

片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性： 両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプと比較して

蒔山 靖¹⁾ 遠藤 俊典²⁾ 藤井 宏明³⁾
森 健一¹⁾ 尾縣 貢⁴⁾ 関子 浩二⁴⁾

Yasushi Kariyama¹, Toshinori Endo², Hiroaki Fujii³, Kenichi Mori¹, Mitsugi Ogata⁴ and Koji Zushi⁴: The characteristics of takeoff movement and joint kinetics during the rebound-type jump using single-leg takeoff: comparison with the rebound-type jump using double-leg takeoff. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.* 57: 143-158, June, 2012

Abstract : The present study was conducted to clarify points for attention, and to determine an effective method for the single-leg rebound-type jump (SRJ) and double-leg rebound-type jump (DRJ) in plyometrics, by investigating the joint kinematics and kinetics of the takeoff leg in the sagittal plane. Twelve male track and field athletes (sprinters and jumpers) performed the SRJ and DRJ with maximal effort. Jumping motions in the sagittal plane were videotaped with a high-speed video camera (300 Hz), and ground reaction force was recorded with a force platform (1000 Hz). Kinematics and kinetics were calculated. To evaluate the force output characteristics for a single leg in the DRJ, the ground reaction force was divided into half, and the data were used to calculate the other kinetic parameters. The overall results of these analyses were as follows:

1. In the SRJ, the jump height for a single leg and the landing height for a single leg were higher than in the DRJ because of the higher mechanical power used during the eccentric and concentric phases.
2. In the SRJ, the negative relative work at the ankle joint was smaller and the negative and positive relative work at the hip joint was larger than in the DRJ. These results affected the characteristics of the SRJ in that although the jump height was higher for a single leg because of the greater mechanical work, the force output time was longer.
3. In the SRJ, the joint extension torque at the hip joint was larger than that in the DRJ. This may have been caused by the greater landing height for a single leg, higher body weight on a single leg, and the leg swing motion.
4. The RJ-index for the SRJ was correlated with that for the DRJ. Moreover, the RJ-index for the SRJ was affected by the joint torque and joint torque power at the ankle and hip joints.

These results suggest that the DRJ and SRJ are effective training tools for improving both technique and force output ability in order to (1) prioritize the power output at the ankle plantar flexor in the DRJ

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) 青山学院大学社会情報学部
〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1

3) 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

4) 筑波大学人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

連絡先 蒔山 靖

1. *Doctoral Program in Physical Education, Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

2. *School of Social Informatics, Aoyama Gakuin University*

5-10-1 Fuchinobe, Chuo, Sagami-hara, Kanagawa 252-5258

3. *Department of Physical Education, International Pacific University*

721 Kanonji, Seto, Higashi, Okayama 709-0863

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

1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574

Corresponding author y_kariyama@yahoo.co.jp

and (2) prioritize the power output at the hip extensor and increase the ground reaction force and hip extension torque by leg swing motion for the SRJ. These findings are useful for clarifying the points for attention and for developing an effective method of using the SRJ and DRJ in plyometrics.

Key words : plyometric training, stretch-shortening cycle, joint torque, joint torque power

キーワード：プライオメトリックトレーニング，伸張—短縮サイクル，関節トルク，関節トルクパワー

I 緒 言

陸上競技の短距離，跳躍種目，球技スポーツなどの多くのスポーツ競技において，優れたパフォーマンスを達成するためには，それぞれの運動課題に対応しながら下肢が大きなパワーを発揮することが重要になると考えられる．この能力を向上させるための代表的なトレーニング手段としてプライオメトリックスが挙げられる．下肢のプライオメトリックスに関する研究では，両脚踏切で鉛直方向へ跳躍するリバウンド型ジャンプ (Double-leg Rebound-type Jump: DRJ) を対象としたものが多い．なかでも，DRJ の動作様式や力発揮特性に着目した先行研究は数多く存在している (Bobbert et al., 1987ab; Bobbert, 1990 ; 冨子・高松, 1995, 1996)．それに加えて，各種の運動能力に対する DRJ のトレーニング効果についても十分な検討がなされており (Markovic, 2007; Markovic and Mikulic, 2010; Villarreal et al., 2009, 2010)，DRJ をトレーニング手段として用いることに対する有用な知見は多数存在している．しかし，実際のスポーツ競技では，DRJ のように両脚踏切だけでなく，片脚踏切においてパワーを発揮する場面が多く存在していることも事実である．そのために，トレーニング現場では，両脚踏切だけでなく片脚踏切のリバウンド型ジャンプ (Single-leg Rebound-type Jump: SRJ) についても，トレーニング手段として頻繁に用いられている．この SRJ に関する研究について見ると，足関節の不安定性 (Delahunt et al., 2006)，パワー発揮能力の左右差 (Schiltz et al., 2009)，膝関節の屈曲範囲の異なる各種 SRJ における動作の相違 (森長ほか, 2007)，SRJ の遂行能力を用いて競技種目特性を評価したもの (村上

ほか, 2007)，あるいは片脚踏切が特徴的であるバスケットボールのレイアップシュートを想定したジャンプの遂行能力と SRJ および DRJ の遂行能力との関係 (Miura et al., 2010) の検討がなされている．一方，下肢のプライオメトリックスは，下肢関節に作用する筋群をトレーニングするためのものであることから，トレーニング手段の特性を理解するためには，各関節のトルクやトルクパワーの知見が必要不可欠になると考えられる．しかし，両脚踏切における DRJ に関する下肢関節の力発揮特性については多くの研究が存在しているものの，片脚踏切における SRJ を対象に検討した研究は見当たらず，下肢のプライオメトリックスとして SRJ が用いられる場合には，指導者やトレーニング実施者の経験的な判断のみに委ねられているのが現状である．

SRJ と DRJ とでは，運動を遂行する上での前提条件が大きく異なっていることが考えられる．具体的には，SRJ は片脚踏切であることから，基底面が狭く力学的に不安定であり，それに対する身体各部の使い方や筋力発揮に関する微調整が要求されること，腕や反対脚による振込動作が発生すること，片脚で身体質量を保持するために，骨盤の安定性に関与する力学的な特徴や周辺筋群の筋力発揮特性が変化すること，さらに片脚あたりが支持する必要のある身体質量が大きいことなどの相違のあることが推察できる．これらの相違が存在するために，各関節のキネマティクスからみた動き，あるいはトルクやトルクパワーからみた力発揮特性には大きな相違が生じていると予想される．したがって，両ジャンプの力発揮の相違を明らかにすることができれば，SRJ と DRJ を下肢のプライオメトリックスとして用いる際の留意点が明確にできるとともに，効果的な利用法を考案することができると推察される．なお，上述

のようなSRJとDRJの相違が出現する機序を説明するためには、3次元的な計測が不可欠になることも予想できる。しかし、それでもこれらの機序によって出現する結果は、2次元的な計測においても十分捉えることができると考えられる。そして、前述したように、DRJに関する研究知見のほとんどは、矢状面上による2次元的な計測によるものである。したがって、2次元的な計測にもとづいてSRJとDRJの相違を検討するとともに、これまでの先行研究の知見も参考にすることができれば、下肢のプライオメトリックスとしてSRJを用いる際の留意点や効果的な利用法を提示することができると考えられる。

そこで本研究では、2次元的な計測を利用することによって、各関節のキネマティクスからみた動き、あるいはトルクやトルクパワー、仕事からみた特性を手がかりにして、SRJとDRJによる相違を検討するとともに、それぞれを下肢のプライオメトリックスとして用いる際の留意点や効果的な利用法について明らかにすることを目的とした。

II 方 法

1. 被検者

被検者には、陸上競技の短距離および跳躍種目を専門とする男性12名（Age, 22.0 ± 2.2 years; Height, 175.0 ± 6.1 cm; Weight, 65.8 ± 4.0 kg）を用いた。実験を開始するにあたり、すべての被検者に本研究の目的、方法および実験にともなう安全性を十分に説明し、実験に参加のための同意を得た。被検者は、本研究で用いた実験試技を日常から定期的に行なっていたが、事前に実験試技に関する説明を行ない、実験の数日前から十分に練習を行なわせた。なお、これらの手順は、筑波大学人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得て行われた。

2. 実験運動

片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプとして、立位姿勢からその場で片脚を交互に入れ替え

て10回連続して跳躍する運動（Single-leg Rebound-type Jump: SRJ）を、両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプとして、立位姿勢からその場で両脚踏切を用いた5回連続して跳躍する運動（Double-leg Rebound-type Jump: DRJ、遠藤ほか、2007）を用いた。SRJについては、被検者自身の判断から、SRJを行ないやすい方の脚を被検脚とした。本研究は両ジャンプを下肢のプライオメトリックスとして用いる際の留意点や効果的な利用法について明らかにすることを目的としたため、被検者が運動課題を達成しやすいように腕や脚の振込動作についての制限を加えなかった。いずれのジャンプについても、できる限り踏切時間を短くし、できる限り高く跳ぶことを口頭で指示して行なわせ、10回あるいは5回のジャンプ中においてフォームを崩さず、かつ被検者の内省の良かった試技の中から、後述するRJ-indexが最も高い値を示したものを分析に用いた。なお、試技間には疲労の影響を無くすために十分な休息をとらせた。

3. 測定項目および測定方法

両ジャンプの動作を、被検者の側方から高速ビデオカメラ（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。また、実験運動をフォースプラットフォーム（Kistler社製、9287B）上で行うことにより、撮影と同時に地面反力を測定した。地面反力は、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。地面反力と画像を同期するために同期ライトをカメラに写し込み、同時に同期信号をA/D変換ボードを介してコンピューターに取り込んだ。撮影されたビデオ画像をパーソナルコンピューター（SONY社製、VGN-TT50B）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、FrameDIAS II Ver.3 for Windows）を用いて、毎秒150フレームで全身23点（両下肢の足先・拇指球・かかと・外果・腓骨頭・大転子、両上肢の肩峰突起・肘・手首・中手骨および胸骨上縁・耳珠点・頭頂部）と較正マー

ク（被検者の近傍4点）の2次元座標を読み取った。動作分析は、フォースプラットフォームへの接地10フレーム前から離地後10フレームにわたって行なった。画像から読み取った身体各部の座標は、校正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数（x成分：4.5-10.5 Hz, y成分：6.0-10.5 Hz）をWells and Winter (1980)の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。

4. 算出項目

地面反力の波形から踏切時間と滞空時間を求め、滞空時間を以下の式に代入することにより跳躍高を算出した。また、分析試技直前の跳躍における跳躍高を算出し、落下高とした。

$$\text{跳躍高} = 8^{-1} \cdot 9.81 \cdot \text{滞空時間}^2,$$

9.81は重力加速度 (m/s²)

RJ-index は、跳躍高を踏切時間で除すことで算出した（図子ほか，1993；遠藤ほか，2007）。下肢の関節角度を算出し、角度変位を時間微分することで角速度を算出した。足関節は拇指球と外顆、腓骨頭と外顆それぞれを結んだ線分、膝関節は腓骨頭と外顆、大転子と腓骨頭それぞれを結んだ線分、股関節は大転子と腓骨頭、肩と大転子それぞれを結んだ線分がなす角度と定義した。この時、関節角速度の正の値は伸展、負の値は屈曲を示すこととした。得られた鉛直方向の地面反力データから、後述する踏切局面前半（Ecc.局面）および後半局面（Con.局面）それぞれの力積を算出し、それぞれの局面に要した時間で除すことで力学的パワーを算出した（深代，1992）。なお、DRJにおいては片脚あたりの値を算出するために地面反力データを半分にした値を用いた。

関節トルク（以下、トルク）と関節力を算出するために、上肢を手、肘および肩関節で、下肢を足、膝および股関節で分割した2次元リンクセグメントモデルを構築した。また、Free Body Diagramにもとづき、各部分の近位端に作用するトルクと関節力を運動方程式により求め、トルクと関節角速度の内積を関節トルクパワー（以

下、トルクパワー）とし、Ecc.およびCon.局面における伸展トルクの平均値、および踏切局面における負および正のトルクパワーの平均値を算出した。本研究では、負および正のトルクパワーをそれぞれ時間積分することで関節仕事を求め、下肢3関節の関節仕事の総和である総仕事から各関節の関節仕事の割合（貢献度）を算出した。さらに、腕および脚の振込動作が踏切脚の股関節のトルク発揮に及ぼす影響（Hara et al., 2006）について検討するために、上記のトルクを求める運動方程式を体幹セグメントに適用し、両上肢の肩関節トルクと肩関節力（以下、腕の振込によるトルク）、および振込脚の股関節トルクと股関節力によって生成されるトルク（以下、振込脚によるトルク）を算出した。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）の身体部分慣性係数を用い、DRJの下肢3関節におけるトルクおよび関節力の算出には地面反力データを半分にした値を用いた。

5. 動作の局面分けおよびデータの規格化・平均化

本研究では、踏切局面を踏切足の着地から離地までとし、踏切局面を身体重心の最下降地点を基準に、踏切前半（Ecc.局面）および踏切後半（Con.局面）の2つの局面に分けた。両ジャンプにおいて各被検者が踏切局面に要した時間を100%としてデータを規格化し、1%ごとに平均した。また、地面反力、トルクを被検者の体重で規格化した。なお、踏切局面におけるEcc.局面とCon.局面の時間比は、SRJでは44.30±2.89：55.70±2.89、DRJでは41.13±3.59：58.87±3.59であった。

6. 統計処理

各測定項目は平均値±標準偏差で示した。本研究ではSRJとDRJの平均値の差を検定するために対応のあるt検定を用いた。相関係数はPearsonの方法を用いて算出した。なお、有意性は危険率を5%未満で判定し、10%未満を有意傾向として扱った。

Table 1 Contact time, impulse, jump height and RJ-index in SRJ and DRJ

Variables	SRJ	DRJ
Contact time (s)	0.219 ± 0.022*	0.147 ± 0.019
Ecc. (s)	0.097 ± 0.010*	0.061 ± 0.009
Con. (s)	0.122 ± 0.015*	0.087 ± 0.012
Impulse (Ns/kg)	6.97 ± 0.34*	3.81 ± 0.20
Ecc. (Ns/kg)	3.39 ± 0.15*	1.81 ± 0.20
Con. (Ns/kg)	3.58 ± 0.30*	2.00 ± 0.16
Jump height (m)	0.309 ± 0.032*	0.503 ± 0.053
RJ-index	1.420 ± 0.185*	3.469 ± 0.574

* represent a significant difference between SRJ and DRJ, $p < 0.05$.

Ⅲ 結 果

SRJはDRJと比較して、RJ-indexおよび跳躍高は有意に低く、踏切時間は踏切局面全体でも、踏切前半と後半に分けてみても有意に長いことが認められた (Table 1). SRJおよびDRJの踏切前半に受け止めるエネルギーを反映する落下高の高さは、跳躍高に相当することから、落下高についても有意に低いことが認められた (SRJ: 0.315 ± 0.032 m vs DRJ: 0.507 ± 0.048 m). しかし、この跳躍高 (落下高) を片脚あたりにして比較した場合には、SRJはDRJと比較して、逆に有意に高くなることが認められた (SRJ: 0.309 ± 0.032 m vs DRJ: 0.253 ± 0.024 m).

Fig. 1には、鉛直方向、前後方向および左右方向それぞれの地面反力の時系列的な変化パターンを、片脚あたりにして規格化時間で示した. SRJはDRJと比較して、鉛直地面反力については、踏切局面全体にわたって大きい値で推移していた. 前後方向の地面反力の変化パターンは、SRJとDRJともに類似しているとともに、大きさも同程度であり、鉛直地面反力に比べて小さい値で推移していた. また、左右方向の地面反力は、SRJにおいては、鉛直および左右方向の地面反力に比べて極めて小さい値で推移していた. なお、本研究ではフォースプレートを一枚しか用いていないことから、DRJにおいては片脚ずつの

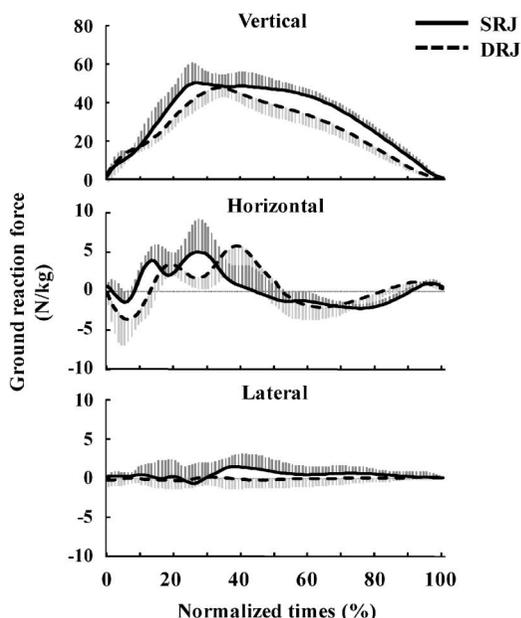


Fig. 1 Averaged patterns of vertical, horizontal and lateral ground reaction force during takeoff phase in SRJ and DRJ.

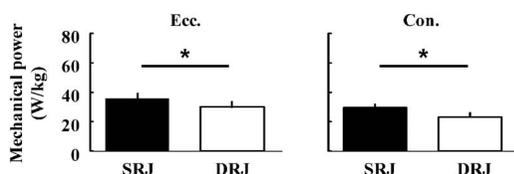


Fig. 2 Comparison of mechanical power during takeoff phase between SRJ and DRJ.

*represent a significant difference between SRJ and DRJ, $p < 0.05$.

力の計測を行なうことができなかった. そのため、DRJにおいては、特に左右方向に限っては、片脚ずつの計測値とは大きく異なることも予想されるが、図には参考値として示してある. 鉛直方向の体重あたりの力積についても、片脚あたりにして比較した場合には、SRJはDRJと比較して、全体でも、踏切前半と後半に分けてみても有意に高いことが認められた (Table 1).

Fig. 2には、重心のなした力学的パワーを片脚あたりにして、Ecc.およびCon.局面に分けて示した. SRJはDRJと比較して、両局面ともに有

Table 2 Angle and angular displacement about the ankle, knee and hip joints in SRJ and DRJ

	SRJ	DRJ	SRJ-DRJ
Ankle angle (deg.)			
landing	148.62±9.40	141.42±6.95	7.20*
minimum	112.93±6.66	110.09±7.50	2.84
takeoff	156.58±4.41	158.68±4.81	-2.10
.....			
Dorsiflexion	125.69±8.35	121.33±3.86	4.36*
Plantarflexion	133.65±6.10	138.59±6.78	-4.94*
.....			
Knee angle (deg.)			
landing	156.81±5.01	145.46±4.94	11.35*
minimum	131.85±5.15	131.83±5.38	0.02
takeoff	172.77±5.14	171.66±5.10	1.11
.....			
Flexion	24.96±6.27	13.63±6.45	11.33*
Extension	40.92±5.53	39.83±5.73	1.09
.....			
Hip angle (deg.)			
landing	165.74±6.45	161.27±7.67	4.47*
minimum	152.32±5.85	158.20±5.13	-5.88*
takeoff	166.60±3.78	177.08±6.50	-10.48*
.....			
Flexion	13.42±4.10	3.08±4.97	10.35*
Extension	14.28±5.15	18.89±4.11	-4.61*

* represent a significant difference between SRJ and DRJ, $p < 0.05$.

意に大きいことが認められた。

Table 2 には、踏切局面の各時点（接地瞬時，最大屈曲時，離地瞬時）における下肢の関節角度と関節角度変位（屈曲範囲，伸展範囲）を示した。

SRJ は DRJ と比較して，接地瞬間の関節角度は下肢 3 関節ともに有意に大きい（伸展位で接地する）ことが認められた。また，関節角度変位については，下肢 3 関節ともに屈曲範囲は有意に大きい，足および股関節では伸展範囲が有意に小さいことが認められた。

Fig. 3 には，下肢の関節角速度，トルクおよびトルクパワーの時系列的な変化パターンを，片脚あたりにして規格化時間で示した。足関節については，SRJ および DRJ ともに各項目の変化パターンは類似していた。しかし，その大きさについて比較すると，SRJ は DRJ と比較して，関節角速度およびトルクパワーは，負の方向と正の方向のいずれにおいても低く推移する傾向を示した。なお，トルクは SRJ と DRJ でほとんど差のないことが認められた。膝関節については，SRJ および DRJ ともに各項目の変化パターンは類似

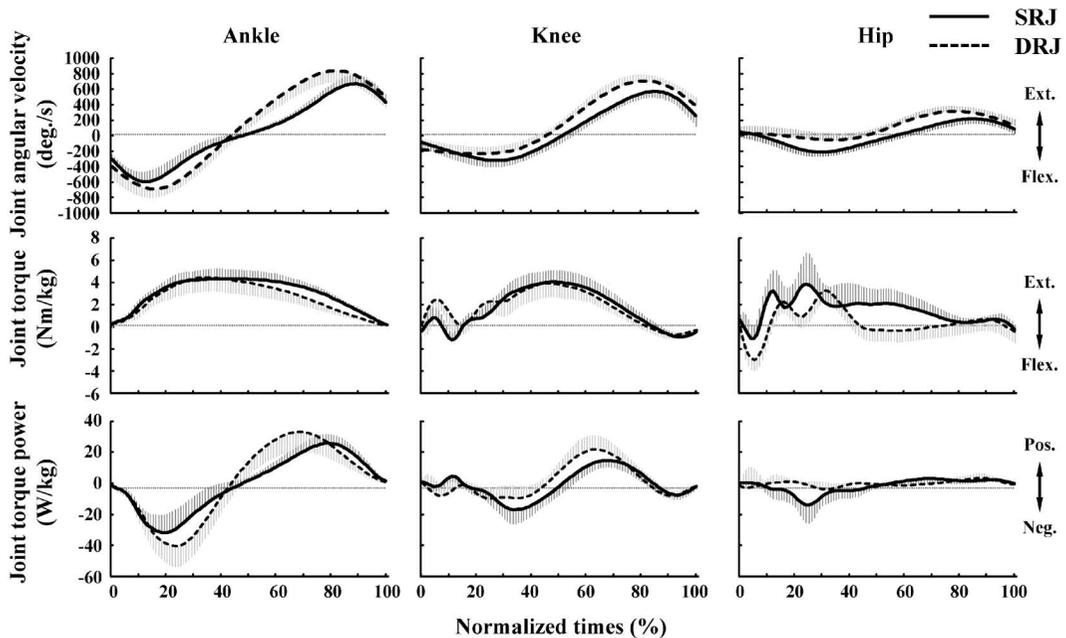


Fig. 3 Averaged patterns of joint angular velocity, joint torque and joint torque power about the ankle, knee, and hip joints during takeoff phase in SRJ and DRJ.

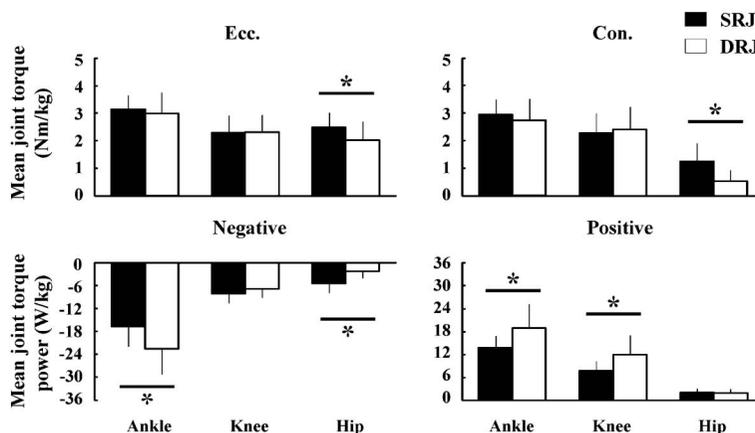


Fig. 4 Comparison of mean joint torque and mean joint torque power about the ankle, knee, and hip joints during takeoff phase between SRJ and DRJ.

*represent a significant difference between SRJ and DRJ, $p < 0.05$.

していた。しかし、その大きさについて比較すると、SRJはDRJと比較して、関節角速度およびトルクパワーは負の方向へ高く、正の方向へ低く推移する傾向を示した。なお、SRJはDRJと比較して、トルクは踏切局面の0%から20%あたりまで低く推移するが、その後はほとんど差のないことが認められた。股関節については、DRJではほとんどみられなかった屈曲速度や負のトルクパワーがSRJにおいては確認されており、異なる変化パターンを示す傾向にあった。また、その大きさは、SRJはDRJと比較して、負の関節角速度は高く、正の関節角速度は低く推移しており、トルクはほぼ踏切局面全体に渡って高く推移し、負のトルクパワーも高く推移している傾向を示した。なお、SRJおよびDRJともに、関節角速度は足や膝関節に比較して低く推移しており、トルクパワーも低く推移する傾向にあった。

Fig. 4には、Ecc.およびCon.局面における下肢3関節のトルクと、負および正のトルクパワーを片脚あたりの平均値で示した。SRJとDRJともに共通して、Ecc.およびCon.局面における平均トルク、負および正の平均トルクパワーともに、足関節は膝および股関節よりも大きな値を示し、特に、平均トルクパワーについては、足関節においてかなり大きな値を示した。また、

SRJはDRJと比較して、股関節では負および正の平均トルクが有意に大きく、負の平均トルクパワーも有意に大きいことが認められた。逆に、足関節では負および正の平均トルクパワーが有意に小さいことが認められた。なお、膝関節では正の平均トルクパワーが有意に小さいことが認められた。

Fig. 5には、踏切脚の関節仕事および貢献度を片脚あたりで示した。SRJとDRJともに共通して、関節仕事および貢献度ともに、足関節、膝関節、股関節の順に大きく、特に、足関節の貢献度は負および正ともに、50%以上を示した。また、SRJはDRJと比較して、股関節では負および正の関節仕事、貢献度ともに有意に大きいことが認められた。また、膝関節では負の関節仕事が有意に大きいことが認められた。逆に、足関節では負の貢献度が有意に小さいことが認められた。

Fig. 6には、両上肢（以下、腕）および振込脚（片脚踏切であるSRJのみ）における重心の鉛直加速度を規格化時間で示した。腕の鉛直重心加速度の変化パターンは両ジャンプで類似していたが、SRJはDRJと比較して、踏切局面全体にわたって低く推移する傾向を示した。また、SRJにおいてのみ、腕の鉛直重心加速度は、踏切局面の10%まで負の値で推移している傾向を示した。

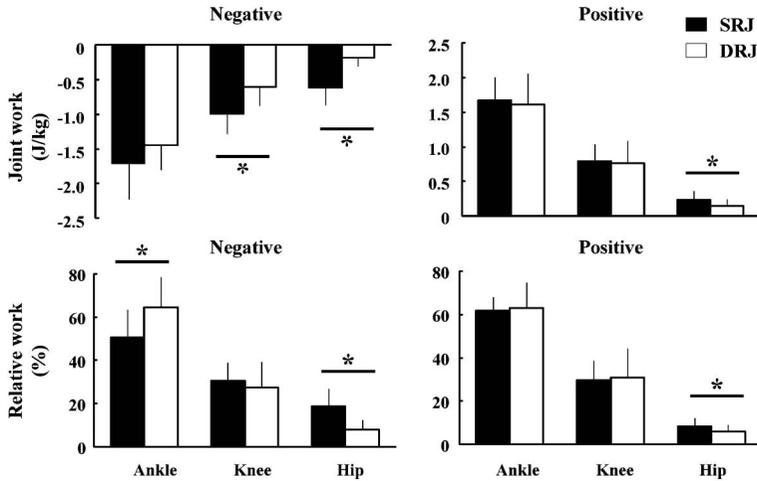


Fig. 5 Comparison of joint work and relative work done by joint torque about the ankle, knee, and hip joints during takeoff phase between SRJ and DRJ.

*represent a significant difference between SRJ and DRJ, $p < 0.05$.

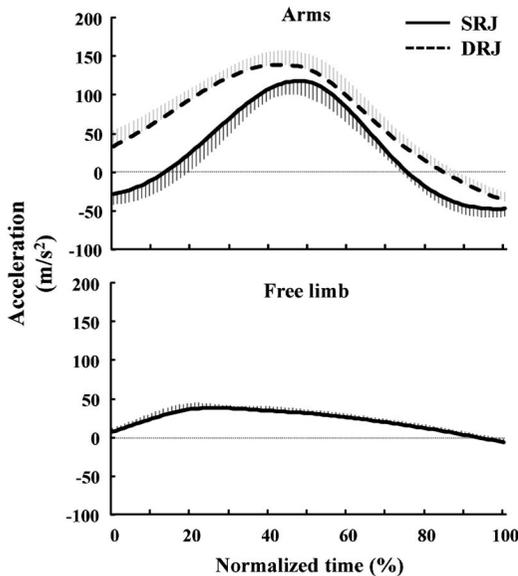


Fig. 6 Averaged patterns of vertical acceleration about the arms and free limb center of mass during takeoff phase in SRJ and DRJ.

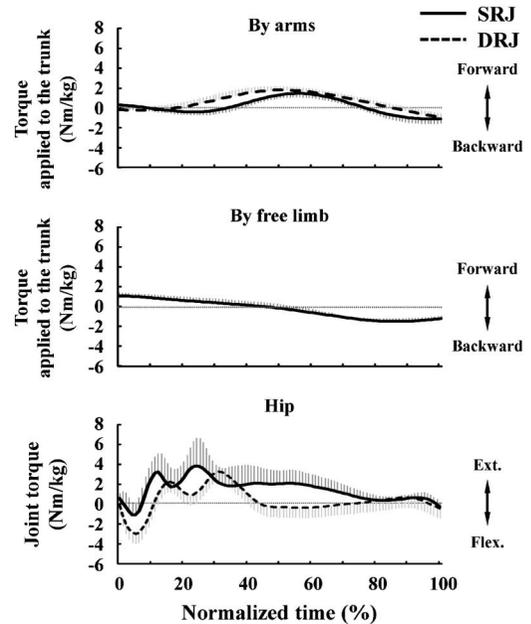


Fig. 7 Averaged patterns of the torque applied to the trunk by arms and free limb and hip joint torque about takeoff leg during takeoff phase in SRJ and DRJ.

なお、SRJ のみに存在する振込脚における鉛直重心加速度は、踏切局面の90%付近まで正の値で推移している傾向を示した。

Fig. 7 には、腕の振込によるトルク、振込脚によるトルクおよび踏切脚の股関節トルクの変化パ

ターンを規格化時間で示した。腕の振込によるトルクは、SRJ では踏切局面の30%付近から、DRJ では20%付近から80%付近まで正の値で推

移し、その後負の値で推移する傾向を示した。振込脚によるトルクは、踏切局面の40%付近まで正の値で推移し、その後負の値で推移する傾向を示した。

Fig. 8には、SRJのRJ-indexとDRJのRJ-indexとの間の相関関係を示した。両者の間には、有意な相関関係 ($r=0.827$, $p<0.001$) が認めら

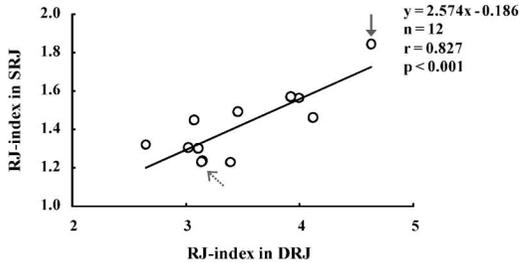


Fig. 8 Relationship between RJ-index in SRJ and RJ-index in DRJ.

↑: represents subject of good SRJ ability (Sub.A).

↑: represents subject of poor SRJ ability (Sub.B).

れた。なお、図中の矢印は、SRJのRJ-indexが最も高い被検者 (Sub. A: RJ-index; 1.850, Contact time; 0.173 s, Jump height; 0.320 m) と最も低い被検者 (Sub. B: RJ-index; 1.255, Contact time; 0.243 s, Jump height; 0.305 m) を示している (以後の図中に示される矢印も同様に扱った)。

Fig. 9には、SRJのRJ-indexとEcc.局面の平均トルク、Con.局面の平均トルク、負の平均トルクパワーおよび正の平均トルクパワーとの間の相関関係について、足および股関節それぞれについて示した。足関節において、SRJのRJ-indexとEcc.局面の平均トルクとの間 ($r=0.716$, $p<0.01$) に相関関係が認められ、Con.局面の平均トルクとの間 ($r=0.530$, $p=0.077$)、負の平均トルクパワーとの間 ($r=-0.566$, $p=0.054$) に相関関係のある傾向がみられ、さらに、Ecc.局面の平均トルクとCon.局面の平均トルクとの間 ($r=0.937$, $p<0.0001$)、負の平均トルクパワーと正の平均トルクパワーとの間 ($r=-0.757$, $p<0.01$) に有意な相関関係が認められた。また、股

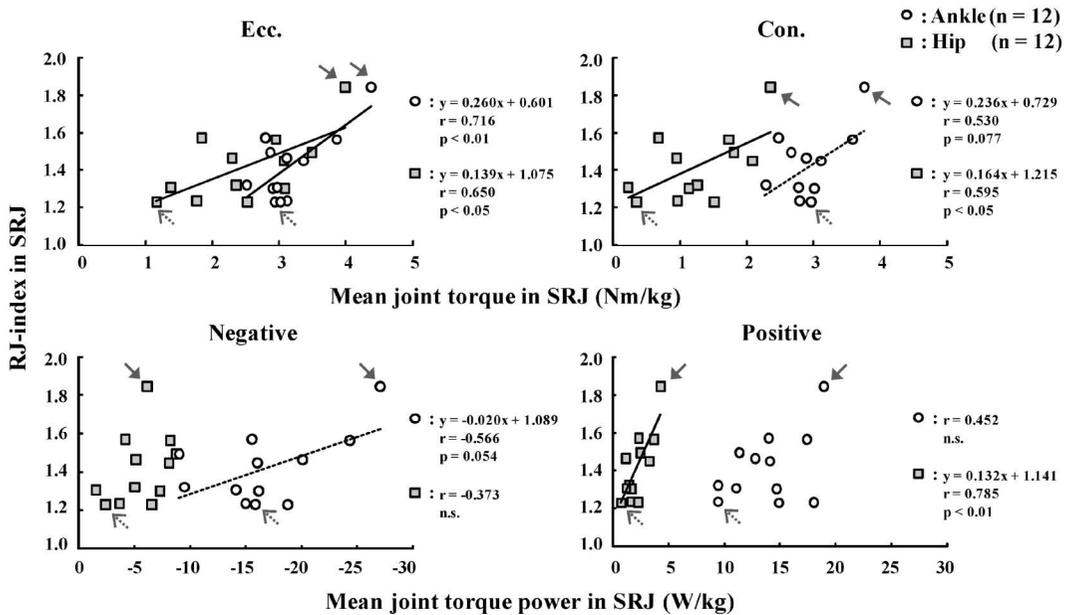


Fig. 9 Relationships between RJ-index and mean joint torque, mean joint torque power about ankle and hip joints in SRJ.

↑: represents subject of good SRJ ability (Sub.A).

↑: represents subject of poor SRJ ability (Sub.B).

関節においては、SRJのRJ-indexとEcc.局面の平均トルクとの間 ($r=0.650, p<0.05$), Con.局面の平均トルクとの間 ($r=0.595, p<0.05$), 正の平均トルクパワーとの間 ($r=0.785, p<0.01$) に有意な相関関係が認められ、さらに、Ecc.局面の平均トルクとCon.局面の平均トルクとの間 ($r=0.920, p<0.0001$), 負の平均トルクパワーと正の平均トルクパワーとの間 ($r=-0.643, p<0.05$) に有意な相関関係が認められた。なお、SRJのRJ-indexと膝関節の平均トルクとの間 (Ecc.: $r=-0.169, p=0.610$, Con.: $r=-0.186, p=0.573$), および平均トルクパワーとの間 (Negative: $r=-0.092, p=0.782$, Positive: $r=-0.047, p=0.887$) には有意な関係性はみられなかった。

IV 考 察

1. 本研究における対象者

本研究では2次元的な計測を利用することによって、各関節のキネマティクスからみた動き、あるいはトルクやトルクパワー、仕事の結果を手がかりにして、最大努力で実施するSRJとDRJの特性に関する相違を明らかにしようとした。そのために、日頃からSRJおよびDRJをトレーニング手段として用いており、体育大学で陸上競技を専門とする短距離選手および跳躍選手を対象にした。また、実験条件下における事前練習を十分に行わせることによって、両ジャンプ運動を最大努力で精度よく行うことができるようにした。その結果、本研究におけるDRJのRJ-indexは、国内一流陸上競技選手を対象とした値 (Tauchi et al., 2008) と比較しても高く、腕振り動作による跳躍高の増加率 (Laffaye et al., 2006) を加味した値 (estimate value of RJ-index=3.299) と比較しても高い値を示した。同様に、SRJについても、バスケットボール選手を対象にSRJのRJ-indexを示した研究 (Miura et al., 2010) と比較して高い値を示した。

以上のことは、本研究の被検者は、両ジャンプ運動において「できるだけ踏切時間を短く、かつ

高く跳躍する」という運動課題を、極めて高いレベルで適切に遂行していたことを示すものである。したがって、本研究の実験結果は、最大努力で実施するSRJとDRJによる特性の相違を検討するのに適した条件でのものであったと考えられる。

2. DRJとの比較からみたSRJにおけるパフォーマンスの特性

SRJはDRJと比較して、踏切時間は長く、跳躍高は低い値を示した (Table 1)。しかし、片脚あたりでみると、SRJの跳躍高はDRJの61.4%となっており (50%以上)、片脚あたりではより高く跳ぶことができる跳躍運動であることが認められた。また、SRJとDRJともに、連続跳躍であることから、前の跳躍で獲得した跳躍高は、次の跳躍への落下高となるために、片脚あたりでみた踏切前半に受け止める落下エネルギーも同様に高いことが推察できる。さらに、力学的パワーは、SRJはDRJと比較して、Ecc.およびCon.局面において有意に大きいことが認められた (Fig. 2)。したがって、片脚あたりでみた場合には、SRJはDRJと比較して、Ecc.およびCon.局面ともに大きなパワーを発揮し、DRJよりも高い跳躍高を獲得するとともに、より高い高さから落下する身体を受け止め、切り返しながらか連続跳躍を行っていることが示された。

次に、踏切脚の下肢関節がなした仕事に着目すると、SRJはDRJと比較して、股関節における負および正の関節仕事とその貢献度が大きいことが認められた (Fig. 5)。股関節は、大殿筋や内転筋群などの大きな面積および容積を持つ筋群が多数介在していることから、自らが大きな力を発揮できる構造的・機能的特性を有することが示されている (図子ほか, 1998)。これらのことから、片脚踏切であるSRJが高い跳躍高を獲得しながら連続跳躍を遂行できる背景には、大きな力を発揮できる股関節の貢献度が大きいという特性が影響していることが考えられる。これに対して、足関節では、SRJはDRJと比較して、負の仕事の貢献度が小さい値を示した (Fig. 5)。リバウ

ンド型ジャンプにおいて踏切時間を短縮するためには、質量や慣性モーメントの大きな身体部位（股関節）を動かさず、短時間に大きなパワーを発揮できる構造的・機能的特性を有する足関節の貢献度が大きいことが重要になることが示されている（図子・高松，1995；図子ほか，1998）。これらのことから、SRJの踏切時間がDRJより長くなる背景には、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い、すなわち大きな仕事を遂行し大きな力積を獲得して高く跳ぶことはできるが、短時間での運動遂行には劣るという運動特性が影響していることが考えられる。

上述のような下肢各関節の働きに相違が生じる機序については、(1)SRJは片脚踏切であることから、基底面が狭く力学的に不安定であり、それに対する身体各部の使い方や筋力発揮が行われていること、(2)腕や反対脚による振込動作が発生すること、(3)片脚で身体質量を保持するために、骨盤の安定性に関与する力学的な特徴や周辺筋群の筋力発揮特性が変化すること、(4)片脚あたりが支持する必要のある身体質量が大きいこと、以上のことが推察できる。

まず、(1)について考えると、SRJの基底面はDRJよりも左右方向において著しく小さくなると思われる。しかし、SRJとDRJとの間に、前後方向の成分による地面反力の変化パターンやその大きさに違いはなく、鉛直地面反力の大きさに比較して極めて小さい値で推移していた。また、SRJの左右方向の成分による地面反力においては、他の方向の地面反力よりも極めて小さい値であったことから、地面反力の結果から判断する限りでは、基底面が狭く力学的に不安定であることによって違いが生じているとは考えられない。次に(2)について、踏切における腕および脚の鉛直重心加速度から検討した。その結果、DRJにおける腕の鉛直重心加速度は、踏切局面の約80%までは正に推移していたのに対して、SRJでは踏切局面の約10%までが負に推移する傾向を示した（Fig. 6）。このことは、SRJにおける腕の振込動作が身体重心の正の加速度を減少させている

こと、すなわち鉛直地面反力を減少させるように機能し、Ecc.局面においては緩衝作用を行っていたことが推察される。一方、SRJにおける振込脚の鉛直重心加速度は、踏切局面の約90%まで正に推移していた。これらのことから、SRJにおける脚の振込動作は、Con.局面においては腕の振込動作と共に鉛直地面反力を増大させるように働くことで、他の関節よりも大きな力を発揮できる股関節（図子ほか，1998）の貢献を大きくし、高い跳躍高を獲得できたことが考えられる。この詳細は、後述のトルクおよびトルクパワー発揮特性の内容のところで説明を加えてある。(4)について考えてみると、SRJにおける片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいことが影響を及ぼし、股関節の貢献が大きくなり、高い跳躍高を獲得できたことが考えられる。なお、(3)については、2次元的な計測にもとづいている本研究の結果から判断することは不可能であり、今後、3次元的な計測にもとづいた研究を推進することが必要になるであろう。

以上のことから、最大努力で「できるだけ踏切時間を短く、かつ高く跳躍する」という指示のもとで実施しているにも関わらず、SRJはDRJと比較して、高い跳躍高を獲得するとともに、より高い落下高からの身体を受け止め、繰り返しながら連続跳躍を行っている運動であることが明らかになった。また、高い跳躍高を獲得できる背景には、片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいこと、腕や反対脚による振込動作によって大きな鉛直地面反力を獲得できるようになるとともに、これに伴ってパワー発揮に優れている足関節の貢献度が小さくなり、大きな力の発揮に優れている股関節の貢献度が大きくなるという運動特性の存在が示唆された。

3. DRJとの比較からみたSRJにおける動作の特徴

SRJはDRJと比較して、股関節における伸展範囲が小さいという動作特徴が認められた（Table 2）。しかし、前述したように、SRJはDRJと比較して、股関節の正の関節仕事は大き

く、高い跳躍高を獲得していたことが認められている。この場合の仕事は変位と力の2変数により算出されている。したがって、股関節の仕事が大きくなったことには、角度変位による影響はなく、大きな力が発揮されていること、すなわち後述するトルク大きさが影響したことが考えられる。一方、SRJはDRJと比較して、下肢3関節の屈曲範囲は大きかった (Table 2)。DRJにおいて、最大努力で「できるだけ踏切時間を短く、かつ高く跳躍する」という運動課題を達成するためには、踏切局面において下肢関節の動作範囲を小さくすること、特に、股関節の貢献度を大きくしないことが有効であること (図子・高松, 1995)、足および膝関節の屈曲範囲が小さいながらも伸展範囲を大きくすることが有効であること (図子・高松, 1996) などが報告されている。これらの踏切動作は、本研究のDRJの動作に関する結果とよく一致していたが、SRJの動作はそれと異なったものであった (Table 2)。これらの踏切動作が現れる背景には、上述の(4)で示したSRJにおける片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいことが影響していると考えられる。すなわち、SRJでは屈曲範囲を大きく取り、高い落下高による身体の持つエネルギーを緩衝するために、負の関節仕事が増大 (Fig. 5) していることが推察される。

4. DRJ との比較からみた SRJ におけるトルクおよびトルクパワー発揮特性

足関節に作用する筋群およびアキレス腱は、短時間に大きな力を発揮することに有利な構造的・機能的特性を有する (図子ほか, 1998)。そのため、両脚踏切を用いたりバウンド型ジャンプでは、足関節が発揮するトルクおよびトルクパワーが大きいことが報告されている (Bobbert et al., 1987a, 1990)。本研究のDRJ、さらにSRJにおいても先行研究と同様に、足関節が発揮したトルクおよびトルクパワーは他の関節と比較して顕著に大きかった (Fig. 4)。これらのことは、DRJとSRJともに、足関節が高い貢献を示す運動であることを示唆するものであった。そのような一

般的な特性について考慮しながら、SRJとDRJを比較すると、足関節の平均トルクに有意な差はみられなかったものの、SRJは負および正の平均トルクパワーが有意に低い値を示した (Fig. 4)。トルクパワーはトルクと角速度の内積によって算出されることから、このことには足関節の負および正の角速度が低いことが影響していると考えられる (Fig. 3)。足関節の負の角速度が足関節底屈筋群の伸張速度を反映していると仮定すると、SRJはDRJと比較して、足関節底屈筋群の伸張速度が低いことが推察される。伸張反射や弾性エネルギーの貯蔵と再利用などのSSC運動によってパワー発揮が増大する効果の大小は、筋の伸長速度の大きさに影響を受けることが報告されている (Cavagna et al., 1968; Aura and Komi, 1986)。したがって、SRJではDRJよりも、足関節底屈筋群およびアキレス腱におけるSSC運動の効果を有効利用できないことが考えられ、このことが、SRJにおける足関節の負の貢献度の低下、踏切時間の増大に影響していると推察される。

一方、股関節では、SRJはDRJと比較して、Ecc.局面における平均トルクおよび負の平均トルクパワー、Con.局面における平均トルクが有意に大きい値を示した (Fig. 4)。SRJはDRJと比較して、股関節の伸展範囲が有意に小さい値を示したこと (Table 2) を考慮すると、SRJにおける股関節の関節仕事が大きかったことには、股関節の伸展トルクの大きさが影響していると考えられる。すなわち、SRJにおける股関節伸展トルクが、片脚あたりの大きな跳躍高の獲得に影響を及ぼしていたことが推察される。ところで、本研究のように腕および脚の振込動作に制限を加えていない場合には、股関節伸展トルクの大きさは、振込動作による影響を受ける可能性のあること (Feltner et al., 1999; Hara et al., 2006) が報告されている。Hara et al. (2006) によれば、「腕を振込むことで体幹を前傾させようとするトルク (体幹に作用する肩関節トルクと、体幹に作用する肩関節力によって体幹の重心周りに働くトルク) が肩関節を通じて体幹に作用し、股関節伸展に対する負荷が高まることで一時的に伸展速度が

減少するため、筋の力—速度関係から股関節伸展トルクが増加する」と説明されている。そこで、前述したように本研究でも Hara et al. (2006) の方法にもとづいて、腕および脚の振込動作が股関節伸展トルクに及ぼす影響について検討した。その結果、体幹を前傾させようとするトルクは、腕の振込によるものは SRJ において踏切局面の約 30% から、DRJ において約 20% から約 80% まで生じていること、および SRJ における脚の振込によるものは踏切局面の約 40% まで生じていることが示された (Fig. 7)。これらのことから、腕の振込動作は SRJ と DRJ とともに、主に Con. 局面における股関節伸展トルクの増大に影響し、脚の振込動作は、SRJ における Ecc. 局面の股関節伸展トルクの増大に影響を及ぼしている可能性が示唆された。しかし、これらの可能性については、今後、両ジャンプにおいて振込動作を制限する試技としない試技の比較を行なうことによって、明らかにしていく必要があると考えられる。

5. SRJ の遂行能力に影響を及ぼす力発揮特性

これまでの結果から、SRJ は DRJ と比較して、足関節のトルクパワーが小さく股関節のトルクおよび負のトルクパワーが大きい運動であることが示された。しかし、このことは、SRJ における足関節のパワー発揮が運動課題の達成、すなわち優れた RJ-index を獲得するために重要でないことを意味しているわけではない。DRJ においては、足関節における力やパワー発揮が RJ-index に影響を及ぼすことが報告されている (図子ほか, 1995; Yoon et al., 2007)。また、SRJ と DRJ とともに共通して、Ecc. および Con. 局面におけるトルク、負および正のトルクパワーとともに、足関節は膝および股関節よりも大きく、特に、トルクパワーについては、足関節においてかなり大きいという特徴が認められている (Fig. 3 and 4)。また、本研究の結果から SRJ の RJ-index と DRJ の RJ-index の間には有意な相関関係 ($r = 0.827, p < 0.001$) が認められた (Fig. 8)。これらのことは、両脚踏切に優れる者は、片脚踏切に

も優れていることを意味するものであり、両ジャンプの遂行能力に影響する力発揮が類似していることを示唆するものであると考えられる。言い換えると、SRJ においても足関節の力やパワー発揮が重要であることを示唆するものである。

この可能性について検討した結果、足関節において、SRJ の RJ-index と Ecc. 局面の平均トルクとの間 ($r = 0.716, p < 0.01$) に相関関係が認められ、Con. 局面の平均トルクとの間 ($r = 0.530, p = 0.077$)、負の平均トルクパワーとの間 ($r = -0.566, p = 0.054$) に相関関係のある傾向がみられ、さらに、Ecc. 局面の平均トルクと Con. 局面の平均トルクとの間 ($r = 0.937, p < 0.0001$)、負の平均トルクパワーと正の平均トルクパワーとの間 ($r = -0.757, p < 0.01$) との間に有意な相関関係が認められ、股関節においてもほぼ同様の傾向が認められた (Fig. 9)。また、SRJ の RJ-index が最も高い被検者 A は、最も低い被検者 B よりも、足関節の平均トルクおよびトルクパワー (Fig. 9) はかなり大きく、また足関節の貢献度がかなり高くなっていることが認められた (Fig. 10)。これらのことは、SRJ においても DRJ と同様に、足関節の力およびパワー発揮は、短時間に高い跳躍高を獲得するための遂行能力に影響を及ぼしていること、さらに、股関節のトルクおよびトルクパワーは、下肢 3 関節の中では小さい値であるにもかかわらず、足関節と同様に SRJ の遂行能力に影響を及ぼしていることを示唆するものである。以上のことから、SRJ において短時間に高い跳躍高を獲得するための遂行能力に優れた者の力発揮特性は、本研究で示してきた一般的な DRJ の特性、言い換えると、足関節の貢献が大きくなるような力発揮特性に類似していることが示唆された。

6. 実践への示唆

本研究の結果から、最大努力で実施する SRJ と DRJ はともに共通して、足関節における力やパワー発揮が大きい跳躍運動ではあるものの、両ジャンプを比較した場合には、DRJ は足関節底屈筋群のパワー発揮を優先する技術や力発揮能力

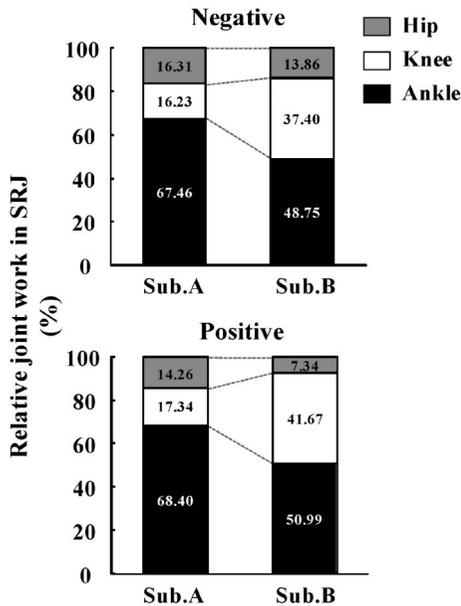


Fig. 10 Comparison of relative joint work done by joint torque during takeoff phase between Sub.A and Sub.B in SRJ.

の改善に対して、SRJは股関節伸筋群のパワー発揮を優先する技術や力発揮能力の改善に対して有効なトレーニング手段となる可能性が示唆された。また、SRJは脚の振込動作によって地面反力や股関節トルクを増大するための技術や力発揮能力の改善に有益なトレーニング手段となる可能性も示唆された。なお、他の片脚で行なう台上からのドロップジャンプや、障害物を連続して跳び越える片脚のハードルジャンプなどの片脚踏切の跳躍運動では、本研究によって明らかにしたSRJに内在する技術や力発揮特性と同様の特性や原則が存在していることが予想され、下肢のプライオメトリックスとして用いる際の留意点や効果的な利用法について考える場合の判断材料になることが考えられる。

V 要 約

本研究では、2次元的な計測を利用することによって、各関節のキネマティクスからみた動き、あるいはトルクやトルクパワー、仕事からみた特

性を手がかりにして、片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプ（Single-leg Rebound-type Jump: SRJ）と両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプ（Double-leg Rebound-type Jump: DRJ）による相違を検討するとともに、それぞれを下肢のプライオメトリックスとして用いる際の留意点や効果的な利用法について明らかにすることを目的とした。陸上競技の短距離および跳躍種目を専門とする男性12名を対象にSRJとDRJを行なわせ、それぞれの矢状面におけるキネマティクスおよびキネティクスの変量を算出した。なお、DRJにおいては、片脚あたりの値を算出するために地面反力データを半分にし、これらを他のキネティクスの変量の算出に用いた。主な結果は、以下の通りである。

- 1) SRJはDRJと比較して、Ecc.およびCon.局面ともに大きな力学的パワーを発揮し、高い跳躍高を獲得できるとともに、より高い高さから落下する身体を受け止めている連続跳躍であることが認められた。
- 2) SRJはDRJと比較して、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いことが認められた。このことが影響して、SRJは大きな仕事を遂行し大きな力積を獲得して高く跳ぶことはできるが、短時間での運動遂行には劣るという運動特性を持つことが示された。
- 3) SRJはDRJと比較して、片脚あたりの落下高と自重負荷が大きいことと、反対脚による振込動作があることによって股関節伸筋トルクが増大し、大きな鉛直地面反力を獲得できることが、上述の運動特性に影響している可能性が示唆された。
- 4) DRJの遂行能力に優れる者はSRJの遂行能力にも優れていることが認められた。また、SRJにおける足および股関節のトルクおよびトルクパワー発揮は、短時間に高い跳躍高を獲得するための遂行能力に影響を及ぼしていることが認められた。

本研究の結果から、DRJは足関節底屈筋群のパワー発揮を優先する技術や力発揮能力の改善に

対して、SRJは股関節伸筋群のパワー発揮を優先する技術や力発揮能力の改善に対して有効なトレーニング手段となる可能性が示唆された。さらに、SRJは脚の振込動作によって地面反力や股関節トルクを増大させるための技術や力発揮能力の改善に有益なトレーニング手段となる可能性も示唆された。これらの知見は、下肢のプライオメトリックスを実施する際の留意点や効果的な利用法について考える場合の判断材料になると考えられる。

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. *J.J. Sports Sci.*, 15: 155-162.
- Aura, O. and Komi, P.V. (1986) Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *Int. J. Sports Med.*, 7: 137-143.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A., and Van Ingen Schnau, G.J. (1987a) Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19: 332-338.
- Bobbert, M.F., Huijing, P.A., and Van Ingen Schnau, G.J. (1987b) Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19: 339-346.
- Bobbert, M.F. (1990) Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports Med.*, 9: 7-22.
- Cavagna, G.A., Dusman, B., and Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.*, 24: 21-32.
- Delahunt, E., Monaghan, K., and Caulfield, B. (2006) Changes in lower limb kinematics, kinetics, and muscle activity in subjects with functional instability of the ankle joint during a single leg drop jump. *J. Orthop. Res.*, 24: 1991-2000.
- 遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾懸 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.
- Feltner, M.E., Frascchetti, D.J., and Crisp, R.J. (1999) Upper extremity augmentation of lower extremity kinetics during countermovement vertical jumps. *J. Sports Sci.*, 17: 449-466.
- 深代千之 (1992) 垂直跳における発揮パワー：I パワー評価に関する簡便法の検討. *スポーツ医・科学*, 6(2): 5-9.
- Hara, M., Shibayama, A., Takeshita, D., and Fukushima, S. (2006) The effect of arm swing on lower extremities in vertical jumping. *J. Biomech.*, 39: 2503-2511.
- Laffaye, G., Bardy, B., and Taiar, R. (2006) Upper-limb motion and drop jump: effect of expertise. *J. Sports Med. Phys. Fitness.*, 46: 238-247.
- Markovic, G. (2007) Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br. J. Sports Med.*, 41: 349-355.
- Markovic, G. and Mikulic, P. (2010) Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med.*, 40: 859-895.
- Miura, K., Yamamoto, M., Tamaki, H., and Zushi, K. (2010) Determinants of the Abilities to Jump Higher and Shorten the Contact Time in a Running 1-Legged Vertical Jump in Basketball. *J. Strength Cond. Res.*, 24: 201-206.
- 森長正樹・青山亜紀・澤野大地・田端健児・本道慎吾・村上幸史 (2007) 片脚ドロップジャンプの踏切動作の相違が跳躍高，踏切時間，遂行能力に与える影響に関するトレーニング学的考察. *陸上競技研究*, 71(4): 29-36.
- 村上幸史・本道慎吾・澤野大地・田端健児・青山亜紀・小山裕三・安住文子・澤村 博 (2007) 片脚ドロップジャンプにおける下肢筋群の力・パワー発揮特性に関する研究—陸上競技 短距離，跳躍，投てき選手の比較から. *桜門体育学研究*, 42: 85-92.
- Schiltz, M., Lehance, C., Maquet, D., Bury, T., Crielaard, J.M., and Croisier, J.L. (2009) Explosive strength imbalances in professional basketball players. *J. Athl. Train.*, 44: 39-47.
- Tauchi, K., Endo, T., Ogata, M., Matsuo, A., and Iso, S. (2008) The Characteristics of Jump Ability in Adolescent Elite Athletes and Healthy Males: From the viewpoint of the development of countermovement and rebound jump ability. *Int. J. Sport. Hlth. Sci.*, 6: 78-84.
- Villarreal, E.S., Kellis, E., Kraemer, W.J., and Izquierdo, M. (2009) Determining Variables of Plyometric Training for Improving Vertical Jump Height Performance: A Meta-Analysis. *J. Strength Cond. Res.*, 23: 495-506.
- Villarreal, E.S., Requena, B., and Newton, R.U. (2010) Does plyometric training improve strength performance? A meta-analysis. *J. Sci. Med. Sport.*, 13: 513-

522.

Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: *Human Locomotion 1* (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics). pp. 92-93.

Yoon, S., Tauchi, K., and Takamatsu, K. (2007) Effect of ankle joint stiffness during eccentric phase in rebound jumps on ankle joint torque at midpoint. *Int. J. Sports Med.*, 28: 66-71.

図子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ競技者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.

図子浩二・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.

図子浩二・高松 薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響—膝関節角度に着目して—. *体力科学*, 45: 209-218.

図子浩二・西菌秀嗣・平田文夫 (1998) 筋収縮の違いからみた下肢三関節のトルク発揮特性. *体力科学*, 47: 593-600.

(平成23年4月11日受付)
(平成24年2月28日受理)

Advance Publication by J-STAGE

Published online 2012/4/5