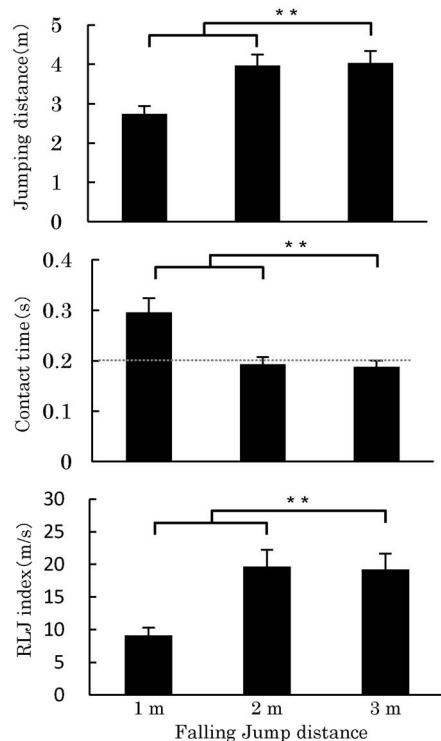


Fig. 2 Jumping Distance, Contact Time and RLJ index in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.
**; $p > 0.01$

Table 1 Touchdown velocity of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distance

Falling Jump distance	1 m	2 m	3 m	difference
Touchdown velocity (m/s)	3.37 ± 0.61	6.56 ± 0.43	7.36 ± 0.31	1 m < 2 m < 3 m
%Touchdown velocity (%)	34.91 ± 6.29	68.23 ± 4.23	76.37 ± 3.22	1 m < 2 m < 3 m

Values show mean \pm SD.

%Touchdown velocity mean relative values of the touchdown velocity of Triple Jump during a competition.

Differences show results of ANOVA.

<: $p < 0.05$

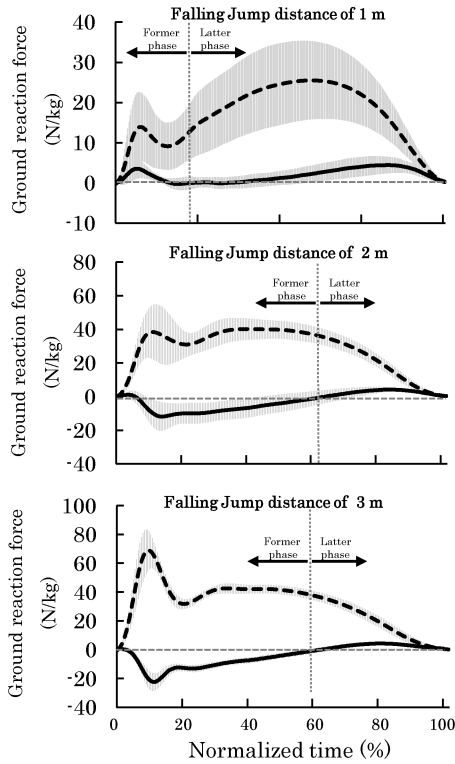


Fig. 3 Ground reaction force of horizontal and vertical direction in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.
 —; Horizontal direction
 ---; Vertical direction

の大きさになり、3 mでは第1ピーク値が第2ピーク値よりもはるかに大きい波形パターンに変化することが認められた。一方、水平方向の地面反力については、1 mでは全局面が正の値となる傾向が認められたが、2 mと3 mになると前半局面は負の値を示し、その後、後半局面では正の値となる波形パターンを示すことが認められた。

Table 2は1 m, 2 m, 3 mの試技に関する地面反力の各項目による値に注目した、一元配置分散分析の結果を示したものである。垂直方向の第1ピーク値に関しては、1 m, 2 m, 3 mの順に有意に高くなることが認められた。第2ピーク値と前半局面の力積および後半局面の力積値に関しては、1 mと2 m, 1 mと3 mの間では有意に高くなったが、2 mと3 mの間には有意な差は認められなかった。一方、水平方向の第1ピーク値に関しては、1 m, 2 m, 3 mの順に有意に負の方向に大きくなることが認められた。しかし、第2ピーク値では差は認められなかった。前半局面の力積値に関しては、1 mと2 m, 1 mと3 mの間では有意に負の方向に大きくなることが認められたが、2 mと3 mの間には有意な差は認められなかった。後半局面の力積値に関しては、1 mと比較して、2 m, 3 mの値が有意に低くなることが認められた。総力積の値に関しては、1 mでは正の値を示し(踏切中に身体重心は水平前方向に加速している)、2 mと3 mでは負の値を示すと

Table 2 Ground reaction force of Rebound Long Jump by the three Falling Jump distance

Falling Jump distance	1 m	2 m	3 m	difference
1st peak values of vertical direction (N/kg)	13.98 ± 8.58	38.30 ± 16.25	68.16 ± 10.13	1 m < 2 m < 3 m
2nd peak values of vertical direction (N/kg)	25.53 ± 9.72	40.08 ± 6.34	41.87 ± 5.65	1 m < 2 m = 3 m
Former impulse of vertical direction (Ns/kg)	1.56 ± 0.87	4.11 ± 0.51	4.16 ± 0.53	1 m < 2 m = 3 m
Latter impulse of vertical direction (Ns/kg)	3.73 ± 1.17	0.90 ± 0.38	1.50 ± 0.37	1 m < 2 m = 3 m
1st peak values of horizontal direction (N/kg)	-0.69 ± 1.61	-11.87 ± 8.37	-22.37 ± 6.63	1 m > 2 m > 3 m
2nd peak values of horizontal direction (N/kg)	4.45 ± 2.03	4.21 ± 1.29	4.26 ± 1.20	n.s
Former impulse of horizontal direction (Ns/kg)	0.06 ± 1.07	-0.81 ± 0.22	-0.70 ± 0.19	1 m > 2 m = 3 m
Latter impulse of horizontal direction (Ns/kg)	0.46 ± 1.46	0.15 ± 0.05	0.26 ± 0.06	1 m < 2 m = 3 m
Total impulse of horizontal direction (Ns/kg)	0.52 ± 0.16	-0.66 ± 0.25	-0.44 ± 0.25	1 m > 2 m = 3 m

Values show mean ± SD.

Difference show results of ANOVA.

<, >: p < 0.05, =: p ≥ 0.05

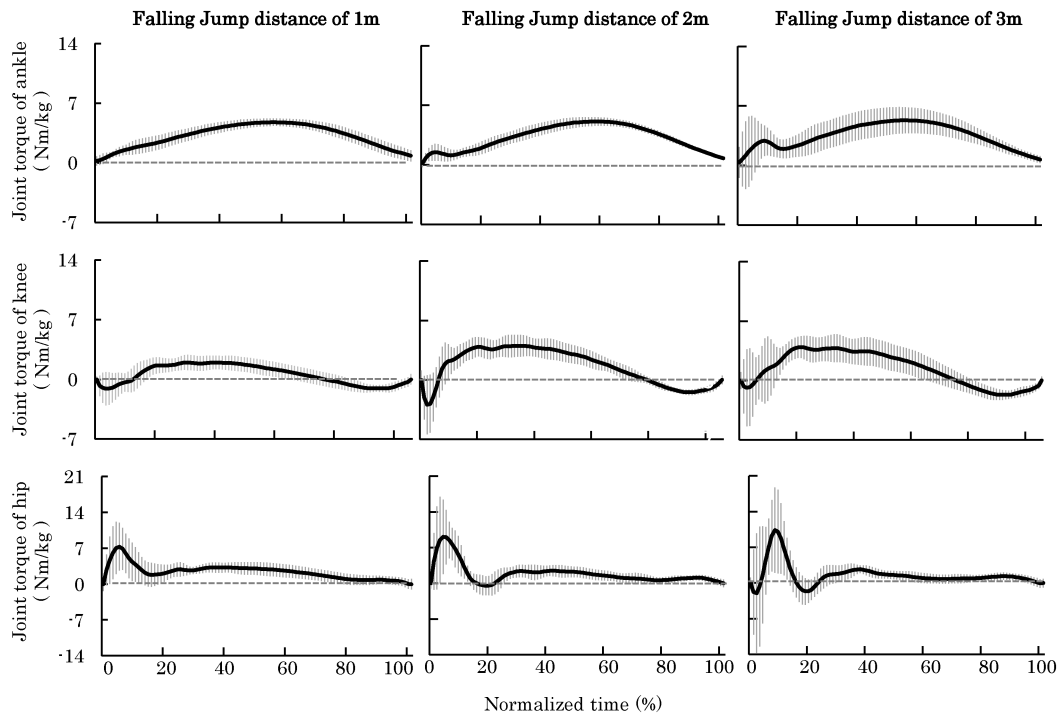


Fig. 4 Average patterns of joint torque about ankle, knee and hip of supporting leg during takeoff phase in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

ともに（踏切中に身体重心は水平後方向に減速している）、1 m と 2 m, 1 m と 3 m の間では有意に小さくなることが認められた。

Fig. 4 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する踏切脚の足、膝、股関節が発揮した関節トルクのパターンを示したものである。全ての項目において、関節トルクのパターンは類似する傾向を示した。しかし、その大きさについて見てみると、膝関節では伸展トルクが 1 m から 2 m へと増大し、3 m では同様の値を示した。それぞれのピーク値は、1 m では 1.98 ± 0.81 Nm/kg, 2 m では 4.02 ± 0.87 Nm/kg, 3 m では 4.09 ± 0.96 Nm/kg であった。股関節でも同様に、伸展トルクが 1 m から 2 m, 3 m へと漸増的に増加する傾向を示した。それぞれのピーク値は、1 m では 7.33 ± 4.65 Nm/kg, 2 m では 9.13 ± 7.80 Nm/kg, 3 m では 10.38 ± 8.36 Nm/kg であった。

Fig. 5 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する振込脚の足、膝、股関節が発揮した関節トルクのパター

ンを示したものである。振込脚の関節トルクの発揮パターンや大きさは、FJ 距離に関わらず類似した傾向を示した。

Fig. 6 は、1 m, 2 m, 3 m の試技に関する RLJ index と競技パフォーマンスの指標である IAAF Score の間の相関関係を示したものである。1 m と 2 m の距離に関する RLJ index と IAAF Score の間には、有意な相関関係はなかったが、3 m の距離に関しては有意に高い相関関係が認められた ($r=0.859$, $p<0.01$)。

Fig. 7 は、1 m, 2 m, 3 m の試技における RLJ index 相互の相関関係を示したものである。いずれの項目間にも有意な相関関係は認められなかった。

Fig. 8 は 1 m, 2 m, 3 m の試技に関する RLJ の跳躍距離と RJ の跳躍高、RLJ の踏切における接地時間と RJ の踏切における接地時間、RLJ index と RJ power の相関関係を示したものである。いずれの項目間にも有意な相関関係は認めら

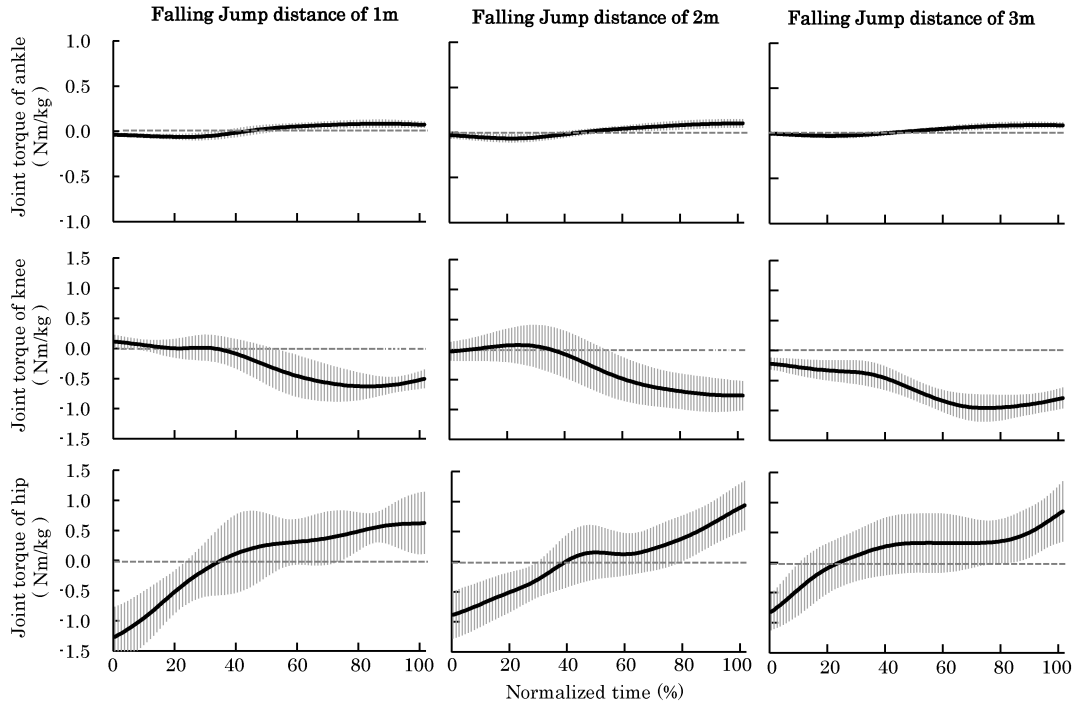


Fig. 5 Average patterns of joint torque about ankle, knee and hip of idling leg during takeoff phase in Rebound Long Jump by the three Falling Jump distances.

れなかった。

Fig. 9 は、RJ power および立五段跳と IAAF Score の間の相関関係を示したものである。RJ power との間には有意な相関関係はなかったが、立五段跳との間には有意に高い相関関係が認められた ($r=0.790$, $p<0.05$)。

Ⅳ 考 察

本研究では台から跳び下りる FJ 距離を 1 m, 2 m, 3 m にすることによって、主運動である PJ での接地速度を 3 種類に設定した。その結果、1 m の試技では 3.37 ± 0.61 m/s, 2 m の試技では 6.56 ± 0.43 m/s, 3 m の試技では 7.36 ± 0.31 m/s の水平速度になることが認められた (Table 1)。この値を実際の三段跳による踏切時の接地速度と比較すると、 $34.91 \pm 6.29\%$, $68.23 \pm 4.23\%$, $76.37 \pm 3.22\%$ となり、約 35% から約 75% までの水平速度を網羅したテスト試技であったことが理解できた (Table 1)。これらの結果は、RLJ と類似

したトレーニング手段であるドロップロングジャンプを用いた先行研究 (永松・図子, 1999; 大宮・合屋 2003) の報告ともよく一致するものであった。また、1 m の試技から 2 m の試技では、接地速度が約 33% もの増加を示したが、2 m の試技から 3 m では約 8% の増加しか示さなかった。これは 1 m から 2 m では水平速度を増大させて FJ 距離の増大に対応しているが、2 m から 3 m では踏切角度を高めて、跳躍の高さによって FJ 距離の増大に対応していることを示唆するものであると思われる。なお、3 m の試技では、実際の跳躍種目における踏切時の速度に対して約 75% もの速度に達しており、実際に近い運動エネルギーを持った RLJ であることが明らかになった。

上記のような接地速度に設定されていることを考慮しながら、1 m, 2 m, 3 m の試技における跳躍距離、接地時間、RLJ index について検討した。その結果、1 m と 2 m の試技の間では、跳躍距離と RLJ index は有意に増大するととも

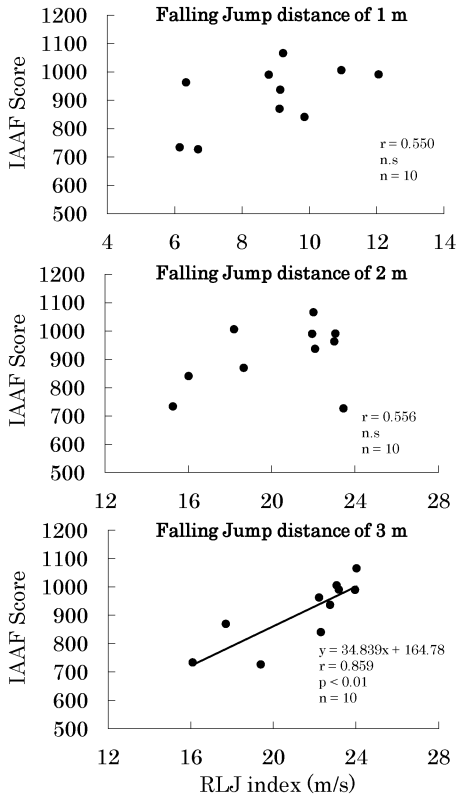


Fig. 6 Relationships between IAAF Score and RLJ index by the three Falling Jump Distances.

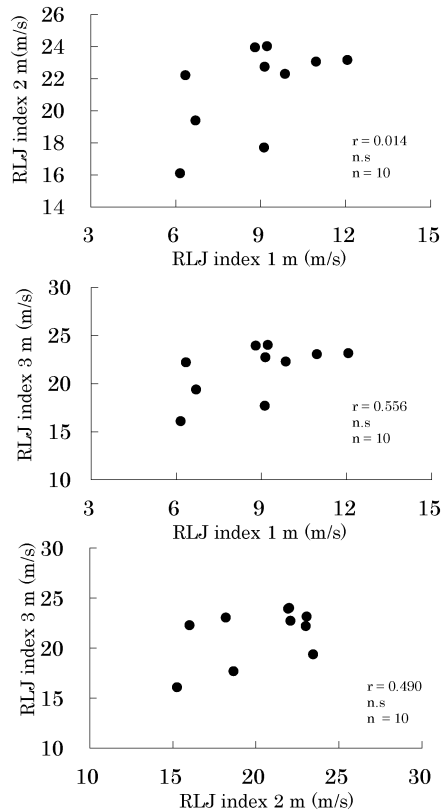


Fig. 7 Relationships among each RLJ index measured for three Falling Jump Distances (1 m, 2 m, 3 m).

に、接地時間も有意に短縮し、0.2秒以内の極めて短時間の運動に変化することが認められた。しかし、2 mと3 mの試技の間では、いずれにも有意な差は認められなかった (Fig. 2)。運動時間が0.2秒以内であり、素早くかつフィードフォワード制御系の運動はバリスティック運動として分類されており、運動時間が長く、力の大きさや微妙な調整が運動中に実施できるフィードバック制御系の運動とは、神経制御機構や力発揮に関する調節機構がかなり異なることが示されている (Brooks and Thach, 1981; Desmedt and Godaux, 1977; 米田, 1989)。また、実際のスポーツにおける接地時間をみると、スプリント種目の接地時間は0.09—0.19 s (有川・太田, 2005; 遠藤ほか, 2008; 尾縣ほか, 1988; 谷川ほか, 2008), 走幅跳や三段跳の踏切時間は0.12—0.20 s (大宮ほか, 2009; 志賀・尾縣, 2004; 植田ほか, 1989; 植

田, 1992; 尾縣ほか, 1993) であった。これらのことから、本研究の対象者である体育大学の陸上競技部男子選手という水準であれば、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動であり、実際のスポーツ運動による接地時間に類似させるためには、RLJにおけるFJ距離を2 m以上にする必要があることが明らかになった。

次いで、1 m, 2 m, 3 mの試技におけるPJの踏切中における地面反力について検討した。1 m, 2 m, 3 mのすべての試技間で、地面反力における各種の測定値に有意差が認められた。また、PJの踏切中における総力積は、1 mの試技では正の値 (0.52 ± 0.16 Ns/kg) を示し、2 m, 3 mでは負の値 (-0.66 ± 0.25 Ns/kg, -0.44 ± 0.25 Ns/kg) を示した (Table 2)。これらのことから、

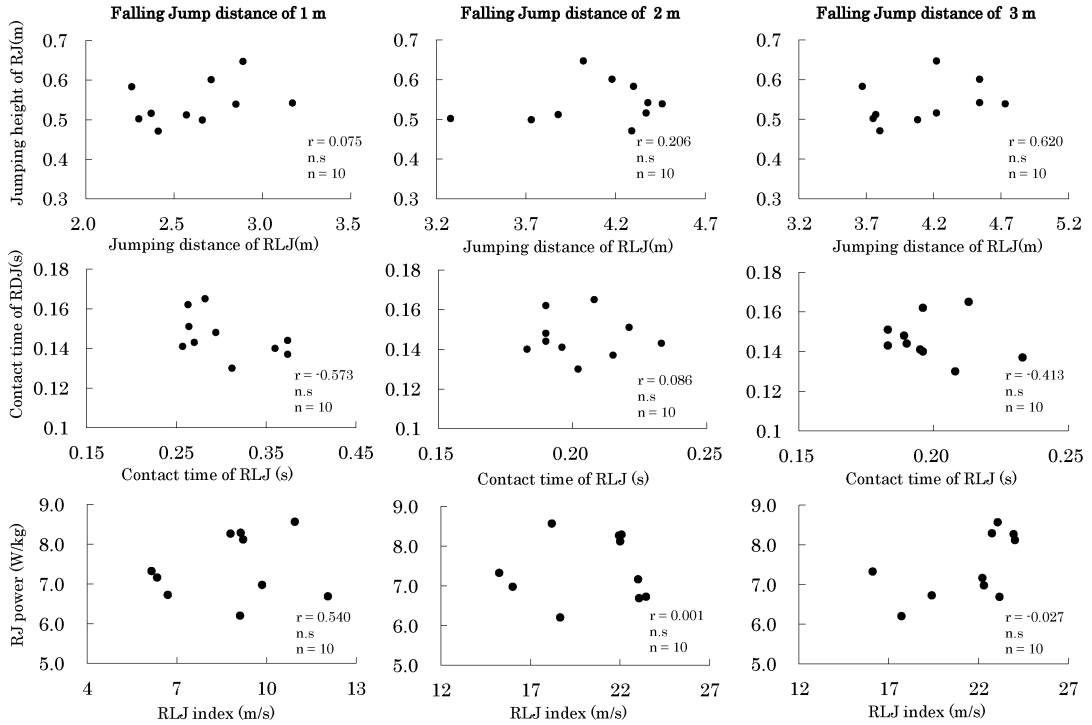


Fig. 8 Relationships between RLJ index, Contact time, Jumping distance of Rebound Long Jumps and RJ power, Contact Time, Jumping Height of Rebound Jump.

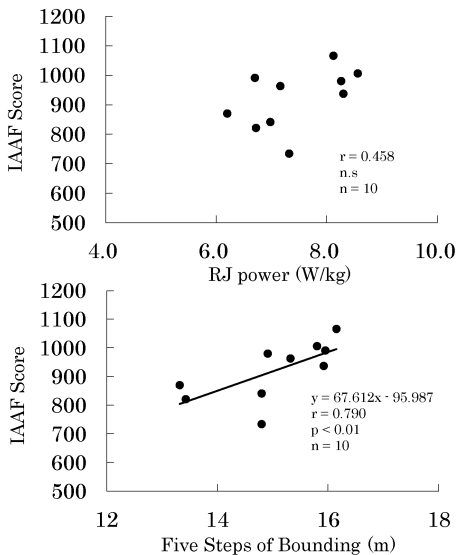


Fig. 9 Relationships between IAAF Score, RJ power and distance of Five Steps of Bounding.

FJ 距離が 1 m の試技では、PJ の踏切によって身体速度は前方へと加速しているが、2 m、3 m の試技では逆に減速していることが認められた。実際の走幅跳や三段跳の踏切では、高い助走速度に対して踏切中にブレーキがかかり（水平速度の減速）、その地面反力のブレーキ成分によって身体に起こし回転が発生し、垂直方向の速度への変換が生じることによって、踏切角度が高まるという仕組みが存在している。しかし、その条件の中でも、水平速度の減速を最小限にしながら、最大限の鉛直速度を獲得することが大きなパフォーマンスを発揮するための条件であることが示されている (Hay et al., 1986 ; 村木, 1996)。これらのことから、踏切中に加速を伴う FJ 距離が 1 m の試技は、実際の走幅跳や三段跳の踏切とは大きく異なる運動特性となることから、実際の走幅跳や三段跳の踏切に類似したテスト運動にするためには、RLJ における FJ 距離を 2 m 以上にすることが、テストのための必要条件になることが明らかにな

った。

一方、地面反力における力の大きさをみると、2 m と 3 m の試技の間にも、鉛直方向と水平方向の第 1 ピーク値には有意差が認められた。FJ 距離が 2 m の試技における第 1 ピーク値は、鉛直方向が 38.3 ± 16.25 N/kg、水平方向が -11.87 ± 8.37 N/kg であった。また、3 m の試技における第 1 ピーク値は、鉛直方向が 68.16 ± 10.13 N/kg、水平方向が -22.37 ± 6.63 N/kg であった (Table 2)。この接地直後に現れる鉛直方向の第 1 ピーク値は、踏切瞬間に身体に加わる衝撃力であり、また水平方向の第 1 ピーク値は水平速度の減速を生じさせるブレーキの大きさを意味するものであり (浅川ほか, 1969, 永松・図子, 1999), 2 m と 3 m の試技では、踏切前半に身体が受ける地面反力の大きさが有意に異なることが認められた。一方、走幅跳や三段跳における踏切中の第 1 ピーク値は、鉛直方向が 77.56 N/kg— 108.84 N/kg、水平方向が -29.00 N/kg— -44.77 N/kg であるという報告がなされている (Luhtanen and Komi, 1979; Ramey and Williams, 1985)。したがって、2 m の試技における地面反力の第 1 ピーク値は、鉛直、水平方向ともに実際の走幅跳や三段跳に比較して小さい値ではあるものの、3 m の試技では実際に近い大きさの地面反力になることが認められた。また、地面反力の大きさとともに、その波形パターンについてもみると、1 m, 2 m とは異なり、3 m の試技では第 1 ピーク値が全体の中で最も高くなり、少し低下し再び上昇、その後緩やかに低下するパターンを示した (Fig. 3)。この波形パターンは、走幅跳や三段跳の踏切のものに極めて類似していた (志賀・尾懸, 2004; 図子, 2005)。また、走幅跳における踏切では、鉛直速度の獲得率は、起こし回転の作用によって踏切前半に 70% にも達することから、鉛直速度の獲得に対する踏切前半の重要性が指摘されている (志賀・尾懸, 2004)。踏切前半の大きな地面反力に適切に抗することができる場合には、下肢の各関節が瞬間的に屈曲する (いわゆるつぶれ動作) ことに繋がり、踏切後半における推進力を低下させることになってしま

う。優れた跳躍選手は、この踏切前半の大きな地面反力に抗しながらも、それをうまく利用して、踏切後半における推進力を獲得できることが報告されている (永松・図子, 1999)。これらのことを考慮すると、実際の走幅跳や三段跳に類似した運動にするためには、FJ 距離を 3 m にすることが、テストのための必要条件になることが明らかになった。

さらに、踏切脚ならびに振込脚の下肢関節が発揮した関節トルクについて検討した。各関節のトルク発揮パターンは、全ての FJ 距離で類似していた。しかし、その大きさについて見てみると、1 m から 2 m では膝関節と股関節の伸展トルクが大きくなり、2 m から 3 m では股関節の伸展トルクがさらに大きな値を示した。これらの結果から、FJ 距離の増大に伴い膝関節や股関節が担う役割が増大していることが推察できる。走幅跳や三段跳の踏切動作は、膝関節や股関節の仕事の貢献度が高い運動であり、それぞれの伸展トルクのピーク値は膝関節で約 3 Nm/kg— 7 Nm/kg、股関節で約 10 Nm/kg— 18 Nm/kg と報告されている (Muraki et al., 2008; 志賀・尾懸, 2004)。リバウンドロングジャンプにおける膝関節と股関節の伸展トルクのピーク値は、1 m では 1.98 ± 0.81 Nm/kg と 7.33 ± 4.65 Nm/kg、2 m では 4.02 ± 0.87 Nm/kg と 9.13 ± 7.80 Nm/kg、3 m では 4.09 ± 0.96 Nm/kg と 10.38 ± 8.36 Nm/kg であったことから、3 m の試技が実際に最も類似したトルク発揮パターンを示すことが明らかになった。一方、振込脚では各項目の最大値にも大きな変化が認められず、全ての FJ 距離において同様のトルク発揮パターンを示すことが明らかになった。

ここまでの結果を統合すると、FJ 距離 3 m の試技は他の 2 条件とは異なる傾向を示すとともに、走幅跳や三段跳の踏切と極めて類似する傾向を示した。さらに、運動時間、踏切前半の地面反力の大きさや波形パターン、下肢関節のトルク発揮パターンを示した本研究の結果から判断すると、FJ 距離を 3 m にすることが、実際の走幅跳や三段跳に内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を反映するためのテストの必

要条件となることが明らかになった。なお、本研究の研究課題は、走幅跳や三段跳などの水平片脚跳躍に内在する伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を専門的に測定評価するためのテスト方法を考案することであった。そのため、リバウンドロングジャンプの踏切における力学的特性に関する検討は、下肢の関節トルクの大きさからみた特徴を示すに留めた。踏切における力学的特性に関しては、今後より詳細な検討が必要な課題である。

本研究における対象者は種目の異なる選手の集団であった。したがって、競技パフォーマンスと RLJ index との関係を検討するためには、各種目の成績を同一の値へと変換する必要があったことから、各選手のパフォーマンスを得点化できるスコアである IAAF Score (世界陸上競技連盟が提示) を用いることにした。1 m, 2 m, 3 m の距離における各選手の RLJ index と IAAF Score の関係を見ると、1 m, 2 m の距離では有意な相関関係は認められなかったが、3 m の距離では有意な相関関係 ($r=0.859$) が認められた (Fig. 6)。なお、1 m, 2 m, 3 m の各試技における RLJ index 相互間には有意な相関関係のないことが認められた (Fig. 7)。したがって、各選手のパフォーマンスと RLJ index との関係から判断すると、FJ 距離を 3 m に設定した RLJ テストによる RLJ index を指数にすることが、走幅跳や三段跳に内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を専門的に評価診断するためには有効であることが示唆された。

これまでに示した本研究の結果からみると、大学レベルの男子選手を対象とする場合には、FJ 距離を 3 m に設定した RLJ テストが有益であることが明らかになった。指数としている RLJ index は、仕事量の大きさを意味する跳躍距離と短時間の踏切能力を意味する接地時間の 2 要因によって構成されている。一方、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の評価には、一般的にはリバウンドジャンプテストが用いられてきた。指標としている RJ power についても、仕事量の大きさを意味する跳躍高と短時間の踏切能力を意味する接地時間の 2 要因によって構成

されている。そこで、RLJ index と RJ power の関係について検討すると、跳躍距離と跳躍高、接地時間相互、RLJ index と RJ power の間には、いずれも有意な相関関係は認められなかった (Fig. 8)。垂直跳に類似した運動時間の長い跳躍運動を対象にした研究では、跳躍方向や踏切脚の違いなどの運動特性が異なると、そのメカニズムや必要とされる能力が異なることが明らかにされている (Meylan et al., 2010; Stephanie and Graham, 2003)。本研究結果はこれらの知見を支持するものであり、RLJ テストと RJ テストの両テストには、いずれもバリスティックな伸張-短縮サイクル運動を用いているが、助走の有無、踏切動作が片脚と両脚、跳躍方向が前方向 (跳躍距離) と上方向 (跳躍高) などの違いがあり、これらのことを反映した異なる専門性のテストであることが明らかになった。なお、RJ power と IAAF Score の間には有意な相関関係は認められなかった (Fig. 9)。これまでに RJ power は、疾走動作やジャンプ動作などの各種パフォーマンスとの関係が認められてきた (木越ほか, 2005; 大宮ほか, 2009; 図子・高松, 1995)。しかし、本研究では跳躍種目のパフォーマンスとの関係には有意な相関関係のないことが認められた。なぜ、本研究では先行研究と異なる結果が得られたのかについて明確に答えることは難しいが、その 1 つとして、対象者の競技水準が体育大学の男子跳躍選手であり、専門性の高い上級レベルの集団を取り扱っていることが原因になっていることが推察できる。つまり、RJ power はパフォーマンスの重要な構成要素ではあるものの、記録水準の高い水平跳躍種目の選手に対してはより下位に位置する基礎的な構成要因となることが推察できる。このために、パフォーマンスとの直接的な関係性は低く、相関関係が認められなかったと考えられる。一方、運動動作が類似している RLJ index は、水平跳躍種目のパフォーマンスの構成要素の中では上位に位置していることから、跳躍種目のパフォーマンスに直接的な関係が認められたのではないかと考えられる。

一方、水平跳躍能力の測定評価法として用いら

れている立五段跳と IAAF Score には、有意な相関関係 ($r=0.790$) が認められた (Fig. 9). これらの結果は、これまでに水平片脚跳躍の能力を測定評価するために、立五段跳を用いたテストが積極的に実施されてきた理由でもある。さらに、RLJ index と IAAF Score の間にも有意に高い相関関係 ($r=0.859$) が認められた (Fig. 6). RLJ テストは、実施した仕事量の大きさを意味する跳躍距離の評価診断に加えて、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を評価診断する際の原則となる運動遂行時間の要素を加えた測定評価である。したがって、高速で行われる走幅跳や三段跳に内在する構成要素を専門的・多面的に取り出し、測定評価および診断することが可能なテストであると考えられる。これらのことから、FJ 距離を 3 m に設定した RLJ テストとその指数である RLJ index は、走幅跳や三段跳に内在する水平跳躍種目のバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を、より専門的に評価診断するための有効な方法となり得ることが明らかになった。

RLJ テストによる試技条件は、選手の競技レベル、年齢、性別などに応じてかなり異なる可能性がある。本研究の対象者は、大学陸上競技部に所属するシニアレベルの男子選手であり、FJ 距離が 3 m の試技は、実際の跳躍における約 75% の助走速度に相当するものであった (Table 1). しかし、この、FJ 距離が 3 m の試技による接地速度 (7.36 ± 0.31 m/s) は、日本の女子三段跳の一流選手の助走速度である 8.61 ± 0.21 m/s (小山ほか, 2010) を基準にして考えると、85.5% もの値になってしまうことが認められた。そこで、考え方を逆にしてみると、この選手の試合における助走速度の約 75% の接地速度になるような FJ 距離を設定することを仮定すると、 $6.46 \sim 6.89$ m/s の接地速度にする FJ 距離にすることが妥当であり、それは本研究における FJ 距離が 2 m の試技 (6.56 ± 0.43 m/s) に相当することが認められた。これらのことを考慮すると、一流の女子選手、またはそれと同程度のパフォーマンスを持つジュニア男子選手の場合には、FJ 距離を 2 m に

設定した RLJ テストが有効になることが考えられる。また、ジュニア女子選手やさらに競技レベルの低い選手では、FJ 距離が 1 m の試技に設定することも必要になると思われる。一方では、極めて高い競技レベルの超一流男子選手では、FJ 距離を 4 m に設定することも必要になる可能性も十分に考えられる。このようにテストを行う対象者の競技レベルに応じて、FJ 距離を設定することが必要であるが、FJ 距離の設定方法は、今後さらに検討する必要がある課題となり得るものである。

V 要 約

本研究の目的は、水平方向への跳躍運動に共通して内在するバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力の測定評価法とその指数を考案して、各種ジャンプパフォーマンスとの関係を検討することであった。体育大学に所属する陸上競技を専門とした男子選手 10 名を対象にして、0.1 m の高さの台上を走って跳び下り、片脚で踏切動作を行うとともにできるだけ遠くまで跳躍するリバウンドロングジャンプを実施させた。跳び下りて着地するまでの距離は、1 m, 2 m, 3 m の 3 種類 (距離が長くなるほど、接地時の水平速度は高くなる) を用いた。各試技における踏切動作、身体速度、踏切時間、踏切中の地面反力、跳躍距離を計測した。また、跳躍距離を踏切時間で除すことによって、リバウンドロングジャンプ指数 (RLJ index) を算出した。

その結果、リバウンドジャンプパワー (RJ power) と 3 種の RLJ index との間にはいずれも有意な相関関係はなく、両能力が独立していることが認められた。一方、3 m の距離を用いた RLJ index に限って、各選手のパフォーマンスを種目間で比較できるスコア (国際陸連の提唱している IAAF Score) との間に、有意に高い相関関係が認められた ($r=0.859$)。また、3 m の試技における地面反力および下肢関節トルクの大きさや発揮パターン、実際の走幅跳や三段跳のものに類似したものであった。なお、従来のバリスティ

ックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力のための指数である RJ power と、IAAF Score の間には有意な相関関係は認められなかった。

本研究の結果から、0.1 m の台上から跳び下り、着地までの距離を 3 m に設定したリバウンドロングジャンプテストは、高い水平速度を用いて片脚で行われる跳躍パフォーマンスを強く反映しており、その指数である RLJ index が、バリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を測定評価するために有効であることが示唆された。なお、テストに用いる着地までの距離は、テストを行う対象者の競技レベルに応じて設定することが必要不可欠であることを認識する必要性についても示唆された。

文 献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数. *Jpn. J. Sports Sci.*, 15: 155-162.
- 浅川正一・武政喜代次・古藤高良・小佐文雄・関岡康雄・山西哲郎・田村征男 (1969) 跳躍力の分析的研究. *東京教育大学体育学部紀要*, 8: 61-70.
- 有川秀之・太田 涼 (2005) 疾走動作とバウンディング動作との関係. *埼玉大学紀要教育学部*, 54: 259-267.
- Brooks, V.B. and Thach, W.T. (1981) Cerebellar control of posture and movement. In: Brooks, V.B. *Handbook of physiology. The nervous system: American Physiological Society: Bethesda*, pp. 889-891.
- Desmedt, J.E. and Godaux, E. (1977) Ballistic control in man: Characteristic recruitment pattern of single motor unit of tibialis anterior muscles. *J Physiol.*, 264: 673-639.
- 遠藤俊典・宮下 憲・尾縣 貢 (2008) 100 m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの要因の影響. *体育学研究*, 53: 477-490.
- 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.
- Fukashiro, S. (1992) Evaluation of mechanical power by simplified method in vertical jump. *J Sports Med. Sci.*, 6(2): 5-9.
- Hay, J.G., Miller, J.A., and Canterna, R.W. (1986) The technique of elite male long jumpers. *J. Biomech.*, 19: 855-866.
- International Association of Athletics Federations (2011) IAAF Scoring Tables of Athletics-Outdoor-2011 Edition. http://www.iaaf.org/mm/Document/Competitions/TechnicalArea/04/33/41/20110124082825_httppostedfile_IAAF_Scoring_Tables_of_Athletics_2011_23299.pdf, (accessed 2012-02-11)
- 木越清信・田内健二・尾縣 貢 (2001) 特異的な筋力および筋パワートレーニング手段としての立ち五段跳および立ち十段跳の有効性. *陸上競技研究*, 4: 13-18.
- 木越清信・岩井浩一・島田一志・尾縣 貢 (2004) ドロップジャンプにおける姿勢が下肢関節 Kinetics およびジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. *体育学研究*, 49: 435-445.
- 木越清信・小坂真貴子・佐々木 博 (2005) 小学校における走幅跳の跳躍距離とバリスティックな跳躍能力との関係. *愛知教育大学研究紀要*, 30: 21-26.
- 小山宏之・村木有也・芝山一仁・阿江通良 (2010) 競技会における男女走幅跳および三段跳選手の助走スピード分析. *陸上競技研究紀要*, 6: 108-117.
- Luhtanen, P. and Komi, P.V. (1979) Mechanical power and segmental contribution to force impulses in long jump take-off. *Eur J Appl Physiol.*, 4: 267-274.
- Meylan, C.M.P., Ken, N., Jonathan, P.G., and John, B.C. (2010) Variability and influence of eccentric kinematics on unilateral vertical, horizontal, and lateral countermovement jump performance. *J Strength Cond Res.*, 24: 840-845.
- 村木征人 (1996) 陸上競技指導教本一種目別実技編一. 日本陸上競技連盟編. 大修館書店: 東京, pp. 169-186.
- Muraki, Y., Ae, M., Koyama, H., and Yokozawa, T. (2008) Joint Torque and Power of the Takeoff Leg in the Long Jump. *Int J Sport Hlth. Sci.*, 6: 21-32.
- 永松幸一・図子浩二 (1999) 踏切中の地面反力と身体の逆振り子運動からみたバウンディングの特性. *バイオメカニクス研究概論*: 356-360.
- 大宮真一・合屋十四秋 (2003) 陸上短距離選手のバウンディング動作: 助走速度の変化に伴う地面反力と踏切脚動作の検討. *愛知教育大学保健体育講座研究紀要*, 28: 37-43.
- 大宮真一・木越清信・尾縣 貢 (2009) リバウンドジャンプ能力が走り幅跳び能力に及ぼす影響: 小学6年生を対象として. *体育学研究*, 54: 55-65.
- 尾縣 貢・生田香明・猪熊 真・関岡康雄・大山良徳・近藤 潤 (1988) スキッピングトレーニングが体力, 疾走能力, 疾走動作に与える影響. *体育学研*

- 究, 49: 435-445.
- 尾縣 貢・中野正英 (1992) 小学生における走幅跳びの合理的技術. 奈良教育大学紀要, 41(2): 23-29.
- 尾縣 貢・中野正英・岡沢祥訓 (1993) 脚伸展パワーが走幅跳びに及ぼす影響: 小学5年生の場合. 奈良教育大学紀要, 41: 35-45.
- Ramey, M.R. and Williams, K.R. (1985) Ground reaction force in the triple jump. *Int J Sport Biomech.*, 1: 233-239.
- 志賀 充・尾縣 貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクスおよびキネティクスの関係: 膝関節と股関節に着目して. *体力科学*, 53: 157-166.
- Stephanie, L.J. and Graham, E.C. (2003) Mono- and biarticular muscle activity during jumping in different directions. *J Appl Biomech.*, 19: 205-222.
- 谷川 聡・島田一志・岩井浩一・尾縣 貢 (2008) 競技者と一般人の走および歩動作の特徴. *体育学研究*, 53: 75-85.
- Tauchi, K., Endo, T., Ogata, M., Matsuo, A., and Iso, S. (2008) The characteristics of jump ability in elite adolescent athletes and healthy males: The development of countermovement and rebound jump ability. *Int. J. Sport. Hlth. Sci.*, 6: 78-84.
- 築野 愛・阿江通良・小山宏之・村木有也・高本恵美 (2011) 世界一流女子三段跳選手の踏切動作に関するバイオメカニクスの研究. *陸上競技研究*, 84: 23-31.
- 植田恭史 (1992) 記録更新に伴う技術的变化・要因に関する一考察: 15 m10から16 m66に成長した三段跳び選手より. *東海大学紀要*, 体育学部, 21: 23-28.
- 植田恭史 (2007) コーチング研究 [VI]: 跳躍種目のコントロールテスト. *東海大学紀要*, 体育学部, 37: 75-83.
- 植田恭史・広川龍太郎 (2001) 跳躍競技のパフォーマンス及びコントロールテストとスクワット動作の等速性筋力の関係. *東海大学紀要*, 体育学部, 30: 95-101.
- 植田恭史・鎌田 貴・古谷嘉邦 (1989) 三段跳における世界一流選手と日本の15~16 m, 13~14 m 選手との比較—跳躍距離, 跳躍比, 接地時間と滞空時間について. *東海大学紀要*, 体育学部, 19: 49-56.
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Loco.*, 1: 92-93.
- 米田継武 (1989) すばやい力発揮の制御. *J.J. Sports. Sci.*, 10: 657-662.
- 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 (1995) バリスティックな伸張-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.
- 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.

(平成24年2月3日受付)
(平成24年11月26日受理)