

連続リバウンドジャンプトレーニングの実施が中長距離ランナーの 30m疾走能力、跳躍能力、足関節挙動の改善に与える影響

The effects of Repeated-Rebound-Jump training on the improvement of sprint ability, jump ability and ankle behavior in distance runners.

金 興烈 黒須 雅弘 島 典広 岡本 敦

HeungYoul KIM Masahiro KUROSU Norihiro SHIMA Atsushi OKAMOTO

東海学園大学 人間健康学部 人間健康学科

Department of Human Wellness, School of Human Wellness, Tokai Gakuen University

キーワード：リバウンドジャンプ、足関節挙動、RJ 指数、跳躍高、30m 疾走能力

Key words : Rebound-Jump, ankle behavior, RJ-index, jump height, sprint ability

要旨

神経生理学に基づいたプライオメトリックトレーニングの特徴は、筋の伸張反射の増強効果と筋腱複合体の弾性要素の効率を上げることが目的である。本研究では、中長距離ランナーに5週間の連続リバウンドジャンプトレーニングを行わせ、30m 疾走能力、跳躍能力(跳躍高、接地時間、Rebound Jump Index:RJ-index)、足関節の挙動変化について検討した。被験者は大学陸上競技部で中・長距離を専門とする女子7名とし、週2回、5週間にわたり連続リバウンドジャンプトレーニングを実施させた。この際、連続ジャンプを個人の最大努力下で遂行できるように被験者の前方に大型スクリーンを設置し、跳躍における各試技のループ利得の結果が確認できるように投影した。なお、トレーニング前(pre)・後(post)において30m 疾走能力、跳躍能力および10台のカメラを用いた光学式3次元モーションキャプチャシステムにより足関節挙動を評価した。結果、RJ-index、跳躍高、接地時間ではpreからpostにかけて有意な向上が見られた($p<0.001$)。また、RJ-indexと跳躍高、RJ-indexと接地時間との間に高い相関関係が認められた($r=0.858$, $r=-0.739$; $p<0.001$)。さらに、動作様式において足関節背屈角度では、背屈開始から終了までの時間(%)がpreからpostにかけて有意に短縮していることが認められた($p<0.001$)。しかし、30m 疾走記録においてはpreとpostの間で有意な変化は認められなかった。各試技のループ利得の結果が確認できる可視的フィードバック型連続リバウンドジャンプトレーニングの実施は、中長距離ランナーにおいて下肢のStretch-Shortening cycle (SSC) 運動の遂行能力の改善に効果があることが示唆された。とりわけRJ-indexと背屈開始から終了まで時間は、SSC運動の遂行能力の評価指標として有効であることが考えられる。つまり、本研究のように各試技

中の跳躍高を数値化し、さらにその数値データをスクリーンに可視化することは、選手自らが跳躍結果を瞬時に評価・調整することで動作の学習に加え、常に最大努力下でトレーニングを遂行することが可能である。今後、この可視的フィードバック型RJトレーニング法を改良または発展させることで、筋腱複合体のバリスティックなSSC遂行能力の向上や足関節挙動の改善に役立つ新しいトレーニング法の確立に貢献できる可能性が示唆された。

Abstract

The purpose of this study was to quantify the effect of plyometrics training (PT) in sprint ability, jump abilities and ankle joint movements on Repeated-Rebound-Jumps exercise without buffer function of lower limb joints. Seven female collegiate runners executed 10-Repeated Rebound Jumps training (10RJ) on a switch mat with maximum effort. Each subject executed the training program twice a week for 5 consecutive weeks. Parameters of Repeated-Rebound Jumps training involved jump height (m), the durations of the contact phase (sec.), and a rebound jump index (=RJ-index). Those parameters were collected with a switch mat in every trial. Moreover, 3 dimensional ankle kinematics of each subject were captured using 10 Vicon camera systems (250Hz). The 30m sprint time was measured using a photoelectric tube. A statistical analysis was carried out computed with a paired t-test and correlation analysis on every parameter in pre- and post-test. As a result, a rebound jumps index (RJ-index), jump height, and the durations of contact phase were improved significantly between pre- and post-test ($p < 0.001$). The relationships between rebound jumps index and jump height, and between rebound jumps index and the durations of contact phase highly correlated ($r = 0.858$, $r = -0.739$; $p < 0.001$). In addition, the time (%) between start and finish phase in the dorsiflexion angle of ankle joint was reduced significantly between pre- and post-test ($p < 0.001$). There was no significance of the 30m sprint time between them. The Repeated-Rebound-Jump exercise was shown to have an effect on improvement in stretch-shortening cycle (SSC) and performance of lower limb joints in distance runners. The RJ-index and the time between start and finish phase in the dorsiflexion angle of ankle joint was shown to be a valid evaluation index of SSC performance. Therefore, Repeated-Rebound-Jumps exercise is a significant form of training where ankle behavior improves and where the performance of stretch-shortening cycle is enhanced.

1. 緒言

運動プログラムは、スポーツ種目の特異性に従って細分化する必要がある、パワーと最大筋力の獲得はすべてのスポーツ種目で要求される基本要素である。とりわけバレーボール、バスケットボール、陸上競技の跳躍種目のように最大ジャンプ能力が要求される種目では筋力とスピードが重要な構成要素となり、爆発的パワー能力を向上させる目的として Plyometric Training (PT) の概念が推薦されてきた (Komi, 1986)。

PT の特徴は、筋の伸張性活動から短縮性収縮に素早く切り替える Stretch-Shortening cycle (SSC) 能力を向上させ、筋腱に蓄積されていた弾性エネルギーを筋短縮時に再利用し、力学的仕事の効率や発揮パワーを高めるものとして説明されている (Cavagna ら, 1965; Komi, 1973; Komi, 1986; 深代, 2000)。近年では、SSC 運動の遂行能力の向上のため Box の上から地面に向け跳躍するドロップジャンプ (Drop Jump: DJ) が最もよく知られている PT 法の 1 つであり、有効的な Box の高さは 50cm 前後である (Komi and Bosco, 1978)。また、跳躍高を踏切時間で除して求めた指数 (Drop jump index : DJ-index) は、バリスティックな SSC 運動の遂行能力の指標として広く使われている (図子ら, 1993; Young ら, 1999)。ここで DJ-index と跳躍高、DJ-index と踏切時間との間には高い相関関係が認められた (図子ら, 1993)。しかし、跳躍高と踏切時間との間には有意な相関関係が認められなかった (図子ら, 1995a)。

また、SSC 運動の遂行能力と疾走能力の関係を調べた研究では、垂直跳 (Counter movement jump: CMJ)、DJ、リバウンドジャンプ (rebound jump: RJ) などジャンプの形式に関わらず両者の間に有意な相関関係が認められた研究 (Mero ら, 1981; 生田ら, 1981) と、相関関係が認められないとする報告 (Wilson ら, 1993; Young ら, 1995) とに分かれている。特に Wilson ら (1993) の研究によれば、Box 高を 20cm からトレーニング終了時 (10 週) には 80cm まで増加させてもその後の 30m 疾走能力の改善は見られないとする報告であった。このように両者の間に一致が得られなかった理由は、基礎体力やドリル習得の個人差が考えられる部分である。

骨格筋の発揮張力との関係では、下肢三関節の等速性筋力 (60~180deg/sec) と垂直跳びの跳躍高との間に相関関係が見られた研究 (深代ら, 1993; Tsiokanos ら, 2002) があれば、等尺性膝伸展筋力、5rpm および 30deg/sec~150deg/sec での等速性膝伸展筋力と垂直跳びとの間には相関関係が認められていない報告もある (金久博昭, 1990; Anderson ら, 1991; 福永哲夫ら, 1991)。以上のように PT は、跳躍高を向上させることに多数の研究で支持されている一方、疾走能力との間には肯定的効果の報告と否定的報告があることで一致した見解はまだ得られていない。従って、この研究では筋が発揮できる最大張力との関係よりも、SSC 運動の遂行能力として足関節挙動のタイミングに着目した。つまり、遠心性収縮により生じる組織の長さ変化は求心性収縮よりも大きい (Cavagna ら, 1968)、この移行期での筋活動によって生じる関節挙動

は重要であると考えられる。しかし、PT トレーニングによる前・後の足関節挙動の変化に関する報告はほとんどなく、まだ不明な部分が多い。

本研究は、最大努力での連続ジャンプトレーニングが、その後の足関節の挙動やジャンプ能力、それから走行能力にどのような影響を及ぼすのかを検証した。

2. 方法

2.1. 被験者

被験者は、RJ のようなバリスティックなタイプのトレーニングの経験が少ない週 4 回以上の持久性トレーニングを行っている大学女子陸上選手（中・長距離）7 名（年齢 20.0 ± 1.73 歳（mean \pm SD）、身長： $160.8\text{cm} \pm 4.51\text{cm}$ （mean \pm SD）、体重： $50.6 \pm 3.30\text{kg}$ （mean \pm SD））とした。被験者には、事前に実験の目的・内容について説明を行い、本研究の主旨および内容の理解を確認した上で東海学園大学の倫理規定に従い参加の同意を得た。

2.2. トレーニング

被験者には、最大努力下で連続リバウンドジャンプ（RJ）トレーニングを週 2 回の頻度で 5 週間連続して実施した。1 回のトレーニングでは、連続 RJ を 10 回跳び、それを 6 セット行った。また、毎回のトレーニングを最大努力下で行えるように専用のマルチジャンプテスト（IFS-31D, DKH）を用いて、各被験者の目標跳躍値をスクリーンに投影し、毎回のジャンプにおいて目標値に到達するように指示した。目標値は、トレーニング開始前（pre test）に行った 10 回跳躍中の最大値を用いて設定した。

2.3. SSC 運動能力の評価

本研究では、連続 RJ のパフォーマンスを SSC 運動能力と定義した。RJ の跳躍高は、専用のマルチジャンプテスト（IFS-31D, DKH）を用いて跳躍中の滞空時間（flight time: tf）を測定し、次式 [跳躍高 (h) = $1/8 \times g \times \text{tf}^2$] により算出した。また、RJ の接地時間（contact time: tc）も同時に測定し、RJ 指数（Rebound jump index : RJ-index）（図子ほか, 1993）を次式 [RJ-index = h / tc] により算出した。RJ の動作様式は、両手の位置を腰に当てた状態での膝や股関節の大きな緩衝動作を利用しない 10 回の連続ジャンプとし、中間の 5 回分の RJ-index、跳躍高、接地時間を採用した。テストは pre と post に分けて計測した。

2.4. 疾走能力の評価

各被験者には、十分なウォーミングアップを実施させた後、陸上競技場直線走路においてスタンディングスタートによる 30m 全力疾走を 4 回行わせた。その時、測定の間には十分な休憩を入

れた。平均疾走速度は、スタートラインから 30m 離れた場所に設置した光電管装置（ジェスタープロ光電管 T7727B、NISHI 社）の側面を通過した時間で距離を除いて求めた。このテストを pre と post に分けて各被験者に 4×2 回計測した。

2.5. 運動学的データの収集と評価

被験者には、フォースプレート上で RJ トレーニングと同様な方法で連続10回ジャンプを 2 回実施した (Figure1)。この際、地面反力データはフォースプレート (KISTLER type 9821B,

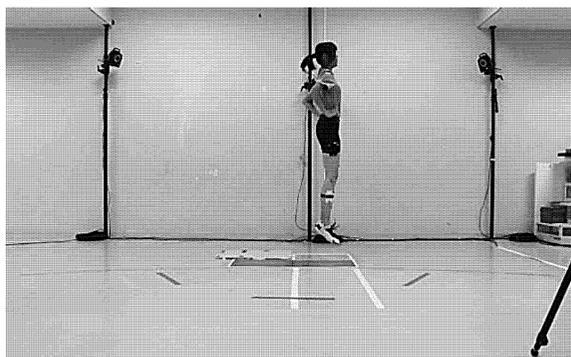


Figure1. Experimental setup of rebound jump performance.

Switzerland) により 1000Hz で記録した。同時に 10 台のカメラを用いた光学式 3 次元モーションキャプチャシステム (Vicon-MX, Oxford Metrix Inc, Oxford UK) により、骨盤と下肢の解剖学的指標上に貼り付けた反射マーカーについてサンプリング周波数 250Hz で 3 次元位置計測を行った。得られた 3 次元座標値について座標成分毎の最適遮断周波数を求め (Yu ら, 1999)、Winter (1990) の 4 次の Butterworth 型ローパスデジタルフィルターを用い各座標データについて平均カットオフ周波数 18Hz で平滑化を行った。毎回ジャンプにおける支持期局面の決定は、力データの垂直成分が 20N を超えた時刻を contact とし、20N より小さい力の時刻を toe-off と定義した。10 回の跳躍間の各サイクルの時刻 (1 cycle: 跳躍->滞空->着地->跳躍) は、それぞれ 100% として正規化し、平均した。下腿セグメントに対する足部の 3 次元角度は、バイオメカニクス研究において算出基準として推薦されている Cole ら (1993) の方法に従ってカルダン角の Xyz 回転順で行った。また、Areblad ら (1990) の方法を用い、各セグメントに定義した移動座標系を静止座標系の各軸に整列した。足関節の 3 次元角度は先行研究で詳細に記述している (金ら, 2011)。RJ の運動はほとんど矢状面内で起こる運動であるため本研究では屈曲・伸展角度のみを動作の評価指標として用いた。

2.6. 統計処理

本研究で用いた数値は、全て平均±標準偏差で示した。各測定項目間の相関関係はピアソンの

相関係数の検定を実施した。pre と post テストにおける SSC 運動能力の指標および足関節挙動の変化の差を比較するため、F 検定(F-test)により二群の等分散性を確認した後に Student's t-test を実施した。統計処理には The Statistical Analysis System release 9.1.2. (SAS Institute Inc, NC, USA) を用いた。また、比較の検定に使われた α レベルは 0.05 以下で設定した。

3. 結果

Table1 には、各被験者における RJ-index、接地時間、跳躍高の pre-test から post-test にかけての変化を示した。RJ-index、跳躍高では、pre-test から post-test にかけて有意な増加を示した($p<0.001$, $p<0.001$)。一方、接地時間においては 2 名の被験者(subject3, subject6)を除く 5 人全員で pre-test から post-test にかけて時間が有意に短くなった($p<0.01$, $p<0.001$)。

Table1. Comparison of the rebound jump parameters in each subject.

Subject	Pre-test			Post-test		
	RJ-index(m/s)	Contact-time(s)	Jump-height(m)	RJ-index(m/s)	Contact-time(s)	Jump-height(m)
1	1.11±0.12	0.18±0.01	0.20±0.01	2.15±0.11***↑	0.16±0.01***↓	0.34±0.01***↑
2	0.88±0.03	0.19±0.01	0.17±0.01	1.69±0.05***↑	0.16±0.01***↓	0.27±0.01***↑
3	1.40±0.05	0.15±0.01	0.21±0.01	1.84±0.06***↑	0.16±0.01 ^{ns}	0.29±0.01***↑
4	0.57±0.04	0.25±0.01	0.14±0.01	1.57±0.08***↑	0.18±0.01***↓	0.29±0.01***↑
5	1.36±0.05	0.16±0.01	0.21±0.01	1.87±0.06***↑	0.14±0.01***↓	0.26±0.01***↑
6	1.32±0.08	0.16±0.01	0.21±0.01	1.86±0.10***↑	0.16±0.01 ^{ns}	0.29±0.01***↑
7	0.78±0.06	0.20±0.01	0.15±0.01	1.45±0.03***↑	0.17±0.01***↓	0.24±0.01***↑

Mean and standard deviations (mean ± SD) $p<0.01$ ** , $p<0.001$ *** ns: not significant.

Figure2 には、RJ-index、接地時間、跳躍高を各テスト間 (pre と post) の結果とトレーニングの際に記録したデータの総数 (n=1500) を用いた相関図である。RJ-index と跳躍高の間には強い正の相関関係が認められた ($r=0.907$, $p<0.001$)。一方、RJ-index と接地時間の間には負

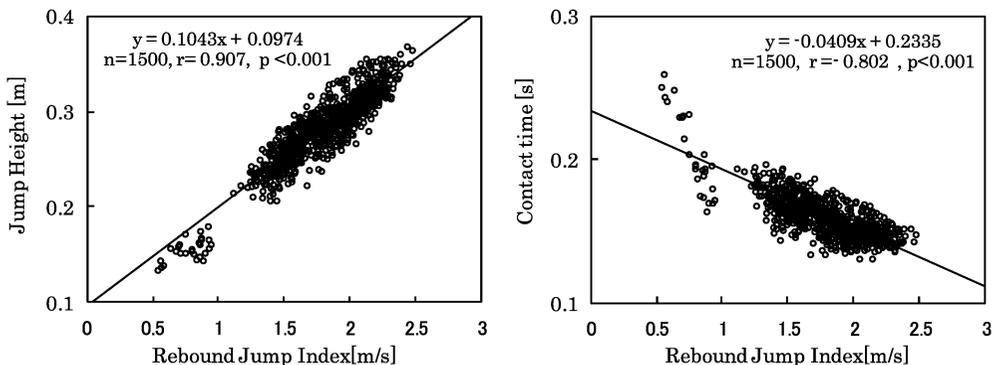


Figure2. Relationship between RJ-index and jump height (left), and RJ-index and contact time (right).

の相関が認められた ($r=-0.802$, $p<0.001$)。本研究における RJ は、接地時間が短いほど RJ-index が高い値を示し、RJ-index は跳躍高を決定する一要因であることを示した。

Table2 には、pre-test から post-test にかけて足関節挙動（最大背屈角度：MDA、背屈開始から終了までの時間：TDSF）の変化を示した。ここで被験者番号 5, 6, 7 については、それぞれ shin-スプリント、足底筋膜炎、膝関節痛の発生のため post-test の実施ができなかった。その

Table2. Change of the kinematic parameters in each subject.

Subject	Pre-test		Post-test	
	MDA(deg)	TDSF(sec)	MDA(deg)	TDSF(sec)
1	14.06±1.60	0.08±0.01	13.32±0.45	0.07±0.01 ^{***} ↓
2	25.80±1.31	0.10±0.01	26.43±0.83	0.09±0.00 ^{***} ↓
3	23.07±1.34	0.10±0.01	21.47±1.18 ^{***} ↓	0.08±0.01 ^{***} ↓
4	26.95±0.76	0.12±0.01	25.58±0.99 ^{***} ↓	0.10±0.01 ^{***} ↓
5 [†]	×	×	×	×
6 [‡]	×	×	×	×
7 ^A	×	×	×	×

Subjects (No-5, No-6, No-7) were not able to collect kinematic parameters on post experiment because of the following reasons; [†]shin-splint, [‡]plantar fasciitis, and ^Aknee pain.

The kinematic parameters are the maximum dorsiflexion angle (MDA) and the time period of dorsiflexion between start and finish phase (TDSF). $p<0.05^*$, $p<0.01^{**}$, $p<0.001^{***}$ ns: not significant.

Table3. Mean and standard deviations of 30m sprint time measures in each subject.

Subject	Pre-test	Post-test
	30m sprint(sec)	30m sprint(sec)
1	4.83±0.09	4.79±0.10 ^{ns}
2	4.77±0.08	4.66±0.04 ^{***} ↓
3	4.82±0.08	5.02±0.24 ^{ns}
4	5.08±0.04	4.95±0.12 ^{ns}
5 [†]	×	×
6 [‡]	×	×
7 ^A	×	×

$p<0.05^*$, $p<0.01^{**}$, ns: not significant.

ため、比較対象から除外した。残り 4 人における背屈角度の最大値 (MDA) では、pre-test から post-test にかけて 2 人のみ変化が見られた ($p<0.05^{\text{④}}$, $p<0.01^{\text{③}}$)。一方、着地後の背屈開始から終了までの時間 (TDSF) では、すべての被験者において pre-test から post-test にかけて時間が有意に短くなった ($p<0.01^{\text{①,②}}$, $p<0.001^{\text{③,④}}$)。Figure3 は、pre-test と post-test の両方に参加した 4 人について、10 回連続ジャンプ波形の結果を示した。時間軸は、離地 (0%) から次の離地 (100%) までの間を 100%と規格化した。背屈角度の最大値 (MDA) での pre-test と post-test 間の波形の著しい変化はそれほど大きくないが、背屈開始から終了までの時間 (TDSF) では pre-test から post-test にかけて短くなっていた。また、その時の TDSF とフォー

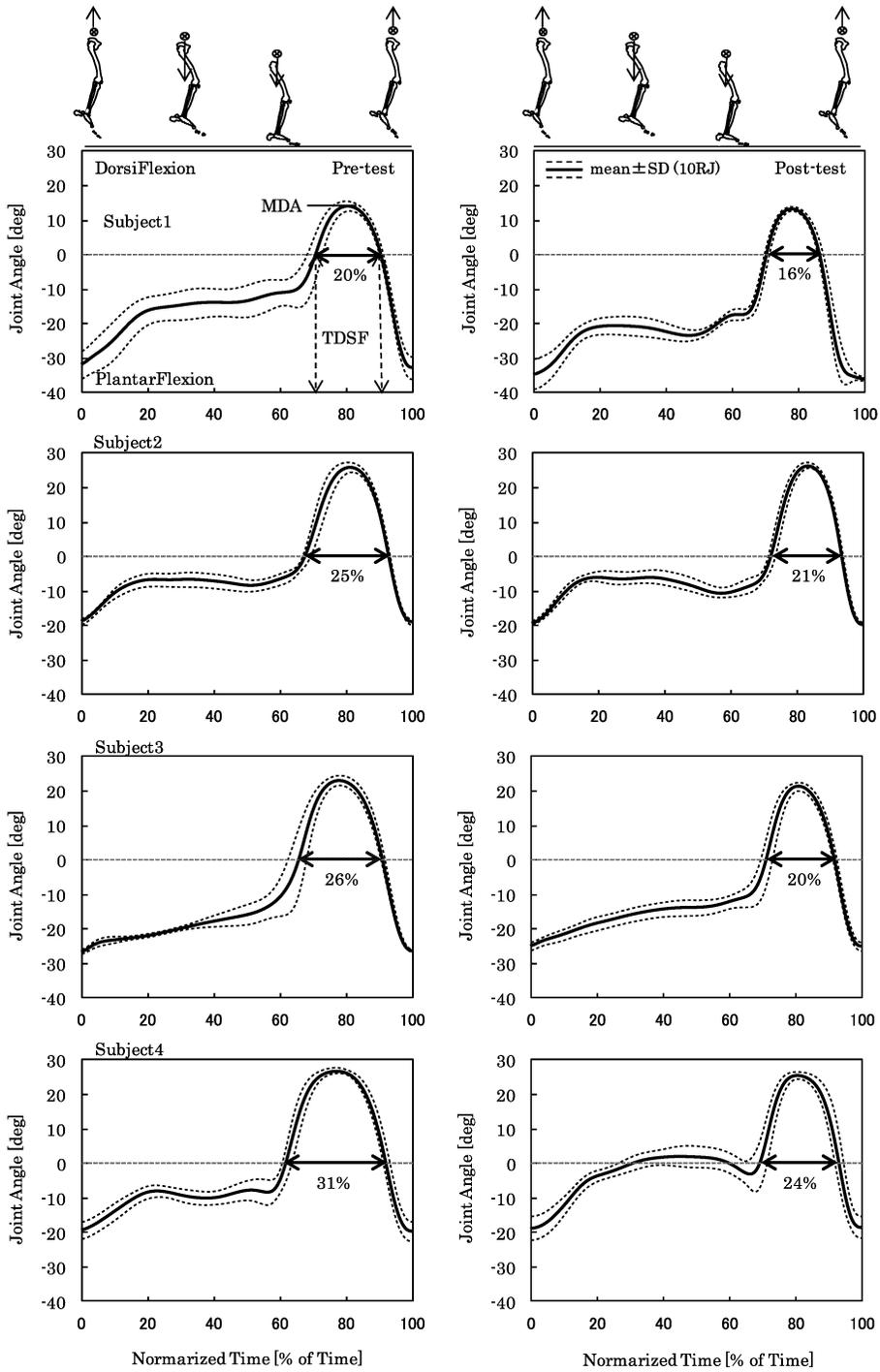


Figure3. Changes of 2D ankle joint angle (n = 4) during 10-repeated rebound jump between pre and post test. Contact time in each subject is normalized as 100%. Lines of each graph are mean and S.D. MDA: maximum dorsiflexion angle, TDSF: time period of dorsiflexion between start and finish phase.

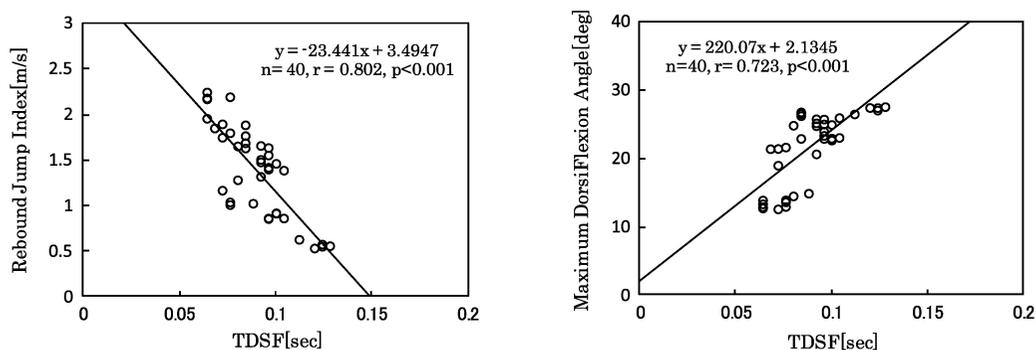


Figure4. Relationship between TDSF(time period of dorsiflexion between start and finish phase) and RJ-index (left), and TDSF and MDA(maximum dorsiflexion angle) (right).

スプレートから求めた RJ-index との間では強い負の相関関係が、TDSF と MDA の間では正の相関関係が認められた (Figure4, $r=0.802$, $p<0.001$; $r=0.723$, $p<0.001$)。

Table3 には、pre-test と post-test の間における疾走能力の変化を示した。4 人中 3 人が post-test でタイム短縮が見られたが、統計学的な有意性が認められたのは 1 人であった ($p<0.01$ ②)。

4. 考察

本研究は、RJ トレーニングによる足関節の挙動、ジャンプ能力、それから走行能力との関係について検討した。その結果、背屈開始-終了時の時間 (TDSF) が短いほど RJ-index 値が増加する傾向が認められた。一方、この時間が長くなるほど RJ-index 値は減少し、足関節背屈角度の最大値は逆に大きくなる傾向にあることが認められた (Figure4)。このことから、背屈開始-終了時の時間 (TDSF) は、組織のストレッチによって蓄積された弾性エネルギーを効率よく再利用するための SSC 運動の遂行能力の向上が反映された可能性を示唆するものと考えられる。すなわち、Stretch 局面での足関節背屈の角変位の変化量は蓄積される弾性エネルギーと比例し、反対に Shortening 局面での放出パワーは最大背屈位から背屈終了までの時間に反比例することが推察される。ヒトの筋腱複合体 (muscle-tendon complex: MTC) を取り囲んでいる膠原繊維のエネルギーの蓄積と放出には、時間依存性と速度依存性が存在し、これらの MTC の機械的挙動は線形的なものではなく、指数関数的な関係を持っている (Nordin and Frankel, 2001)。また、羊を用いた腱の研究 (Kear and Smith, 1975) では、歩行速度の増加とともに腱ひずみ量が増加し、最大ひずみは約 0.1 秒間だけ生ずると報告した。本研究における足関節の挙動変化と RJ-index、MDA との関係は、足背屈から底屈に向かう加速局面での挙動の相違によるものといえる。これまで、身体重心を加速するためには股関節伸展筋力の重要性 (Delecluse, 1997) や、DJ と RJ のように力発揮を短時間で遂行することで跳躍能力と疾走能力を高めることが可能であることを示唆した (深代ら, 1993; Chelly and Denis, 2001; Tsiokanos

ら, 2002; 岩竹ら, 2002)。また、凶子と高松 (2005b) は、RJ における接地時間の短縮に動員される主動筋の予備伸張が重要な因子であるとしている。この研究の所見も先行研究とよく相応しているものと考えられる。つまり、MTC の効率には、最適の長さ-速度関係が存在することや、この出現タイミングが SSC 運動の遂行能力を決定する重要な要素であることが考えられる。

一方、RJ-index と跳躍高、接地時間の間には高い相関関係が得られた (Figure2)。これまで、多くの先行研究において、疾走能力と垂直跳、DJ および RJ のパフォーマンスとの間に相関関係が認められるという報告 (Mero ら, 1981; 岩竹ら, 2002; Chelly and Denis, 2001) から今回の結果もこれらの結果を支持するものと考えられる。しかし、RJ トレーニングと疾走能力の間ではそれを裏付ける結果が本研究では得られなかった。また、一部の先行研究の結果 (Wilson ら, 1993; Young ら, 1995) と類似しており、それを支持する結果となった。それについては、2つの理由が考えられる。1つ目は、測定距離 (30m) の設定に最大加速局面を含めなかったこと、2つ目は途中ドロップアウトによる統計学的 n 数の不足が考えられる。岩竹ら (2002) は、DJ および RJ によるスプリントパフォーマンスの評価について、研究間で一致が得られなかった理由としてスタートからゴールまでの平均速度のみを対象にするか、または最高速度のみを対象とするかなど、研究間の速度の定義や測定区間の相違がこのような結果を生じたものと考え、実際のレースパターンを想定して、スプリント走を加速曲面と速度維持曲面に大別して、ジャンプトレーニングとの関係を検討すべきであると指摘した。この研究では、post-test を実施した 4 人を対象に速度の変化を検討したところ、統計学的な有意性が認められた 1 人を除く 3 人の被験者ではその有意性が認められなかった。しかし、1 人を除く 3 人では事実上の時間は短縮された (Table3)。このことから、今回のトレーニングが疾走能力の向上に効果がないとは言いきれないと思われる。

結論として、本研究のように各試技中における跳躍高を数値化し、さらにその数値データをスクリーン上に可視化することは、選手自らが跳躍結果を瞬時に評価・調整することで動作の学習に加え、常に最大努力下でトレーニングを遂行することが可能であることが示唆された。従って、このトレーニング法は足部の挙動変化を促す肯定的な動作として、SSC 運動の遂行能力を高めるドリルとして現場への応用が期待できる。これまでは、MTC の機械的挙動に着目した最大筋力の向上が注目される傾向であった。しかし、SSC 運動の遂行能力の向上には、単なる最大筋力の改善のみではなく、弾性エネルギーを効率的に再利用できる動作の改善、いわゆる最大ストレッチ後の加速局面におけるエネルギー開放のテクニックの改善が、パフォーマンス向上に大きくつながる可能性が示唆された。今後は、n 数を増やすことや疾走能力の指標となる「速度」をどのように計測するかについてより深く工夫したい。

5. まとめ

本研究は、5週間の連続リバウンドジャンプトレーニングが足部の挙動変化、跳躍能力、疾走能力にどのような影響を及ぼすのかを検討した。その結果、足部の挙動変化において pre-test から post-test にかけて背屈開始から終了までの時間 (TDSF) が有意に短縮されたことや、この時間の短縮は SSC 運動の遂行能力の指標となる RJ-index と高い相関関係が認められた。一方、TDSF の時間が長いと足関節の最大背屈角度が有意に増加した。また、RJ-index と跳躍高、RJ-index と接地時間では非常に強い相関関係が認められた。しかし、30m 疾走能力については、事実上の時間短縮は見られたものの統計学的な有意性は 1 人に限って認められた。このことから、跳躍能力やスプリント能力を規定する体力要素は、これまでに重要視されてきた最大筋力の向上以外に動作の効率を改善することも SSC 運動の遂行能力を高める要素であることが示唆された。

謝辞

本論文を完成させるにあたって、多くの方々にご指導と協力をいただきました。中京大学体育学部の桜井伸二教授には、実験室の使用を始め、研究のあり方において指導を頂きました。心より感謝いたします。東海学園大学陸上部および中京大学体育学研究科応用スポーツ科学系の大学院生の方々の献身的な協力に心より感謝いたします。

文献

- Anderson, MA, Gieck, JH, Perrin, D, Weltman, A, Rutt, R. and Denegar, C. The relationships among isometric, isotonic, and isokinetic concentric and eccentric quadriceps and hamstring force and three components of athletic performance. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 14: 114-120, 1991.
- Areblad, M, Nigg, BM, Ekstrand, J, Olsson, KO and Ekstrom, H. Three dimensional measurement of rearfoot motion during running. *J Biomechanics*, 23: 933-940, 1990.
- Cavagna GA, Saibene FP, Margaria R. Effect of negative work on the amount of positive work performed by an isolated muscle. *J Appl Physiology*, 20: 157-158, 1965.
- Cavagna, GA, Dusman, B. and Margaria, R. Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24: 21-32, 1968.
- Chelly, SM. and Denis, C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 33: 326-333, 2001.
- Cole, GK, Nigg, BM, Ronsky, JL and Yeadon, MR. Application of the joint coordinate System to three dimensional joint attitude and movement representation: A standardization proposal. *J Biomechanical Engineering*, 115: 344-349, 1993.
- 岩竹淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤健, 岩壁達男. 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, 2002.
- 金久博昭. スポーツ選手トレーニングにおけるジャンプ・パフォーマンス向上のためのトレーニング. Japanese Journal of Sports Sciences, 9: 202-209, 1990.
- Kear, M. and Smith, RN. A method for recording tendon strain in sheep during locomotion. Acta Orthop Scand, 46: 896-905, 1975.
- 金興烈, 岡本敦, 島典広. 距骨下関節の回内制御におけるアーチパッドの効果. 東海学園大学研究紀要, 16: 25-37, 2011.
- Komi, P.V. Measurement of the force-velocity relationship in human muscle under concentric and eccentric contractions. Medicine and Sport : Biomechanics III 8: 224-229, 1973.
- Komi, P.V and Bosco, C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. Med Sci Sports, 10: 261-265, 1978.
- Komi, P.V. The stretch-shortening cycle and human power output. In Human muscle power, edited by Jones, NL, McCartney, N. and McComas, A. Champaign, IL: Human Kinetics, 1986.
- 深代千之, 小林規, 若山章信, 柳等, 小嶋俊久. 垂直跳動作と労作計による筋出力パワーの比較. Japanese Journal of Sports Sciences, 12: 326-332, 1993.
- 深代千之. 反動動作のバイオメカニクス, 体育学研究, 45: 457-471, 2000.
- 福永哲夫, 松尾彰文, 安部孝, 川上泰雄, 沼沢秀雄, 深代千之. 種目別スポーツ競技力評価方法の開発ーバレーボール競技の場合ー. スポーツ医・科学, 5: 47-54, 1991.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J.T., and Komi, P.V. Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. Scand J Sports Sci, 3: 16-22, 1981.
- 生田香明, 根本哲郎, 栗原崇志, 播本定彦. 敏捷性, 筋力, パワーからみた短距離疾走能力. 体育学研究, 26: 111-117, 1981.
- Nordin, M. and Frankel, VH. Biomechanics of collagenous tissues. In Basic biomechanics of the musculoskeletal system 3rd, edited by Nordin, M. and Frankel, VH. Lippincott Williams & Wilkins, 2001.
- Tsiokanos, A, Kellis, E, Jamurtas, A. and Kellis, S. The relationship between jumping performance and isokinetic strength of hip and knee extensors and ankle plantar flexors. Isokinetics and Exercise Science, 10: 107-115, 2002.
- Wilson, GJ, Newton, RU, Murphy, AJ. and Humphries, BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. Med. Sci. Sports Exerc, 25: 1279-1286, 1993.
- Winter, DA. Biomechanics and motor control of human movement. Wiley. 75-102, 1990.
- Young W, McLean, B. and Ardagna, J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. J. Sports Med Phys. Fitness. 35: 13-19, 1995.
- Young, W, Wilson, G. and Byrne, C. Relationship between strength qualities and performance in standing and run-up-vertical jumps. J. Sports Med Phys. Fitness. 39(4): 285-293, 1999.
- Yu. B, Gabriel, D, Noble, L. and An, KN. Estimate of the Optimum cutoff frequency for the

butterworth low-pass digital filter. J Applied Biomechanics, 13: 318-329, 1999.

関子浩二, 高松薫, 古藤高良. 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, 1993.

関子浩二, 高松薫. パラメトリックな伸張 - 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, 1995a.

関子浩二, 高松薫. 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, 1995b.