

IV. 健常者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性－跳躍方法の相違に着目して－（研究課題1-2）

1. 目的

伸張－短縮サイクル（Stretch-Shortening Cycle; SSC）運動は、主運動に先立つ伸張性収縮による負荷（伸張負荷）によって、主運動すなわち短縮局面において発揮される力やパワーを大きくする（高松ら、1991）。このSSC運動の伸張負荷様式を利用する筋力・パワーのトレーニング法として、プライオメトリックトレーニング（プライオメトリックス）があげられる。特に、下肢のSSC運動の遂行能力を高めるためのプライオメトリックス手段の一つとして、多くの競技者は、リバウンドジャンプを行っている。リバウンドジャンプをプライオメトリックス手段として用いるためには、跳躍トレーニング経験などによって跳躍方法を適切に選択する必要がある。代表的なリバウンドジャンプトレーニングとして、リバウンド型一回ドロップジャンプおよびリバウンド型連続ジャンプがあげられる。その場でのリバウンド型連続ジャンプは、これによる跳躍高とほぼ同じ高さの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプと比較して、伸張負荷の強度に大きな差はみられないと考えられる。しかし、連続跳躍であるために、跳躍トレーニング経験のない非鍛錬者でも伸張負荷に対する適応が可能になり、SSC運動の遂行能力を高めることが可能であると考えられ

る。

一方、ヒトのlocomotionを制御する一つの要因として、筋stiffnessの調節があげられる。筋stiffnessの調節は、歩行、ランニング、ジャンプなどの踏切局面における身体のバランス維持や、動作速度または不規則な着地面などの状況変化に対する適切な補償機能として重要な役割を果たしている (Gollhofer et al., 1984)。また、このような運動における筋stiffnessの調節は、踏切前の下肢の各筋群の活性レベルに影響されるが、それは負荷に対する予測などの学習経験によって効率的に行うことが可能である (Avela et al., 1996)。

ヒトのほとんどのlocomotionはSSC運動として特徴づけられ、この有効性は、一つには、伸張負荷に起因する伸張反射によって筋stiffnessの調節が合目的的に遂行された場合にのみ生じ、またその筋stiffnessがSSC局面全般を通して維持された場合にのみ生じるといわれている (Gollhofer et al., 1992)。したがって、SSC運動の遂行能力を高めるためには、一つには、伸張反射を利用して筋stiffnessを合目的的に強化することが重要である。特に、リバウンドジャンプは、接地時に、主働筋である腓腹筋ーアキレス腱複合体 (Gastrocnemius Muscle-Achilles Tendon Complex; MTC) に大きな伸張負荷がかかるために腓腹筋のstiffnessを効果的に強化することができる。このために、実際のトレーニングでは、伸張反射機構を有効に機能させることによって、腓腹筋のstiffnessをいかに合目的的に強化することができるかが重要な課題となる。伸張反射は、筋の伸張量や伸張速度に影響されることから (Aura and Komi, 1986)，傾斜面、特に上向き斜面でのリバウンドジャンプは、これらの課題を解決するのに適したプライオメトリックス手段の一つになると考えられる。

筋stiffnessは、神経筋活動によって調節することができ、筋の長さ変化の範

脚は、筋stiffnessが大きくなるにつれて小さくなる (Rack and Westbury, 1974)。したがって、リバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffnessレベルは、MTC全長におけるアキレス腱と腓腹筋の伸張比 (LAT/LGAS) を検討することによって推測できると考えられる (Lieber, 1992)。一方、筋stiffnessが合目的的に高まった場合、腱におけるゴルジ腱器官反射の影響が緩和され、MTC全長の長さ変化に対して発揮される張力は大きくなると考えられる (Zajac, 1989)。したがって、腓腹筋のstiffnessレベルは、伸張局面におけるMTC全長の長さ変化に対する踏切中点（膝関節が最も屈曲した時点）のアキレス腱張力の比 (ATFMID/LMTC) を検討することによっても推測が可能であると考えられる。

本研究の目的は、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffness特性を、リバウンド型一回ドロップジャンプおよびその場でのリバウンド型連続ジャンプの2つの跳躍方法を用いて比較検討することである。

2. 方法

(1) 被験者

被験者には、男子健常者9名（年齢：24.8±4.1歳、身長：1.73±0.04m、体重：72.6±8.4kg、下腿長：0.40±0.03m）を対象にした。本研究で用いた健常者は、以前、運動競技部に所属した経験のある体育を専攻する大学院生であり、専門的な跳躍トレーニングを行った経験はなかった。実験を開始するにあたり、全ての被験者に本研究の目的、方法および実験に伴う危険性などを十分に説明し、実験参加に対する同意を得た。なお、本研究に参加した被験者は、

傾斜面でリバウンドジャンプを行った経験がなかったために、実験に先だって十分な練習を行わせた。

(2) 実験運動

被験者には、30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプ (RDJ30) およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ (5RJ) を、上向き斜面8度 (U8)、平地面 (L)、下向き斜面8度 (D8) の傾斜ボックス上で裸足で行わせた。RDJ30の台高は、傾斜ボックスの中心から30cmになるように設定した。それぞれの傾斜条件でのリバウンドジャンプを遂行する際には、できるだけ傾斜ボックスの中心部分に着地するように指示を与え、身体の前後移動が大きいことなど、実験条件を満たさなかった場合には再度行わせた。試技は、手を腰に当てた姿勢で、踏切時間をできるだけ短くして、できるだけ高く跳ぶように指示して行わせた。RDJ30および5RJともに数回の試技を行わせ、そのなかで最も跳躍高の高かった試技を分析対象とした。なお、着地面の傾斜角度の試技順序は、全ての被験者においてランダムに行わせ、試技間には疲労の影響をなくすために十分な休息をとらせた。

(3) 分析項目および分析方法

本研究では、すべての跳躍試技を、被験者の左側方に設置した高速度ビデオカメラ (Nac社製、HSV-400) を用いて、毎秒200コマで撮影した。それと一緒に、地面反力をフォースプラットフォーム (Kistler社製、9281type) を用いて測定した。

地面反力のデータをもとにして、踏切時間および滞空時間を求めた。跳躍高

(JH) は、式 [$JH = 1/8 \cdot g \cdot FT^2$]に滞空時間 (FT) および重力加速度 ($g=9.81\text{m/s}^2$) を代入することによって算出した (Asmussen and Bonde-Petersen, 1991).

得られたビデオ画像をもとにして、まず、身体計測点および較正マーク次元座標を1コマおきに読み取り、身体計測点の座標値を実長換算した。そして次に、実長換算した身体座標値の最適遮断周波数をWells and Winter (1984) 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。なお、決定された身体の各分析点の最適遮断周波数は、1~7Hzの範囲内であった。本研究では、この平滑化した身体座標値を用いて、下肢の各関節の角度を算出した。関節トルクは、阿江ら (1992) の身体部分係数を用いて求めた。下腿、大腿の質量、質量中心位置および慣性モーメントを、それら4個剛体からなるリンクセグメントモデルに入力して算出した (Winter, 1990)。なお、傾斜面上での力の作用点は、尹ら (1999b) の方法にもとづいて算出した。

アキレス腱張力 (ATF) は、足関節トルクをモーメントアームで除することによって求めた (Fukashiro et al., 1993)。モーメントアームは、Grieve et al. (1978) のモデルをもとにして求めた (Bobbert et al., 1986)。本研究では、この ATFをもとにして、踏切中点のATF (ATFMID) を求めた。

腓腹筋-アキレス腱複合体 (MTC) の長さ変化 (ΔL_{MTC}) は、画像データから得られた膝関節および足関節の角度変位を、Grieve et al. (1978) のモデルに入力して求めた。そして、この ΔL_{MTC} を時間で微分することによって、伸張面における平均伸張速度 (V_{MTC}) を求めた。 ΔL_{MTC} のうち、アキレス腱の長さ変化 (ΔL_{AT}) はアキレス腱の応力-ひずみ関係を示す式 [$ATF = k \cdot (\Delta L_{AT})^n$]

²] を用いて求め (van Ingen Shenau, 1984) , 腹筋の長さ変化 ($\Delta LGAS$) は $\Delta LMTC$ から ΔLAT を差し引くことによって求めた (Fukashiro et al., 1995) . なお, 式の弾性定数を示す k は, Voigt et al. (1995a, 1995b) による推定方法 [$k = \{ Y A_T (\varepsilon_{max} - \varepsilon_T) 10^2 \} / (\varepsilon_{max} l_0)^2$] に従って求めた. 推定するにあたって, アキレス腱の長さ (l_0) および横断面積 (A_T) は, Yamaguchi et al. (1990) によって報告されたヒトの屍体の平均値を用いた. それらの値は, それぞれ 0.364m および $0.625 \times 10^{-4}\text{m}^2$ (片脚) であった. なお, Y はヤング率 (1.2GPa) を, ε_{max} は腱の断裂直前の長さ変化 (アキレス腱長の 6% に相当) を, ε_T は腱の応力-ひずみ関係における非線形局面の長さ変化 (アキレス腱長の 2% に相当) を示す. このように本研究では, 全ての被験者において一定の弾性定数を用いているので, 方法論上に課題を残している.

また, 伸張局面における MTC ($LMTC$), アキレス腱 (LAT) および腹筋 ($LGAS$) の伸張量は, 踏切中点の長さ変化量から接地時の長さ変化量を差し引くことによって求めた.

本研究では, 腹筋内側頭および前脛骨筋からの EMG を, 表面双極誘導法 (電極間距離: 2cm) を用いて測定した. EMG 信号は, マルチテレメーターシステム (日本光電工業製, WEB-5000型) を介してデータレコーダ (SONY社製, PC208A) に入力した後, A/D 変換器を介して 1ms ごとに数値化してパーソナルコンピューター (Apple社製, Quadra800) に取り込み, さらに全波整流した後, カットオフ周波数 10Hz で低域遮断フィルタリングを行った. これをもとにして, 接地 100ms 前から接地時までの予備緊張局面および伸張局面における腹筋の IEMG ($IEMGGAS$) および前脛骨筋の IEMG ($IEMGTA$) を求めた.

(4) 統計処理

各測定項目の成績は、平均値±標準偏差で示した。EMG以外の測定項目における平均値の差の検定には、二要因分散分析〔跳躍方法（RDJ30, 5RJ）×傾斜面（U8, L, D8）〕を用い、F値が有意であった項目については、LSD法によって多重比較を行った。EMGについては、各跳躍方法における傾斜面間の有意差の検定には一要因分散分析を用い、各傾斜面における跳躍方法間の有意差の検定には対応のあるt-testを用いた。相関係数はピアソンの方法を用いて算出した。なお、統計処理の有意性は危険率5%水準で判定した。

3. 結果

(1) 跳躍高、踏切時間、踏切中点のアキレス腱張力、伸張局面における腓腹筋－アキレス腱複合体の伸張量、平均伸張速度、伸張局面における腓腹筋－アキレス腱複合体の長さ変化に対する踏切中点のアキレス腱張力の比、および伸張局面におけるアキレス腱と腓腹筋の伸張比

表5に、跳躍高、踏切時間、ATFMID、LMTC、VMTC、ATFMID/LMTCおよびLAT/LGASの平均値および標準偏差を示した。また、表6に、これらの分析項目に対する跳躍方法と傾斜面の影響をみるために行った二要因分散分析の結果を示した。なお、VMTCは負の値であるが、ここでは絶対値を用いて比較した。

跳躍高、踏切時間およびLMTCには、跳躍方法間に有意な主効果が認められた。5RJはRDJ30と比較して、跳躍高は高く、踏切時間は短く、LMTCは大きい

Table 5. Jumping height, contact time, achilles tendon force at midpoint (ATFMID), length change (LMTC) and mean stretch velocity (VMTC) of muscle-tendon complex during eccentric phase, ATFMID/LMTC, and ratio of achilles tendon length change to m. gastrocnemius length change (LAT/LGAS) during eccentric phase in RDJ30 and 5RJ.

Inclination	n	Jumping height (m)	Contact time (s)	ATFMID (N / kg)	LMTC (mm)	VMTC (ΔL %/s)	ATFMID / LMTC	LAT / LGAS
RDJ30	U8	9	0.306 ± 0.045	0.201 ± 0.040	56.5 ± 10.1	23.9 ± 4.5	58.8 ± 13.8	2.46 ± 0.75
	L	9	0.307 ± 0.029	0.187 ± 0.023	67.5 ± 8.3	21.5 ± 4.7	73.9 ± 16.9	3.35 ± 1.16
	D8	9	0.302 ± 0.032	0.184 ± 0.048	55.3 ± 10.7	19.3 ± 3.2	54.9 ± 18.7	2.91 ± 0.61
5RJ	U8	9	0.331 ± 0.031	0.175 ± 0.017	70.2 ± 8.2	23.0 ± 5.3	99.4 ± 23.5	3.20 ± 0.89
	L	9	0.334 ± 0.040	0.174 ± 0.015	71.2 ± 10.7	27.5 ± 4.8	84.8 ± 13.3	2.65 ± 0.53
	D8	9	0.316 ± 0.035	0.168 ± 0.012	65.1 ± 4.2	23.0 ± 6.8	65.9 ± 16.9	2.83 ± 0.98

Values are mean ± SD

† : VMTC is absolute value.

Table 6. Statistical data for the results of jumping height, contact time, achilles tendon force at midpoint (ATFMID), length change (LMTC) and mean stretch velocity (VMTC) of muscle-tendon complex during eccentric phase, ATFMID/LMTC, and ratio of achilles tendon length change to m. gastrocnemius length change (LAT/LGAS) during eccentric phase in RDJ30 and 5RJ.

Variable	Analysis of variance			Inclination					
	Main effects (F value)	2-way interaction		Jump type			All		
		Jump type	Inclination	(F value)	All	U8	L	D8	All
Jumping height	5.067 *	0.507	0.171	RDJ30 < 5RJ					
Contact time	5.285 *	0.745	0.227	5RJ < RDJ30					
ATFMID	8.078 *	7.443 *	1.638	RDJ30 < 5RJ					D8 < L
LMTC	4.569 *	2.173	2.236	RDJ30 < 5RJ					
VMTC †	19.099 *	6.927 *	4.310 *	RDJ30 < 5RJ					D8 · U8 < L · U8
ATFMID / LMTC	0.004	0.196	3.263 *	RDJ30 < 5RJ					U8 < L
LAT / LGAS	0.669	0.089	4.723 *	RDJ30 < 5RJ					U8 < L

Analysis of variance was performed for two-way classification[jump type (RDJ30, 5RJ) × inclination (U8, L, D8)].

† : VMTC was compared by using the absolute value.

* : p < 0.05

< : p < 0.05

値であった。

ATFMIDには、跳躍方法間、傾斜面間にそれぞれ有意な主効果が認められた。跳躍方法間でみると5RJはRDJ30と比較して、また傾斜面間でみるとLはD8と比較して、いずれもATFMIDは大きい値であった。

VMTC、ATFMID/LMTCおよびLAT/LGASには、有意な交互作用が認められた。跳躍方法間でみると、5RJはRDJ30と比較して、3項目ともにU8において大きい値であった。一方、傾斜面間でみると、RDJ30ではD8およびU8はLと比較してVMTCは小さく、U8はLと比較してATFMID/LMTC、LAT/LGASは小さい値であった。また、5RJではD8はLおよびU8に比較して、VMTCは小さい値であった。

(2) 予備緊張局面および伸張局面における腓腹筋および前脛骨筋のIEMG

図12に、予備緊張局面および伸張局面におけるIEMGGASおよびIEMGTAを、いずれも平地面（L）でのRDJ30の値に対する相対値で示した。

跳躍方法間でみると、5RJはRDJ30と比較して、予備緊張局面および伸張局面とともに、IEMGGASはU8およびD8では大きく、Lでは小さい傾向が認められた。このうち、伸張局面でのU8における差は有意であった。これに対して、IEMGTAは、予備緊張局面においては、5RJはRDJ30と比較して、U8およびD8では小さく、Lでは大きい傾向が認められた。また、伸張局面ではU8、L、D8とともに、5RJはRDJ30と比較して、小さい傾向が認められた。

一方、傾斜面間でみると、U8およびD8はLと比較して、予備緊張局面、伸張局面とともに、IEMGGASはRDJ30では小さく、5RJでは大きい傾向が認められた。このうち、予備緊張局面でのRDJ30におけるU8とLとの差、および伸張局面でのRDJ30におけるU8およびD8とLとの差は有意であった。これに対して、

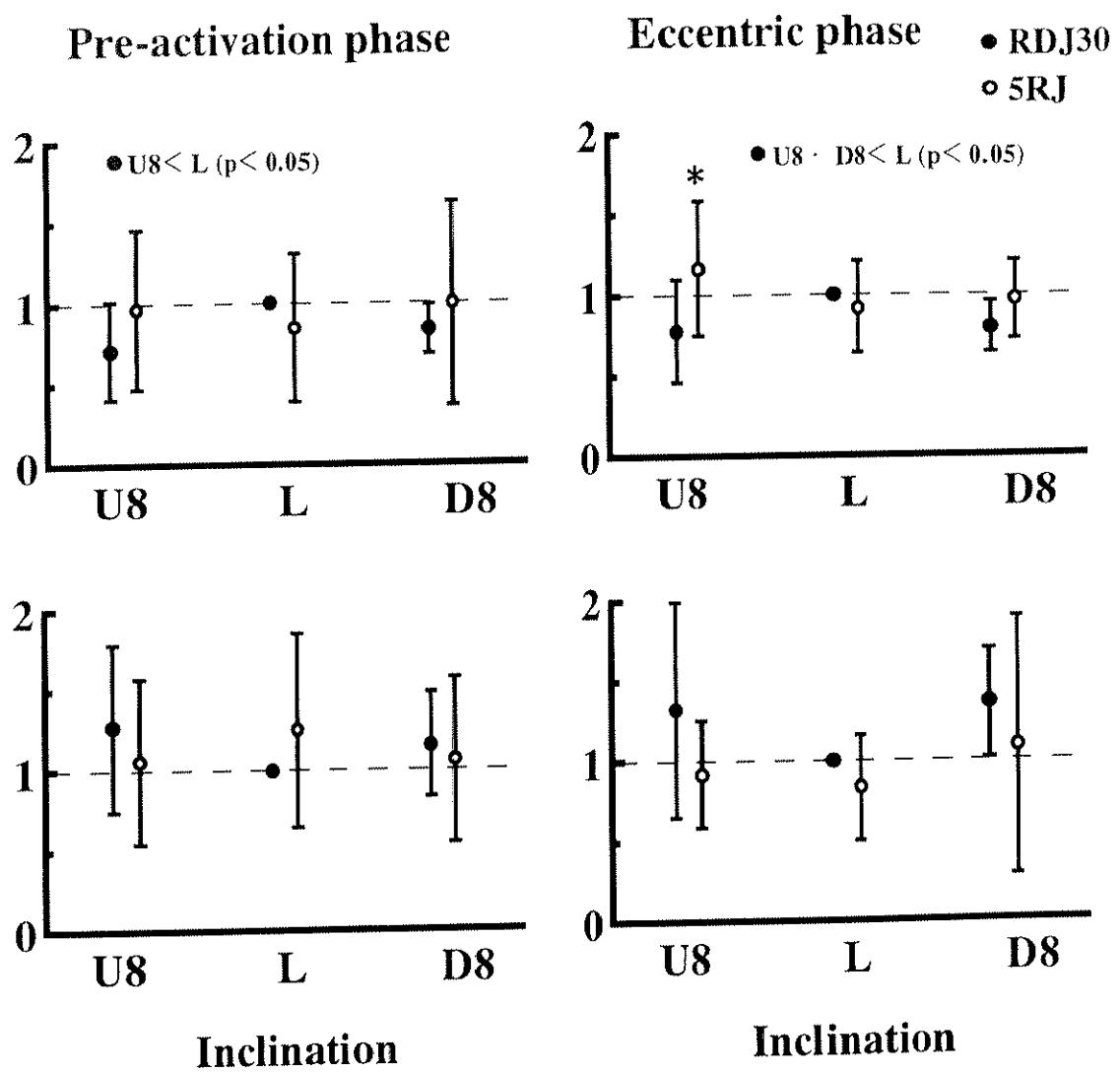


Figure 12 Integrated EMG of medial head of m. gastrocnemius (IEMGGAS) and m. tibialis anterior (IEMGTA) during pre-activation and eccentric phase in RDJ30 and 5RJ.

Values are ratio to flat condition in RDJ30.

* : Statistically significant from RDJ30 ($p < 0.05$)

IEMG_{TAI}は、予備緊張局面においては、U8およびD8はLと比較して、RDJ30では大きく、5RJでは小さい傾向が認められた。また、伸張局面では、RDJ30、5RJとともに、U8およびD8はLと比較して大きい傾向が認められた。

(3) 伸張局面における腓腹筋ーアキレス腱複合体の長さ変化に対する踏切中点のアキレス腱張力の比とアキレス腱と腓腹筋の伸張比との関係

図13に、RDJ30および5RJにおけるATFMID/LMTCとLAT/LGASとの関係を示した。ここではU8、L、D8の全てのデータを用いた。両者間には、RDJ30および5RJとともに有意な正の相関関係が認められた。

(4) 踏切局面における腓腹筋ーアキレス腱複合体の長さ変化ーアキレス腱張力関係、および腓腹筋ーアキレス腱複合体の収縮速度ーアキレス腱張力関係

図14および図15に、踏切局面におけるMTCの長さ変化ーATF関係およびMTCの収縮速度ーATF関係を示した。ここでは、U8およびD8の試技において、RDJ30と5RJの跳躍高に最も差がみられた代表的な1名の被験者について示した。図14は、U8、L、D8に分けて跳躍方法による違いをみたものである。図15は、RDJ30と5RJに分けて傾斜面による違いをみたものである。

MTCの長さ変化ーATF関係は、MTCの弾性的な性質に関する基礎的な情報を示すものである。腓腹筋のstiffnessレベルは、この曲線の傾きに影響を与えるものと考えられる。また、腓腹筋のstiffnessは、MTCの収縮速度に影響されることから、MTCの収縮速度ーATF関係を検討することによって、腓腹筋のstiffnessレベルを直接的に推測することも可能であると考えられる。

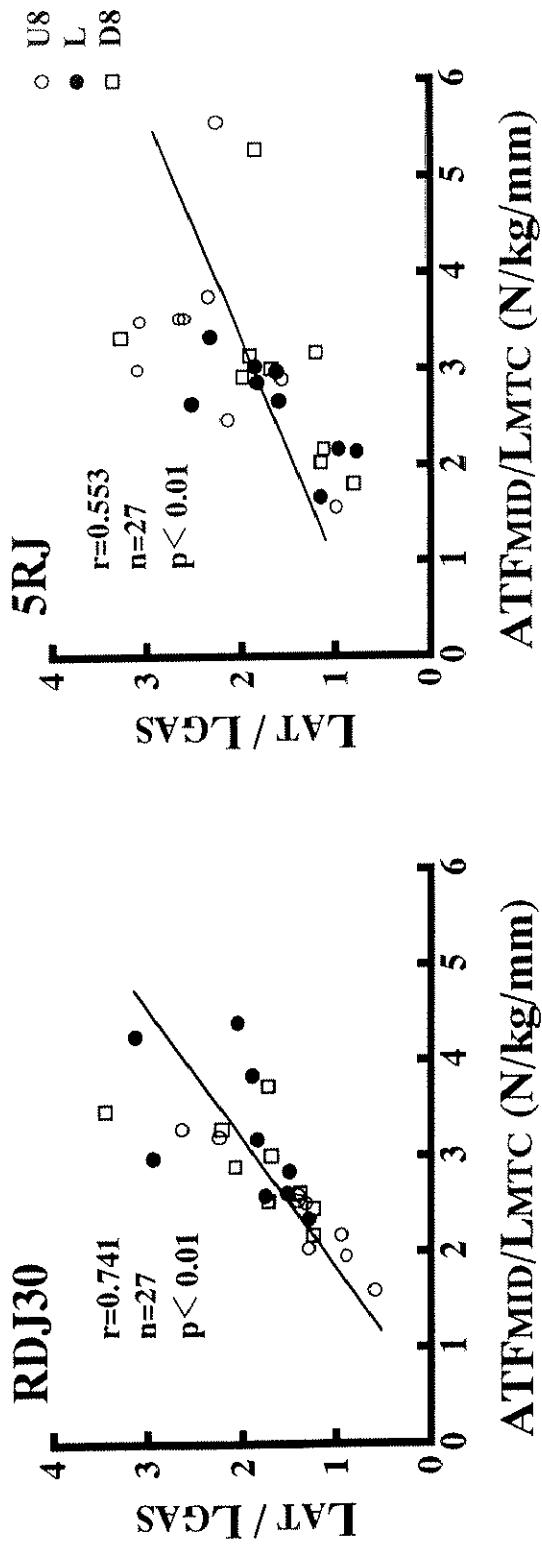


Figure 13 Relationships between ratio of achilles tendon force at midpoint to length change of muscle-tendon complex during eccentric phase ($\text{ATFMID} / \text{LMTC}$) and ratio of achilles tendon length change to m. gastrocnemius length change during eccentric phase (LAT / LGAS) in RDJ30 and 5RJ.

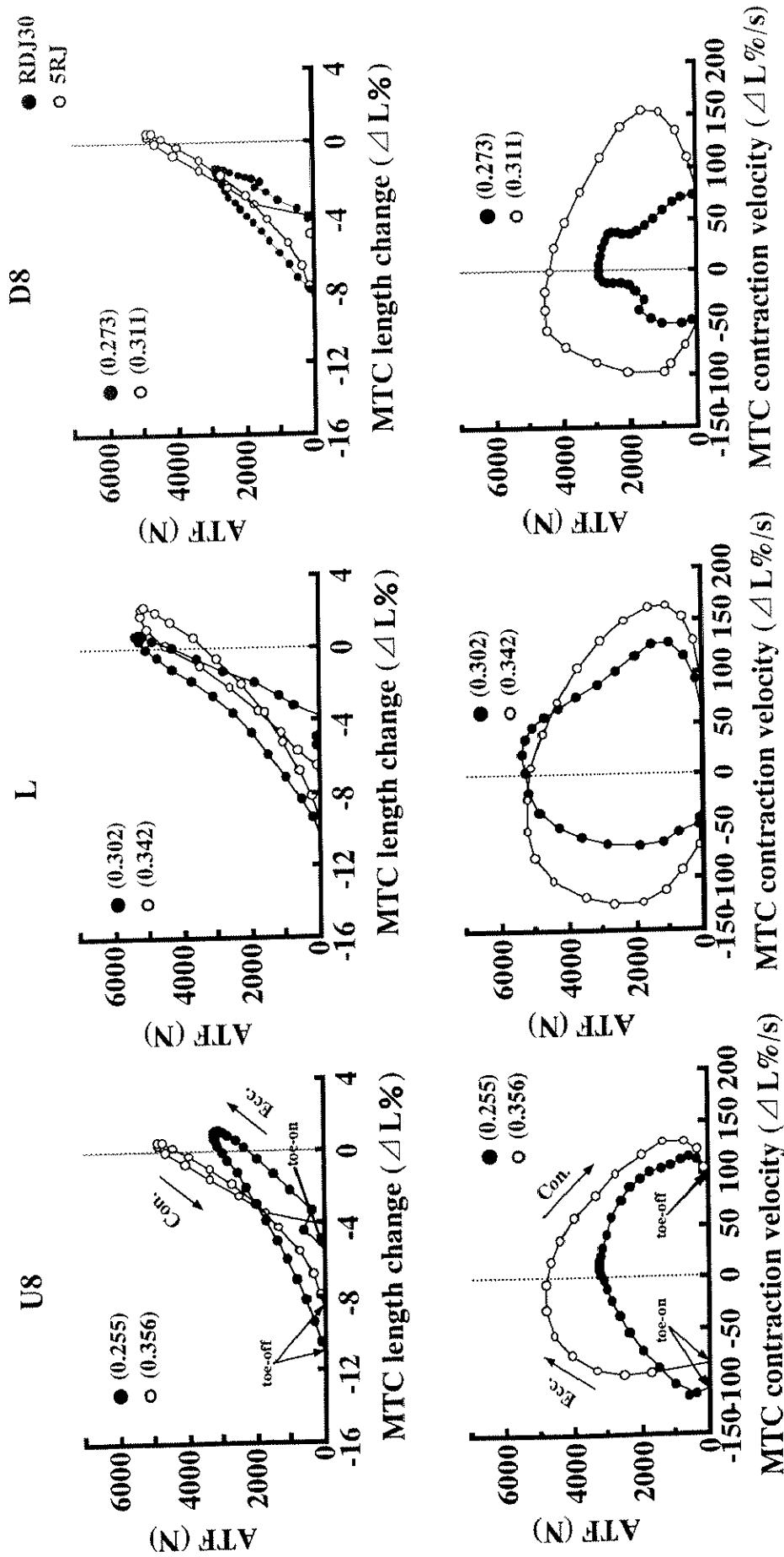


Figure 14 Relationships of muscle - tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with achilles tendon force (ATF) in RDJ30 and 5RJ for subject A. -Comparison for the jump type-
(): Jumping height (m)

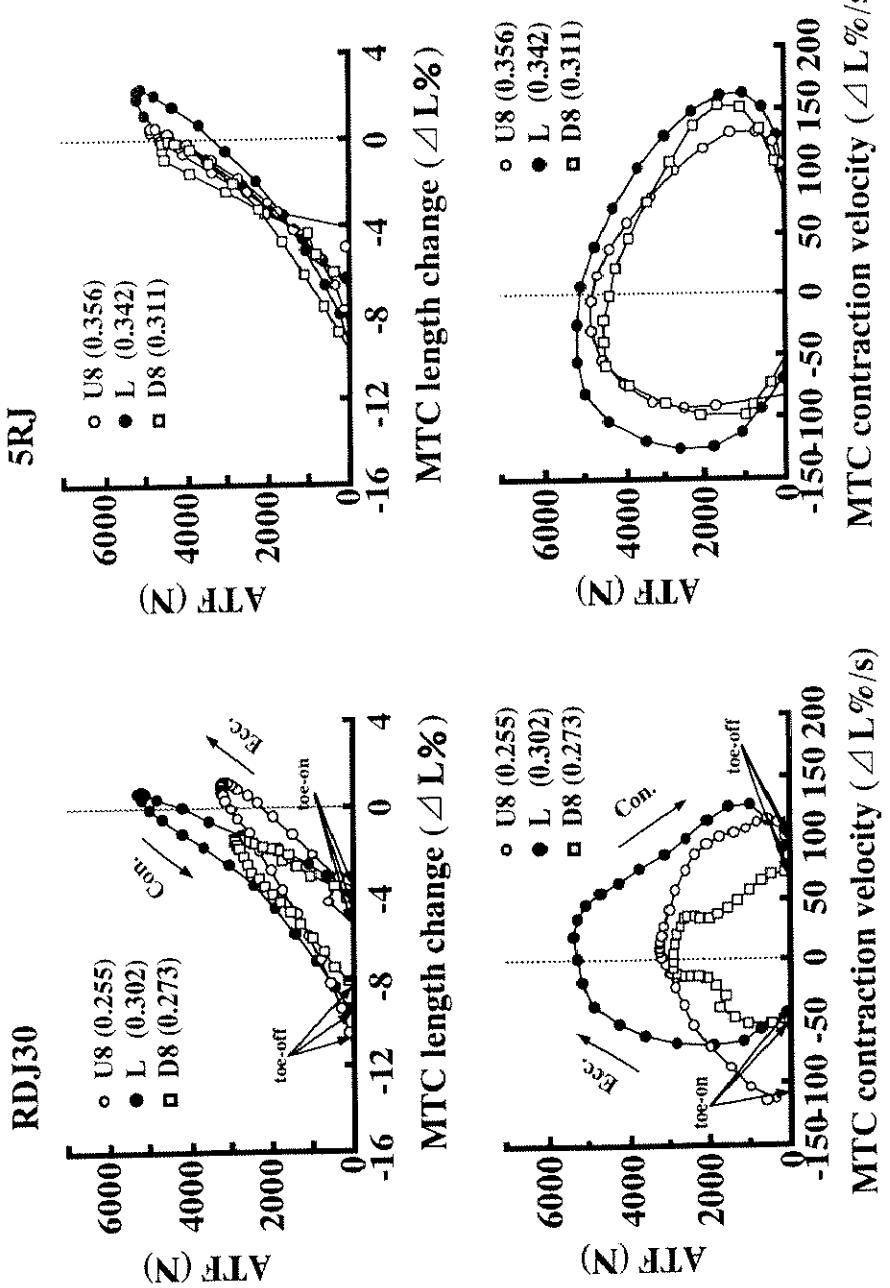


Figure 15 Relationships of muscle-tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with achilles tendon force (ATF) in RDJ30 and 5RJ for subject A. -Comparison for the inclination-

(): Jumping height (m)

跳躍方法間でみると（図14），5RJはRDJ30と比較して、U8においてMTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きは急であること（上図），およびMTCの伸張速度を維持または速くしながらATFが大きくなる傾向にあることが認められた（下図）。これに対して、LおよびD8におけるMTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きには、5RJとRDJ30との間に大きな差は認められなかつた（上図）。

一方、傾斜面間でみると（図15），U8およびD8はLと比較して、MTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きは、RDJ30では緩やかであるのに対して、5RJでは大きな差がないことが認められた（上図）。また、U8およびD8はLと比較して、RDJ30では、接地後のMTCの収縮速度の低下が素早く生じ、ATFが低下する傾向にあるのに対して、5RJでは、いずれの傾斜面においても接地時のMTCの伸張速度を維持しながらATFを大きくする傾向が認められた（下図）。

4. 考察

Hill (1938) の筋モデルによれば、筋一腱複合体は、収縮要素としての筋線維と直列弾性要素としての腱組織から成り立っている。SSC運動の有効性の一つとしては、伸張負荷によって発揮される収縮要素の張力が等尺性収縮時の2倍以上になること (Ettema et al., 1990)，およびそれによって直列弾性要素である腱が引き伸ばされ、弾性エネルギーの貯蔵を増大させることによって、主運動局面の力やパワーを増大させたり、機械的効率を高めることなどがあげられている (Griffiths, 1991; Bobbert et al., 1986a)。

筋stiffnessは、筋一腱複合体における筋および腱の長さ変化をみるとことによって推測することができる。このために、SSC運動の有効性を適切に評価するためには、筋一腱複合体の動態を、筋と腱とに分けて検討することが必要になる。本研究で用いたRDJ30や5RJのようなリバウンドジャンプにおいてSSC運動の有効性を十分に利用するためには、伸張局面における腓腹筋のstiffnessを合目的的に高めることによって、アキレス腱を伸張させることが重要であると考えられる。なぜならば、そのことによって、アキレス腱における弾性エネルギーの貯蔵が増大すると考えられるからである（尹ら、1999b）。

本研究では、伸張局面における腓腹筋のstiffnessレベルを、この局面におけるアキレス腱と腓腹筋の伸張比（LAT/LGAS）を用いて検討した（表5・6）。その結果、RDJ30ではU8はLと比較して有意に小さい値であった。これに対して、5RJではU8はLおよびD8と比較して大きい傾向が認められた。また、5RJはRDJ30と比較して、U8では有意に大きい値であった。これらのこととは、U8での5RJは、伸張局面において腓腹筋のstiffnessが増大することによって、腓腹筋の伸張に対して相対的にアキレス腱が大きく伸張し、その結果弾性エネルギーの貯蔵が増大する可能性を示唆するものである。

また本研究では、伸張局面における腓腹筋のstiffnessレベルを、MTCの平均伸張速度（V_{MTC}）、および伸張局面におけるMTCの長さ変化に対する踏切中点のアキレス腱張力の比（ATF_{MID}/LMTC）を用いて検討した（表5・6）。V_{MTC}を用いた理由としては、収縮速度は伸張反射に影響を及ぼし（Komi, 1986），伸張反射は筋stiffnessを増加させること（Houk, 1979）があげられる。また、ATF_{MID}/LMTCを用いた理由としては、ヒトの筋の長さ一力関係はさまざまな負荷条件下での弹性的な収縮特性を反映していることから（Gollhofer et al., 1992

），この関係を知ることによって筋のstiffnessレベルをより直接的に推定できることがあげられる。特に、腓腹筋のstiffnessレベルを推定するのに、ATFMID/LMTCを用いた理由としては、腓腹筋のstiffnessがMTCの生理学的な長さ変化の範囲内において合目的的に高まった場合に、アキレス腱におけるゴルジ腱器官反射の影響が緩和され、結果的にMTC全長において発揮される力は大きくなることがあげられる（Zajac, 1989）。これは、図13に示したように、ATFMID/LMTCとLAT/LGASとの間に有意な正の相関関係が認められたことからも推察することができる。したがって、本研究で用いられた跳躍運動では、LAT/LGASを大きくすることによって、MTC全長において発揮される張力を大きくすることができると考えられる。

本研究の結果をもとにすると、 V_{MTC} は、RDJ30ではU8およびD8はLと比較して有意に小さかったが、5RJではU8およびLはD8と比較して有意に大きい値であった。また、5RJはRDJ30と比較して、U8では有意に大きい値であった。一方、ATFMID/LMTCは、RDJ30ではU8はLと比較して有意に小さい値であったが、5RJではU8はLおよびD8と比較して大きい傾向が認められた。また、5RJはRDJ30と比較して、U8では有意に大きい値であった。これらのこととは、上述したLAT/LGASの結果と同様に、U8での5RJは、伸張局面において腓腹筋のstiffnessが増大することによってMTC全長の長さ変化あたりのアキレス腱張力が大きくなり、その結果弾性エネルギーの貯蔵が増大する可能性を示唆するものである。

上述したU8での5RJにおける腓腹筋のstiffnessの増大は、U8およびD8の試技においてRDJ30と5RJの跳躍高に最も差がみられた代表的な1名の被験者の踏切局面におけるMTCの長さ変化—ATF関係、およびMTCの収縮速度—ATF関係か

らも推察される（図14・15）。

跳躍方法間でみると（図14），5RJはRDJ30と比較して、U8ではMTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きは急であること（上図），およびMTCの伸張速度を維持または速くしながらATFが大きくなる傾向にあることが認められた（下図）。これに対して、LおよびD8におけるMTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きには、5RJとRDJ30との間に大きな差は認められなかった（上図）。

一方、傾斜面間でみると（図15），U8およびD8はLと比較して、MTCの長さ変化—ATF関係を示す曲線の傾きは、RDJ30では緩やかであるのに対して、5RJでは大きな差がないことが認められた（上図）。また、U8およびD8はLと比較して、RDJ30では接地後のMTCの収縮速度の低下が素早く生じ、ATFが低下する傾向にあるのに対して（下図），5RJでは、いずれの傾斜面においても接地時のMTCの伸張速度を維持しながらATFを大きくする傾向が認められた（下図）。これらの結果もまた、U8での5RJは、伸張局面において腓腹筋のstiffnessが増大する可能性を間接的に示すものであろう。

上述のように、本研究では、U8はLと比較して、腓腹筋のstiffnessはRDJ30では低下し、5RJでは増大する可能性が認められた。本研究では、この原因を明示することはできないが、一つの理由として、予備緊張局面および伸張局面におけるIEMG_{GAS}とIEMG_{TA}がRDJ30と5RJでは異なっていることがあげられる（図12）。

RDJ30では、U8はLと比較して、予備緊張局面および伸張局面におけるIEMG_{GAS}は有意に小さく、拮抗筋であるIEMG_{TA}は増大する傾向が認められた。このことは、RDJを上向き斜面で行った場合には、傾斜面による伸張負荷

から筋・腱システムを保護するために、衝撃緩衝や姿勢保持に重点をおいた跳躍動作になること、およびそのために伸張反射を十分に活用できないので、主働筋である腓腹筋のstiffnessは低下し、弾性エネルギーを有効に利用できない可能性を示唆するものである。なお、このような可能性は、Gollhofer and Kyröläinen (1991) が、高強度のSSC運動を行った場合には、接地前後の筋電位活動を減少させ、筋-腱複合体の緊張を和らげようとする自衛的なメカニズムが生じると報告したことと同じである。

一方、5RJでは、U8はLと比較して、予備緊張局面および伸張局面のIEMG TAに大きな差がみられなかったことから、身体のバランスを維持することに特別な注意を傾けることなく跳躍に集中でき、腓腹筋のstiffnessを高めることができたと考えられる。また、5RJでは、踏切時間が短いことなどから（表5）、着地を予測しながら跳躍できたこともあげられる。

したがって、本研究の結果をもとにすると、健常者が傾斜面でのSSCを用いた跳躍運動において腓腹筋のstiffnessを高める場合には、RDJ30のような単発的な跳躍運動を用いるよりも、5RJのような伸張負荷を予測できる連続跳躍運動を用いたほうがよいのではないかと考えられる。しかし、図16・17に示したように、跳躍方法間および傾斜面間において、MTCの長さ変化-ATF関係を示す曲線の傾きやMTCの伸張速度に大きな差がみられなかった被験者も認められることから、本研究で示された結果が傾斜面の本来的な負荷特性であるか否かについては、今後、高度に鍛錬されたスポーツ競技者を対象としてさらに検討する必要がある。

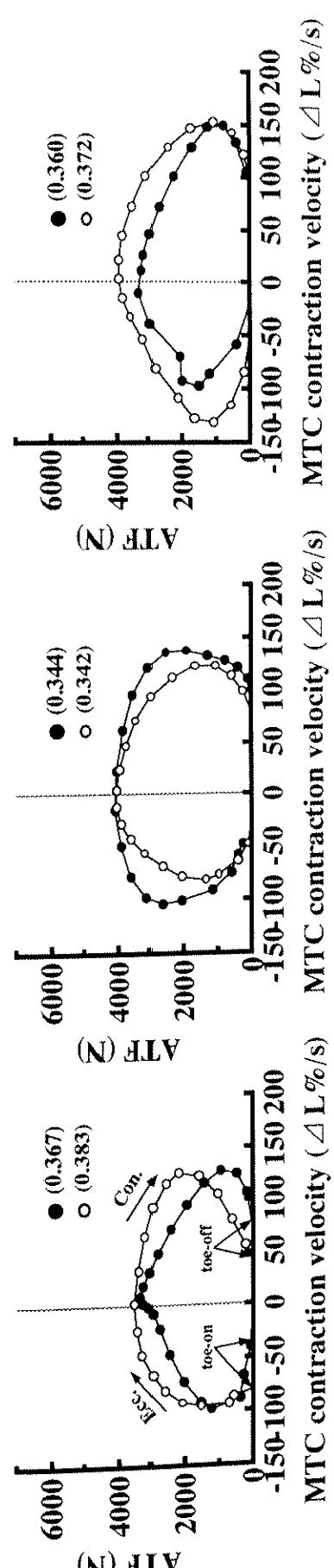
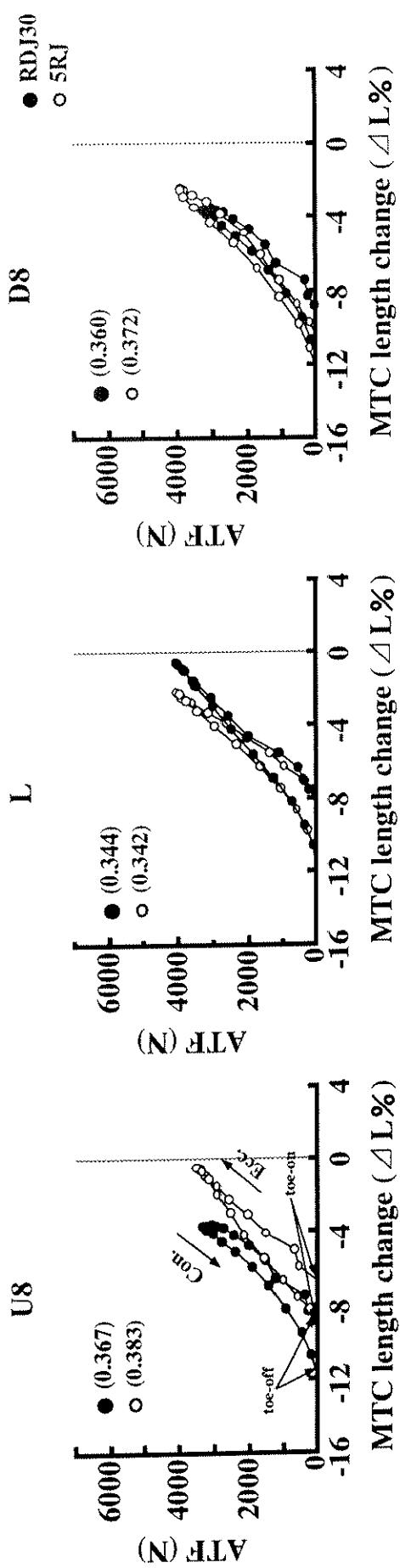


Figure 16 Relationships of muscle-tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with achilles tendon force (ATF) in RDJ30 and 5RJ for subject B. -Comparison for the jump type-
(): Jumping height (m)

RDJ30 5RJ

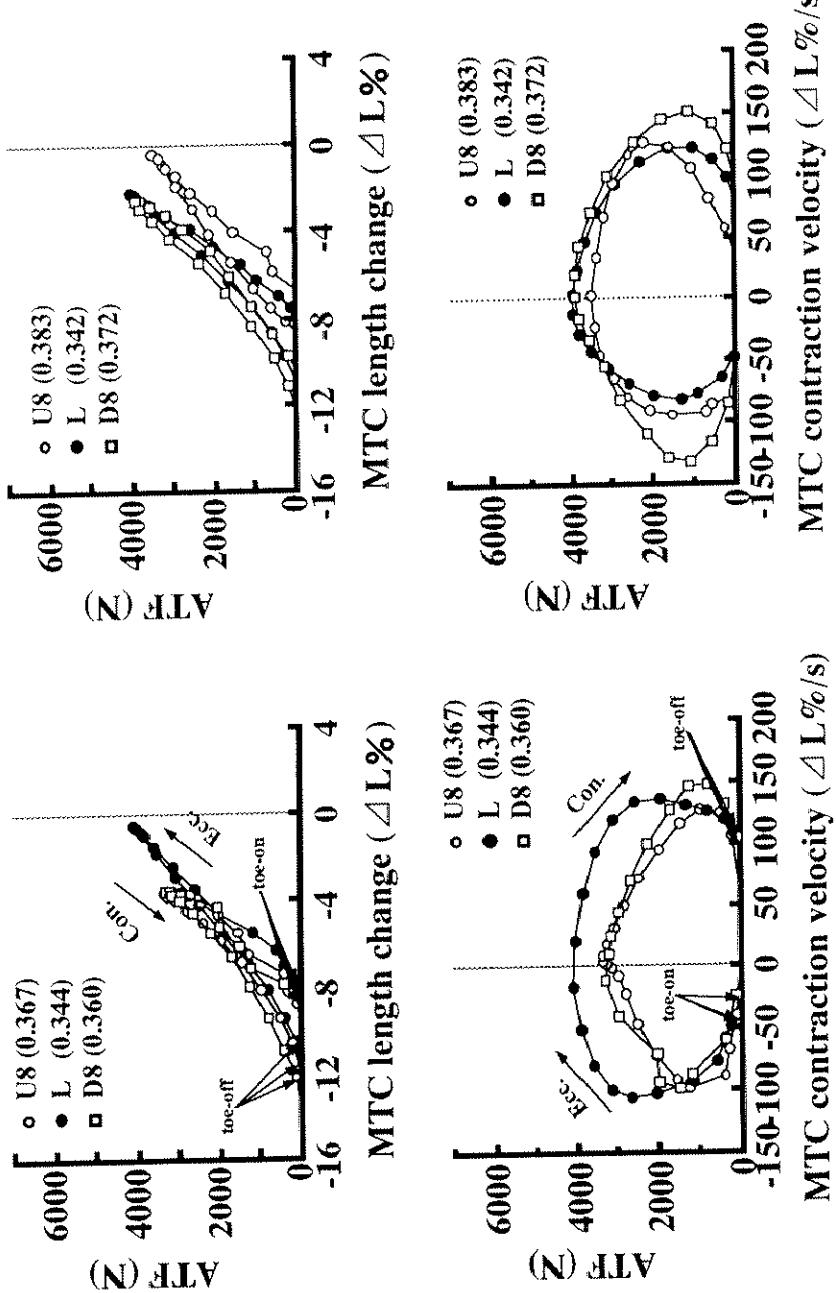


Figure 17 Relationships of muscle-tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with achilles tendon force (ATF) in RDJ30 and 5RJ for subject B. -Comparison for the inclination-
 (): Jumping height (m)

5. 要約

本研究の目的は、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffness特性を、30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプ（RDJ30）およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ（5RJ）を用いて比較検討することであった。この課題を明らかにするために、9名の男子健常者に、RDJ30および5RJを、上向き斜面8度（U8）、平地面（L）および下向き斜面8度（D8）の3つの着地面で行わせた。

本研究のおもな結果は、以下の通りである。

①RDJ30では、U8はLと比較して、アキレス腱と腓腹筋の伸張比（LAT/LGAS）、伸張局面における腓腹筋ーアキレス腱複合体の長さ変化に対する踏切中点のアキレス腱張力の比（ATFMID/LMTC）、腓腹筋ーアキレス腱複合体の平均伸張速度（VMTC）および予備緊張局面および伸張局面の腓腹筋のIEMG（IEMGGAS）は有意に小さかったが、前脛骨筋のIEMG（IEMGTA）は大きくなる傾向が認められた。

②5RJでは、U8はLと比較して、LAT/LGAS、ATFMID/LMTC、予備緊張局面および伸張局面のIEMG GASは大きい傾向にあったが、VMTCおよびIEMGTAには大きな差がないことが認められた。

③5RJはRDJ30と比較して、U8においてLAT/LGAS、ATFMID/LMTCおよびVMTCは有意に大きかった。また、U8において予備緊張局面および伸張局面のIEMGGASは大きく、IEMGTAは小さくなる傾向が認められた。

上述の結果は、U8はLと比較して、RDJ30では、身体のバランス維持や衝撃

緩衝に重点をおいた跳躍動作になっているために腓腹筋のstiffnessが低下するが、5RJでは、連続跳躍運動であるために、RDJ30においてみられたような筋・腱システムを防御するための抑制が軽減され、腓腹筋のstiffnessを高めることができる可能性を示唆するものである。今後、高度に鍛錬されたスポーツ競技者を対象とすることによって、傾斜面でのリバウンドジャンプにおける本来的な負荷特性がさらに明らかになるものと考えられる。