高強度ジャンプエクササイズ後の回復過程：
筋肉痛とパフォーマンスとの関連に焦点を当てて

尾縣 貢¹，木越 清信¹，遠藤 俊典²，森 健一³

**Recovery process after intensive jump exercise :
focusing on the relationship between muscle soreness and performance**

Mitsugi Ogata¹, Kiyonobu Kigoshi¹, Toshinori Endo² and Kenichi Mori³

¹筑波大学，〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1 (*University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, Japan*)

²青山学院大学，〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1 (*Aoyama Gakuin University, 5-10-1 Fuchinohe, Chuo-ku, Sagami-hara, Kanagawa 252-5258, Japan*)

³武蔵大学，〒176-8534 東京都練馬区豊玉上1-26-1 (*Musashi University, 1-26-1 Toyotamaue, Nerima-ku, Tokyo 176-8534, Japan*)

Received: April 28, 2014 / Accepted: September 18, 2014

Abstract Purpose of this study was to examine the recovery process of delayed onset muscle soreness, jump performance, force to contact with the ground and lower limbs movement after intensive jump exercise (IJE), and the relationships between muscle soreness, changes of jump performance and lower limbs movement. Nine males who have experience in special jump exercise participated in this study voluntarily. For the measurement, subjective investigation of the muscle soreness, drop jump performance using a 30 cm high box [jump height, contact time and drop jump index (jump height / contact time)], ground reaction force and movements of lower limbs. This measurement was carried out before IJE (Pre), and at 4 hours (P4), 24 hours (P24) and 72 hours (P72) after IJE. Main results are as follows ; at the time of P24 when intense muscle soreness appeared, significant jump height decreases and contact time increases were shown, and the jump index decreased markedly. This decrease of performance correlated to the change of knee and ankle joint movements during the eccentric phase. At P4, for a subject who felt strong muscle soreness, the decrease of jump height and jump index were considerable. At P72, most subjects recovered to the levels of jump height and contact time to the Pre level. The findings reveal that the jump performances are related to the degree of delayed onset muscle soreness.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 64(1): 117-124 (2015)

Keywords : intensive jump exercise, recovery, muscle soreness, kinetics, kinematics

緒 言

レジスタンストレーニングの現場には，“No pain, No gain”という言葉に表されるように，実施後の筋肉痛が生じなければ筋肥大の効果は無いという経験則がある¹⁾．また，トレーニング後の筋肉痛を指標にトレーニング計画を作成したり，トレーニング計画を修正するコーチもあり，筋肉痛はトレーニングにおけるキーワードの一つとなっている．

トレーニングをした数時間後から数日後にかけて生じる筋肉痛（遅発性筋肉痛）は，運動による筋および結合組織の損傷が主たる原因であると考えられており，筋肉痛，筋損傷ともに筋収縮のなかでも特に筋への負担が大

さい伸張性収縮後に起こることが報告されている²⁻⁶⁾．

このトレーニング後の筋肉痛は，トレーニングで行なう運動の動作を変化させる可能性も考えられる．筋肉痛により意図せずに運動が変わってしまうのであれば，行おうとしている動作（振る舞い）とは大きく異なってしまう，マイナスのトレーニング効果をもたらすことも危惧される．特に強い伸張性筋収縮を伴うプライオメトリックスを計画・実施する際には，筋肉痛とトレーニングにおけるパフォーマンスおよび運動中の動作との関係を把握することの重要性は増す．このような理由で，トレーニングを考える上で，筋肉痛が運動に及ぼす影響を考慮に入れることは重要であると考ええる．

Horita et al.⁷⁾は，スレッジを用いたドロップジャンプ

を疲労困憊（100回程度の反復）まで繰り返し、2時間後、2日後、4日後におけるジャンプパフォーマンス、下肢のkineticsとkinematics、筋放電、血清クレアチンキナーゼ活性などの変化を検討している。この研究ではStretch-Shortening Cycle（SSC）運動後に起こる生体内および運動における変化に関して多くの有益な知見を得ており、そのうちの一つとして、伸張によって生じる筋損傷の間接的な指標であるクレアチンキナーゼ活性の増加率が大きい者ほどジャンプパフォーマンスの低下率が大きいという結果をあげることができる。この結果からは、SSC運動後の筋肉痛がジャンプ運動後のパフォーマンスなどに影響を及ぼしていることを間接的に推察することができる。しかしながら、筋肉痛は個人によって感じ方が違うという報告⁸⁻¹⁰⁾や、一度トレーニングをした筋は筋肉痛が生じにくく、しかも回復も早いという報告^{4,11-14)}があり、主観による筋肉痛の程度と、筋損傷の程度が比例関係にあるのではないことが分かる。そのため、筋肉痛とパフォーマンスや動作などとの直接的な関係を検討する必要性を感じる。しかし、トレーニング後の筋肉痛とパフォーマンスや動作の変化との関係を検討した研究はなく、筋力や可動域に及ぼす影響を検討した研究^{2,4,9)}が散在するのみである。

そこで、本研究ではSSCを用いて短時間で大きな力を発揮するプライオメトリクスの代表的な運動である高強度のジャンプを対象運動とし、疲労運動負荷を与えた後の遅発性筋肉痛、ジャンプのパフォーマンス、地面をキックする力、下肢動作などの回復過程を明らかにし、筋肉痛とパフォーマンスおよび動作の変化などとの関係を検討した。

方 法

被検者 これまでにプライオメトリクスの専門的経験がある体育系の大学院及び大学に所属する男性9名を被検者とした。年齢は、 24.6 ± 2.5 才、身長は、 175.8 ± 4.6 cm、体重は、 71.8 ± 4.8 kgであった。被検者には、研究の趣旨、研究に伴う苦痛、研究途中においても研究参加を拒否できることなどを説明し、書面をもって同意を得た。なお、本研究は、筑波大学研究倫理委員会の承認を得て実施した。

本研究では、対照群を設定していないため、実験群の疲労運動後の筋肉痛、動作等に関するデータのみから回復過程を検証した。

測定の手順 疲労運動の直前（Pre）、4時間後（P4）、24時間後（P24）、72時間後（P72）に主観的な筋肉痛の調査、ドロップジャンプのパフォーマンスと接地中の地面反力、身体重心の移動、下肢の動作などを測定した。それぞれの測定前には、傷害の予防を目的としてジョギング800 m、ストレッチ5分程度の共通したウォーミングアップ

を実施した。ジョギングの強度は、Borgスケール¹⁵⁾の主観的運動強度の9点（楽である）に相当する程度を指示した。ストレッチは、下腿後面、大腿前面・後面、殿部、背部を対象に、10～20秒を静的に伸ばす方法を用いた。

なお、疲労運動72時間前から、被検者には筋肉痛が伴うトレーニングや激しい運動および飲酒を禁じた。また、疲労運動後から72時間後の測定までの間、一切のトレーニングや運動および飲酒を禁じた。

疲労運動後の測定を4、24、72時間後としたのは、以下の理由による。

- ① 4時間：一日に2回トレーニングを行うケースを想定した（例：午前と午後）。
- ② 24時間：翌日にトレーニングを行うケースを想定した。
- ③ 72時間：高強度の筋力トレーニング後にトレーニング前の水準まで回復するには48～72時間が必要であるという指摘¹⁶⁾、適当なトレーニング頻度は2～3回/週であるという指摘^{17,18)}から72時間後を設定した。

疲労運動 疲労運動は以下の通りである（Fig. 1）。

- ① 手は腰で、台高45 cmからドロップジャンプを行い、前に置いた台高60 cmの台に跳び乗る。10回×10セット。1セットに要する時間は約30秒、セット間のレストは1分とした。
- ② 手は腰で、連続10回のリバウンドジャンプ（45 cm程度は跳べるように）×10セット。セット間のレストは30秒とした。

両方の運動において、接地時間はできるだけ短くし、できるだけ高く跳ぶことを意識して全力で行うように指示をした。なお、疲労運動中の動作に関しては、被検者間で顕著な差異が生じないように指示を与えた。

測定内容 それぞれの測定のウォーミングアップ後に以下の内容の調査を実施した。

1) 主観的筋肉痛の調査

本研究では、筋肉痛の程度をFace Rating Scale（FRS）を参考に6段階で表し、感じている痛みがどの言語表現に近いかを選択する方法を用いた。Visual Analog Scale（VAS）のように感じる痛みを数字で表すのではなく、6段階の言語表現にすることにより、トレーニング者の感じている痛みを感覚的に捉えることができ、トレーニング現場への応用が円滑になると考えたからである。しかし、これらの6段階が等間隔に配置された尺度であることを実証し、提示できないことは本研究の限界である。

以下の質問を行った。

質問 筋肉の痛みを感じますか？

0: まったく感じない	1: 少しは感じる
2: やや感じる	3: ある程度感じる

Fig. 1 Explanation of intensive jump exercises.

4: かなり感じる

5: 非常に感じる

2) ドロップジャンプ

手を腰に当てた姿勢での30 cmの台高からのフォースプレート上のドロップジャンプを2-3回課した。このとき、台から勢いをつけずにそのまま落下し、「できるだけ短い時間で高く跳ぶ」ように指示した。「落下の際に台をキックした」と、検者が判断した試技は無効とした。また、ジャンプ後のフォースプレートへの着地姿勢に関しても自然な姿勢を取るよう指示をした。このジャンプ中の姿勢の統制は、ジャンプ運動の指導に熟練した検者が主観的観察により行ったため完全ではなかった可能性があるが、これは本研究の限界である。

ジャンプ中の動作を被検者の側方15 m地点から1台のハイスピードビデオカメラ(Casio社製, EX-F1)により、毎秒300コマで撮影した。なお、被検者の身体23点(左右下肢のつま先、母指球、踵、外果、腓骨頭、大転子、左右上肢の肩峰突起、肘、手首、中手骨、胸骨上縁、耳珠点、頭頂部)に反射マーカを貼着した。同時に、地面反力をフォースプレート(Kistler社製, 9281A)を用いて、1000 Hzのサンプリング周波数にて測定し、A/D変換した後、パーソナルコンピュータ(DELL社製, Studio xps 9100)に取込んだ。撮影した画像と地面反力データの同

期のためにライトをカメラに写し込むとともに同期信号をコンピュータに取込んだ。

データ処理 得られたデータから以下の項目を算出した。なお、ジャンプ運動中の重心の最下点を基準にして、下降局面をエキセントリック局面(Ec局面)、上昇局面をコンセントリック局面(Con局面)と定義した。

1) ドロップジャンプのパフォーマンス

地面反力データからドロップジャンプのパフォーマンスとして以下の項目を算出した。

- a) 跳躍高(m): $1/8 \times 9.8(\text{重力加速度}) \times \text{滞空時間}^2$
- b) 接地時間(sec)
- c) ドロップジャンプ・インデックス(DJindex)¹⁹⁾(m/sec): 跳躍高/接地時間

2) 接地中の重心低下

ビデオ動作解析システム(ディケイエイチ社製, FrameDIAS・Ver.2 for Windows)を用いて、毎秒100フレームで全身23点と校正マーク4点の2次元座標を計測した。分析区間は、接地10フレーム前から離地後10フレームとした。画像から読み取った身体各部の座標は、実長換算の後に、バターワース型デジタルフィルタ²⁰⁾を用いて、4-9 Hzで平滑化した。なお、身体重心の算出には阿江²¹⁾

の身体部分慣性係数を用いた。

重心に関する変数として, Ec局面での重心低下量(以後, 重心低下量)(m)を算出した。

3) 接地中の下肢三関節の角度変化

Ec・Con局面での足関節および膝関節, 接地局面の股関節の角度変化量(deg)を算出した。屈曲をマイナス, 伸展をプラスとした。各関節角は以下の通り定義した。

- ・足関節角: 下腿(果点と膝関節中心を結ぶ線分)と足(母子球と踵を結ぶ線分)がなす角。
- ・膝関節角: 下腿と大腿(大転子と膝関節中心を結ぶ線分)がなす角。
- ・股関節角: 体幹(胸骨上縁と両大転子の中点を結ぶ線分)と大腿がなす角。

4) 地面反力

接地中の垂直方向への平均地面反力の体重比(以下, 反力とする)(N/kg), 接地中の力積の体重比(以下, 力積とする)(N・s/kg)を算出した。

1)～4)であげた変数は, PreからP4, P24, P72への変化率(例:P4への変化率=P4/Pre)を算出した。

統計 Pre, P4, P24, P72の測定項目間の有意差検定には対応のある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多重比較を行った。分析項目間の関係を調べるのにピアソンの相関係数を算出した。いずれも有意性は, 危険率5%未満で判定した。

結 果

Table 1は, 筋肉痛, DJindex, 跳躍高, 接地時間, 重心低下量, 下肢三関節の動作範囲, 反力, 力積などの経時的变化を示している。筋肉痛のレベルはP4, P24, P72がPreよりも高く, P24がP4およびP72よりも高い値を示した。DJindexは, P4とP24がPreとP72よりも有意に小さかった。跳躍高は, P24がPre, P72よりも有意に小さく, 接地時間と重心低下量は, 逆にP24がPre, P72よりも有意に大きかった。動作範囲では, 足関節と膝関節のEc局面に有意差が認められており, 足関節では, P4, P24がPreよりも有意に大きく, 膝関節ではP24がPreよりも有意に大きくなっていた。反力は, P4とP24がPreとP72よりも有意に小さかった。

Table 2は, PreのDJindex, 跳躍高, 接地時間, 重心低下量, 反力, 力積の間の相関係数を示している。DJindexは, 構成要素のうち跳躍高と高い正の相関関係にあった($r=0.926, p<0.001$)。また, DJindex, 跳躍高は力積との間に有意な正の相関関係を示した($r=0.706, p<0.05; r=0.841, p<0.01$)。

Table 3は, P4, P24, P72での筋肉痛のレベル, それ

ぞれの測定項目のPreからP4, P24, P72への変化率の間での相関係数を示したものである。P4では, 筋肉痛はDJindex($r=-0.672, p<0.05$), 跳躍高($r=-0.865, p<0.01$)との間に負の相関関係が, DJindexは跳躍高($r=0.818, p<0.01$)と反力($r=0.799, p<0.01$)との間に正の相関関係が, 跳躍高は力積($r=0.759, p<0.05$)との間に, 接地時間は重心低下量($r=0.751, p<0.05$)との間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。P24では, 筋肉痛と測定項目の間には有意な相関関係は認められなかった。DJindexは, 接地時間($r=-0.867, p<0.01$)との間に有意な負の相関関係が, 重心低下量($r=-0.714, p<0.05$), 反力($r=0.960, p<0.001$)との間に有意な正の相関関係が, 接地時間は, 反力($r=-0.820, p<0.01$)との間に有意な負の相関関係が, 力積($r=0.791, p<0.01$)との間に有意な正の相関関係が認められた。重心低下量は反力($r=-0.770, p<0.05$)との間に有意な負の相関関係が認められた。P72でも筋肉痛と測定項目の間には有意な相関関係は認められなかった。DJindexは, 重心低下量($r=-0.776, p<0.05$)との間に有意な負の相関関係が, 反力($r=0.822, p<0.01$)との間に有意な正の相関関係が, 跳躍高は力積($r=0.677, p<0.05$)との間に有意な正の相関関係が, 接地時間は, 反力($r=-0.772, p<0.05$)との間に有意な負の相関関係が, 力積($r=0.783, p<0.01$)との間に有意な正の相関関係が認められた。

Fig. 2は, Table 3の項目のうち, P4, P24, P72での筋肉痛の程度, ジャンプパフォーマンスに関する測定項目のPreからP4, P24, P72への変化率の間での関係をグラフで示したものである。

考 察

筋肉痛は, P24の 4.1 ± 1.4 「かなり感じる」程度をピークに, P72では 2.1 ± 1.3 とP4を下回る「やや感じる」程度のレベルまで低下した。DJindex, 跳躍高, 接地時間ともに, P24で変化が最も大きく, P72にはほぼPre近くの水準まで回復をしていた。

4時間後の変化 P4では跳躍高, 接地時間ともに有意ではないが, 明らかな変化を示しており, この二変数から算出したDJindexは, Preに比較して有意な低下を示している。また反力は低下しており, キックする力は弱くなったことがわかる。P4は, 堀田²²⁾の言う, 発揮する力の減少を踏切時間の延長で補償し, 一定の跳躍高を保持している段階であると考えられる。動作面ではEc局面での足関節の屈曲が大きくなっていることから, 接地の衝撃に足関節が耐えることができずに, 足関節で緩衝してしまうような接地動作になったものと推測できる。堀田²²⁾, Horita et al.²³⁾は, 高強度のジャンプ運動の繰り返しにより生じた中枢神経性, 末梢神経性および筋性の

Table 1. Comparisons of muscle soreness, change ratio of jump performances, kinetic and kinematic variables before intensive jump exercise (Pre), 4 hours (P4), 24 hours (P24) and 72 hours (P72) after intensive jump exercise.

Variables	Pre	Post 4	Post 24	Post 72	Variance analysis	Multiple comparison
Muscle soreness	0±0	2.78±1.39	4.11±1.36	2.11±1.27	***	Pre<P4・P24・P72, P4・P72<P24
Drop jump index (m/s)	2.772±0.326	2.446±0.252	2.271±0.200	2.679±0.456	***	Pre・P72>P4・P24
Jump height (m)	0.420±0.047	0.399±0.057	0.386±0.041	0.409±0.053	*	Pre・P72>P24
Contact time (s)	0.152±0.007	0.163±0.011	0.171±0.024	0.154±0.014	*	Pre・P72<P24
CG decrease (m)	0.059±0.009	0.070±0.017	0.081±0.017	0.067±0.014	*	Pre・P72<P24
Range of joint movement (deg)						
Ankle flexion	14.0±3.2	17.3±5.9	18.4±4.6	15.9±3.9	*	Pre<P4・P24
Ankle extension	55.6±7.4	53.9±4.4	52.3±5.5	50.5±6.2		
Knee flexion	3.9±3.0	7.7±4.3	10.7±7.2	6.4±6.3	*	Pre<P24
Knee extension	42.3±4.0	42.4±5.0	42.2±9.2	41.0±1.7		
Hip	29.3±4.9	30.3±6.1	27.3±7.2	29.6±7.9		
Mean force (N/kg)	40.6±2.3	37.7±2.2	36.5±3.0	40.0±2.3	***	Pre・P72>P4・P24
Impulse (N・s/kg)	6.17±0.19	6.15±0.32	6.24±0.32	6.16±0.22		

*** p<0.001 ** p<0.01 * p<0.05 < > p<0.05

Table 2. Correlation coefficients between jump performances, kinetics and kinematics before intensive jump exercise.

Variables	1)	2)	3)	4)	5)
1) Drop jump index	—				
2) Jump height	0.926 ***	—			
3) Contact time	-0.260	0.112	—		
4) CG decrease	-0.159	0.065	0.465	—	
5) Mean force	0.561	0.412	-0.563	-0.222	—
6) Impulse	0.706 *	0.841 **	0.189	0.323	0.410

*** p<0.001 ** p<0.01 * p<0.05

筋疲労²⁴⁾の影響は、動作前のプリプログラムの段階で生じており、更なる筋損傷を防ぐために中枢が動作に抑制をかけていると指摘しており、P4でみられた接地直後の足関節の緩衝は、この制御の結果であると解釈できる。このような緩衝動作が、SSC運動の効率を悪くし、キック力の低下につながったものと考えられる。

また、Fig. 2が示すようにP4では筋肉痛を強く感じている者ほど跳躍高の低下が著しくなり、その結果、DJindexも低くなったことが分かる。このグラフから筋肉痛レベル4、5の者は跳躍高が大きく低下していることが明らかである。筋肉痛が生じると反射活動（伸張反射）が減少するのか²²⁾、あるいは強い痛みを伝える筋肉からの情報が中枢に対して抑制的に作用し、結果として中枢で運動の抑制が生じるのか²⁵⁾は、本研究の結果から明らかにできないが、筋肉痛の感じ方はトレーニングを実施する上で貴重な指標になり得ると考えられる。具体的には、筋肉痛の著しい者（レベル4、5が目安）は、跳躍高が低くなり、「短い時間で高く跳ぶ」というドロップジャンプの課題を達成できないということである。

P4におけるこれらの結果からは、以下のような示唆が得られる。例えば午前中のセッションでジャンプエクササイズを実施したとすると、午後のトレーニングで、「ある程度痛みを感じる」という比較的軽度の筋肉痛の状態であっても、再びジャンプエクササイズを行う場合には、下肢動作が変容する可能性があることを考慮に入れる必要がある。

24時間後の変化 筋肉痛が最も強かったP24では有意な跳躍高の低下および接地時間の増大がみられ、その結果、DJindexは顕著な低下を示した。すなわちP24では、「短時間で高く跳ぶ」というプライオメトリックジャンプの課題が達成できない状況に陥っていたことが分かる。このパフォーマンスの低下は、Ec局面での膝関節および足関節の屈曲が有意に大きかったこと、その結果、重心低下量が大きくなったことなどの踏切中の動作の変化と関係がある。

上述の下肢関節角度、重心高に関する変化は、接地時間を長くし踏切中の力積を少しでも大きくすることで

Table 3. Correlation coefficients between the change rate of muscle soreness, change ratio of jump performances, kinetics and kinematics at post 4, 24 and 72 hours.

POST 4						
Variables	1)	2)	3)	4)	5)	6)
1) Muscle soreness	—					
2) Dop jump index	-0.672 *	—				
3) Jump height	-0.865 **	0.818 **	—			
4) Contact time	-0.214	-0.403	0.197	—		
5) CG decrease	0.001	-0.400	0.038	0.751 *	—	
6) Mean force	-0.268	0.799 **	0.506	-0.542	-0.651	—
7) Impulse	-0.640	0.415	0.759 *	0.516	0.407	0.202
POST 24						
Variables	1)	2)	3)	4)	5)	6)
1) Muscle soreness	—					
2) Dop jump index	-0.033	—				
3) Jump height	-0.620	0.455	—			
4) Contact time	-0.235	-0.867 **	0.037	—		
5) CG decrease	0.196	-0.714 *	-0.396	0.567	—	
6) Mean force	-0.190	0.960 ***	0.492	-0.820 **	-0.770 *	—
7) Impulse	-0.656	-0.477	0.509	0.791 **	0.339	-0.376
POST 72						
Variables	1)	2)	3)	4)	5)	6)
1) Muscle soreness	—					
2) Dop jump index	-0.106	—				
3) Jump height	0.258	0.615	—			
4) Contact time	0.364	-0.625	0.228	—		
5) CG decrease	0.180	-0.776 *	-0.329	0.614	—	
6) Mean force	-0.395	0.822 **	0.235	-0.772 *	-0.932 ***	—
7) Impulse	0.224	-0.091	0.677 *	0.783 **	0.121	-0.262

*** p<0.001 ** p<0.01 * p<0.05

Fig. 2 Relationship between the level of muscle soreness and the change ratio of jump performance.

躍高を獲得しようとする身体の制御機構に関係するものと解釈できる。実際に反力が有意に減少したのにもかかわらず、接地時間が増大したことから力積はPreのレベルを維持して跳躍高を獲得するように制御されている。堀田²²⁾は、100回連続ジャンプ運動の後半10回の試技を前半の10回の試技と比較すると、後半は地面反力（発揮張力）が支持期にわたり低値で推移し、踏切時間が増大していたことから、後半試技では発揮張力の減少を踏切時間の延長で補償し、一定の総仕事量すなわち跳躍高を保持していたことを報告している。また動作面でも接地期後半の足関節可動域の減少を膝関節可動域の増大で補償していることを明らかにしている。Arampatzis et al.²⁶⁾は、ドロップジャンプにおいて最も大きなパワーを発揮するためには、下肢のばね的な動きをより“硬い”ものにすることが重要ではなく、下肢全体が最も大きなパワーを発揮できるように下肢のばね的な動きを調節することが重要であると指摘しており、本研究で示された跳躍高を獲得するための“接地時間を長くし踏切中の力積を少しでも大きくする”という補償作用のための変容がこれに一致すると考えられる。そして、その後、神経性および筋性の筋疲労²⁴⁾がさらに進行してくるとこのような制御でのパフォーマンス維持が困難になるとされている²²⁾。本研究のP24の状態は、補償できる範囲を超えた状態に匹敵するものであると推測できる。また、跳躍運動の繰り返しにより伸張反射機能が低下すること²⁷⁾が報告されており、上述の補償は、SSCの機能低下を導き、プライオメトリックジャンプの狙いや課題とそぐわなくなったと考えられる。

P24においては、DJindexは全員が100%を下回っており、その構成要素である跳躍高は1名を除いては低下し、接地時間も1名を除いて長くなった。そして、DJindexが低下した者ほど、接地時間が長くなっていた。このジャンプの質を表す指標であるDJindexは、重心低下量および反力の変化と有意な関係を示し、また重心低下量および反力の変化率は相互に有意な関係を示した。これらの一連の関係を解釈すると、P24では重心の低下が著しい者ほど接地時間が長くなるとともに、接地でのキック力が低下し、ジャンプの課題である“短い時間で高く跳ぶ”という課題の達成から遠ざかったということになる。

24時間後には、このようなパフォーマンスや動きの質における大きな変化が認められることから、高強度のジャンプエクササイズを実施した翌日の「筋肉痛をかなり感じる」といったような状態でジャンプエクササイズを行えば、プライオメトリックスの課題を遂行することは不可能であると考えられる。また、P24では、多くの被検者が筋肉痛の高いレベルに集中しているため、筋肉痛の感じ方と、パフォーマンス低下の程度との間の関係は検証することはできなかった。

72時間後の変化 P72では、筋肉痛はレベル2の「少し感じる」程度残っている。しかし、パフォーマンスは、いずれもPreとの間には差はなく、ほぼ回復しているものと考えられる。また、力積、動作範囲などP24では有意に変化していた項目もPreに近いレベルまで回復している。このことから、筋肉痛とパフォーマンスの回復は、完全には一致していないものと考えられる。

また、Fig. 2からは、P72では、Preの水準を示す1を上回る者および1前後の者を合わせると、DJindexでは6名、そのうちの3名は1.1を超える変化率を示していることがわかる。すなわち、P72では、「短い時間で高く跳ぶ」というプライオメトリックジャンプの課題を遂行するにあたって、回復あるいは超回復を迎えている者が半数以上いたことがわかる。これらの結果から高強度ジャンプエクササイズ後、間隔を2日おいて再び同エクササイズを実施することは、パフォーマンスおよび動作の面から検討しても妥当であると判断できる。これは、プライオメトリックジャンプ後にトレーニング前の水準まで回復するには48～72時間が必要であるという指摘¹⁶⁾、適当なトレーニング頻度は2～3回/週であるという指摘^{17,18)}は、適切であることを支持するものであり、超回復の原理²⁸⁾の応用にとって有益な知見となる。

筋肉痛が交絡因子である可能性や、筋肉痛とジャンプパフォーマンスを表す各変数との因果関係等を検討するためには多変量解析を用いることが必要となる。しかしながら本研究の被検者数が9名であるために相関係数をもとに考察を進めたことは、本研究の限界である。

また、本研究では単発のトレーニングの回復過程について検証をしたが、一度トレーニングをした筋は筋肉痛が生じにくく、しかも回復も早いという報告^{4,11-14)}があることから、実際のトレーニング現場で展開されているトレーニングが反復された場合の回復過程に関しても今後、検証する必要がある。

結 語

本研究では高強度のプライオメトリックジャンプ遂行後の遅発性筋肉痛、ジャンプのパフォーマンス、キック力、下肢動作などの回復過程と、筋肉痛とパフォーマンスおよび動作などとの関係を検討した。その結果、ジャンプのパフォーマンスは、筋肉痛の程度と関係があることが明らかになった。特に筋肉痛の顕著な疲労運動の24時間後では、有意な跳躍高の低下および接地時間の増大がみられ、その結果、DJindexは顕著な低下を示した。このことから、「短い時間で高く跳ぶ」というプライオメトリックジャンプの課題が達成できない状況に陥っていたことが分かった。このパフォーマンスの低下は、エキセントリック局面での膝関節および足関節の動作の変化、地面反力の低下などと関係があった。また、4時間

後では筋肉痛を強く感じている者ほど跳躍高の低下が著しくなり, その結果, DJindex も低くなっていた。そして, 72時間後では, 「やや痛い」程度の筋肉痛が残っているが, DJindex および跳躍高で運動前とほぼ同等の水準まで回復をしていることから, 「短い時間で高く跳ぶ」というプライオメトリックジャンプの課題を遂行するにあたって回復を迎えていることが考えられる。これらの知見からトレーニングを計画・実施するうえで筋肉痛を考慮に入れることは有効であることが明らかになった。

文 献

- 1) 野坂和則. 筋肉を肥大させるためには筋を損傷させるとよいのか?, 征矢英昭・本山 貢・石井好二郎編, これでなっとく 使えるスポーツサイエンス, 講談社, 東京, 13-14, 2002.
- 2) Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 7: 207-234, 1989.
- 3) Clerk MJ, Eston EG. Delayed onset muscle soreness: mechanisms and management. *J Sports Sci* 10: 325-341, 1992.
- 4) Clarkson PM, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 24: 512-520, 1992.
- 5) McIntyre DL, Reid WD, McKenzie DC. Delayed muscle soreness the inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Med* 20: 24-40, 1995.
- 6) Brooks SV, Zerba E, Faulkner JA. Injury to muscle fibers after single stretches of passive and maximally stimulated muscles in mice. *J Physiol* 488: 459-469, 1995.
- 7) Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. Stretch shortening cycle fatigue: interactions among joint stiffness, reflex, and muscle mechanical performance in the drop jump corrected. *Eur J Appl Physiol* 73: 393-403, 1996.
- 8) Rodenburg JB, Bar PR, De Boer RW. Relationship between muscle soreness and biochemical and functional outcomes of eccentric exercise. *J Appl Physiol* 74: 2976-2983, 1993.
- 9) Warren GL, Lower DA, Armstrong RB. Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 27: 43-59, 1999.
- 10) Nosaka K, Newton N. Repeated eccentric exercise bout do not exacerbate muscle damage and repair. *J Str Cond Res* 16: 117-122, 2000.
- 11) Foley JM, Jayaraman RC, Prior BM, Pivarnik JM, Meyer RA. MR measurements of muscle damage and adaptation after eccentric exercise. *J Appl Physiol* 87: 2311-2318, 1999.
- 12) Nosaka K, Sakamoto K, Newton N, Sacco P. The protective effect of reduced-load eccentric exercise on muscle damage of the elbow flexors. *Eur J Appl Physiol* 85: 34-40, 2001.
- 13) Nosaka K, Newton N, Sacco P. How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Med Sci Sports Exerc* 33: 22-29, 2001.
- 14) Nosaka K, Newton N. Concentric or eccentric training effect on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 34: 63-69, 2002.
- 15) Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scandinavian J Rehabilitation Med* 2: 92-98, 1970.
- 16) Bompa TO. PERIODIZATION OF STRENGTH. VERITAS PUBLISHING, INC, Tronto, 218-219, 1994.
- 17) Aaberg E. Resistance Training Instruction. Human Kinetics, Champaign, 54, 1999.
- 18) 有賀誠司. プライオメトリクス, ストレngths & コンディショニング I, NSCA ジャパン編, 大修館書店, 東京, 108-116, 2003.
- 19) 関子浩二, 古藤高良, 高松 薫: 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.
- 20) Wells RP, Winter DA. Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion* 1: 92-93, 1980.
- 21) 阿江通良: 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, 1996.
- 22) 堀田朋基: 伸張から短縮への繰り返しジャンプによる疲労の影響, 体育の科学, 50: 452-458, 2000.
- 23) Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. Effect of exhausting stretch-shortening cycle exercise on the time course of mechanical behavior in the drop jump: possible role of muscle damage. *Eur J Appl Physiol* 79: 160-167, 1999.
- 24) 片山憲史, 田中忠蔵, 西川弘恭, 平澤泰介: 疲労, 体力科学, 43: 309-317, 1994.
- 25) Amussen E, Martin B. A central nervous component in local muscular fatigue. *Eur J Appl Physiol* 38: 9-15, 1978.
- 26) Arampatzis A, Schade F, Walsh M, Brüggemann GP. Influence of leg stiffness and its effect on myodynamic jumping performance. *J Electromyogr Kinesiol* 11: 355-364, 2001.
- 27) Nicol C, Komi PV, Horita T, Kyröläinen H, Takala TE. Reduced stretch-reflex sensitivity after exhausting stretch-shortening cycle. *Exerc Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 72: 401-409, 1996.
- 28) Yakovlev NN. Biochemistry of sport in the Soviet Union: beginning development and present status. *Med Sci Sports* 7: 237-247, 1975.