

V. 競技者における傾斜面でのリバウンドジャンプの負荷特性－跳躍トレーニング経験および跳躍方法の相違に着目して－（研究課題1－3）

1. 目的

伸張－短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle; SSC) 運動による爆発的なパワー発揮が要求される陸上競技の短距離選手や跳躍選手の間では、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) がよく行われている (Miller and Power, 1981)。プライオメトリックスは、主要局面の開始前に、筋を素早く伸張させることによって伸張反射を誘発し、筋stiffnessを強化することができる (Hoffer and Andreassen, 1981)。

プライオメトリックスの代表的な手段としてのドロップジャンプは、運動の遂行時間によってリバウンド型一回ドロップジャンプ (Rebound Drop Jump; RDJ) とプレス型一回ドロップジャンプ (Press Drop Jump; PDJ) に分けられるが、RDJのようなバリステックなSSC運動では、膝関節や股関節と比較して、足関節における仕事の貢献度が大きいことが認められている (団子・高松, 1995b)。また、団子ら (1998) は、股関節、膝関節、足関節の3関節で発揮されるエクセントリックとコンセントリックによるトルクを比較した結果、足関

節は膝関節や股関節に比較して、角速度が速くなるほどコンセントリックに対してエクセントリックな収縮で発揮されるトルクの比が高くなることから、足関節に作用する筋・腱複合体は、弾性エネルギーを貯蔵し再利用するために、大きな伸張負荷に耐えて筋stiffnessを増大させる必要があることを示唆している。これらのことは、リバウンドジャンプにおける足関節の機能やトレーニングのねらいを知る有用な知見になるが、実際のトレーニングでは、主働筋の伸張量や伸張速度を大きくし、伸張反射機構を有効に機能させることが必要である (Gollhofer et al., 1992)。傾斜面、特に上向き斜面でのリバウンドジャンプは、伸張量や伸張速度を大きくすることによって伸張反射などの神経・筋・腱系の調節機構を有効に機能させ、主働筋である腓腹筋のstiffnessを効果的に強化できる可能性を備えたトレーニング手段の一つであると考えられる。

著者らは、健常者を対象にして、傾斜面での1回および連続して行うリバウンドジャンプにおける腓腹筋のstiffness特性を、伸張負荷強度の相違 (Yoon et al., 1997) および跳躍方法の相違 (尹・高松, 1999a) の2つの観点から検討した。前者の影響を明らかにするために、30cm (RDJ30) および50cm (RDJ50) の台高からのRDJを行わせた。その結果、RDJ30とRDJ50との間には、腓腹筋のstiffnessに大きな差が認められず、両試技ともに上向き斜面は平地面と比較して、身体のバランス維持および筋・腱システムを保護するための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が低下することが認められた (Yoon et al., 1997)。また、後者の影響を明らかにするために、RDJ30およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ (5RJ) を行わせた。そ

の結果、上向き斜面での5RJは平地面と比較して、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・腱システムを防護するための抑制が軽減され、腓腹筋のstiffnessが高くなることが認められた（伊・高松、1999a）。

これらの結果は、健常者が上向き斜面でのリバウンドジャンプにおいて腓腹筋のstiffnessを高めるためには、RDJの台高を変えて伸張負荷の強度を調節するよりも、連続跳躍運動のような跳躍方法を用いたほうがより効果的であることを示唆するものである。

しかし、長期間にわたってプライオメトリックスを行っている陸上競技の跳躍選手や槍投げ選手は、SSC運動に対する足底屈筋の神経筋活動が、健常者とは異なっていると考えられる（Kyröläinen and Komi, 1994）。RDJにおいて主働筋のstiffnessを効率的に調節するためには、着地に対する適切な予備緊張とタイミングよい筋収縮が重要である（Gollhofer and Kyröläinen, 1991）。跳躍選手や槍投げ選手のような競技者は健常者と比較して、着地に対する時間的・空間的な予測能力が優れているために（Kyröläinen and Komi, 1995），傾斜面でのRDJにおいても腓腹筋のstiffnessを十分に高められる可能性があると考えられる。

本研究では、競技者における傾斜面でのリバウンドジャンプの腓腹筋のstiffness特性を、跳躍トレーニング経験の相違および跳躍方法の相違の2つの観点から検討することを目的とした。前者の影響を明らかにするために、着地に

89

にRDJ30を行わせた。また、後者の影響を明らかにするために、競技者に1回跳躍運動であるRDJ30、および連続跳躍運動である5RJを行わせた。

2. 方法

(1) 被験者

被験者には、4種目の男子競技者9名（年齢：23.8±2.1歳、身長：1.77±0.06m、体重：72.2±7.4kg、下腿長：0.40±0.03m）、および男子健常者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）を用いた。競技者の内訳は、跳躍競技者が4名（走高跳1名、棒高跳2名、三段跳1名）、投擲競技者が3名（槍投げ競技者2名、円盤投げ競技者1名）、野球、アメリカンフットボール競技者がそれぞれ1名であった。特に、跳躍競技者および槍投げ競技者は、高い競技水準を持つ大学生であった（走高跳：2m18、棒高跳：5m45、5m30、三段跳：16m61、槍投げ：70m72、73m97）。また、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。これらの被験者には、実験に先立ち、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、競技者はトレーニングの場においてリバウンドジャンプを行っていたが、本研究に参加した競技者および健常者ともに、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、実験に先立って十分な練習を行わせた。

(2) 実験運動

被験者には、RDJ30および5RJを、傾斜角度の異なる3つの着地面、すなわち上向き斜面8度(U8)、平地面(L)、下向き斜面8度(D8)の着地面で裸足で行わせた。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。試技は、いずれも腕の振込の影響をなくすために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。

(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。それと同時に、地面反力をフォースプラットフォーム(Kistler社製、9281 type)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, 1974)。

得られたビデオ画像から各関節の力学量を算出するために、身体を体幹、大

腿、下腿、足の4つの剛体からなるリンクセグメントモデルであると仮定した。そして、画像と地面反力のデータをもとにして、下肢の各関節のトルクを算出した（阿江ら、1992; Winter, 1990）。なお、傾斜面上での力の作用点は、伊ら（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、踏切中点（膝関節が最も屈曲した時点）のATF（ATFMID）を求めた。

腓腹筋－アキレス腱複合体（Gastrocnemius Muscle-Achilles Tendon Complex; 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、伸張局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 [$ATF = k \cdot (\Delta L_{AT})^2$] を用いて求め（van Ingen Shenau, 1984），腓腹筋の長さ変化（ ΔL_{GAS} ）は ΔL_{MTC} から ΔL_{AT} を差し引くことによって求めた（Fukashiro et al., 1995）。なお、式のパネ定数（弾性率）を示すkは、Voigt et al. (1995a, 1995b) による推定方法に従って求めた。

伸張局面におけるMTC (L_{MTC})、アキレス腱 (L_{AT}) および腓腹筋 (L_{GAS}) 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、腓腹筋内側頭および前脛骨筋からのEMGを、表面双極誘導法を用いて測定した。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腓腹筋のIEMG (IEMG_{GAS}) と前脛骨筋のIEMG (IEMG_{TA}) を求めた。

(4) 統計処理

① RDJ30における競技者と健常者の比較

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〔跳躍トレーニング経験（競技者、健常者）×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、各被験者群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、各傾斜面における被験者群間の有意差の検定には対応のないt-testを用いた。

② 競技者におけるRDJ30と5RJの比較

各測定項目の成績は、平均値±標準偏差で示した。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。なお、①、②ともに、統計処理の有意性は危険率5%水準で判定した。

3. 結果

(1) RDJ30における競技者と健常者の比較

表7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8に、これらの分析項目に対する跳躍トレーニング経験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、LMTC、ATFMID/LMTCおよびLAT/LGASには、被験者群間に有意な主効果が認められた。競技者（Athletes; A）は健常者（Active Males; AM）と比較して、跳躍高は高く、踏切時間は短く、LMTCは小さく、ATFMID/LMTCおよびLAT/LGASは大きい値であった。

ATFMIDおよびVMTCには、有意な交互作用が認められた。被験者群間でみると、競技者は健常者と比較して、2項目ともにU8およびD8において大きい値であった。一方、傾斜面間でみると、競技者では、U8およびLはD8と比較してATFMIDは大きく、U8はLおよびD8と比較してVMTCは大きい値であった。また、健常者では、U8およびD8はLと比較して、ATFMID、VMTCとともに小さい値であった。

図18に、予備緊張局面および伸張局面におけるIEMGGASおよびIEMGTAを、競技者および健常者とともに、それぞれの平地面（L）でのRDJ30の値に対する相対値で示した。

被験者群間でみると、競技者は健常者と比較して、予備緊張局面および伸張

Table 7. 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 for athletes and in RDJ30 for active males.

Athletes		Inclination	n	Jumping height (m)	Contact time (s)	ATFMID (N / kg)	LMTC (mm)	VMTC † (ΔL%/s)	ATFMID / LMTC	LAT / LGAS
RDJ30	U8	9	0.352 ± 0.051	0.143 ± 0.014	80.9 ± 11.0	16.2 ± 2.3	96.7 ± 14.0	5.02 ± 0.65	3.97 ± 1.08	
	L	9	0.351 ± 0.065	0.140 ± 0.015	74.0 ± 11.1	16.7 ± 2.8	76.2 ± 17.5	4.52 ± 0.88	3.16 ± 1.21	
	D8	9	0.331 ± 0.058	0.136 ± 0.007	66.1 ± 12.5	15.2 ± 3.5	77.4 ± 12.8	4.51 ± 1.15	3.04 ± 1.86	
5RJ	U8	9	0.374 ± 0.089	0.151 ± 0.008	89.3 ± 10.2	19.1 ± 2.5	105.9 ± 19.0	4.77 ± 0.89	4.38 ± 1.04	
	L	9	0.389 ± 0.082	0.150 ± 0.016	77.6 ± 16.7	19.9 ± 6.5	80.8 ± 13.8	4.35 ± 1.72	3.20 ± 0.97	
	D8	9	0.351 ± 0.072	0.147 ± 0.018	66.3 ± 11.7	15.9 ± 4.5	72.5 ± 21.6	4.61 ± 1.92	3.80 ± 1.35	
Active males										
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	1.39 ± 0.65	
	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	1.96 ± 0.64	
	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	1.84 ± 0.68	

Values are mean ± SD

† : VMTC is absolute value.

Table 8. 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 for athletes (A) and active males (AM).

Variable	Analysis of variance						Inclination					
	Main effects (F value)	2-way interactions		Group	Inclination (F value)	All	U8	L	D8	All	A	AM
		Group	Inclination									
Jumping height	9.177 *	0.402	0.176									
Contact time	43.319 *	0.809	0.180									
ATFMID	22.307 *	4.419 *	3.297 *									
LMTC	31.480 *	2.777	1.229	A < AM								
VMTC †	23.149 *	2.589	5.595 *									
ATFMID / LMTC	51.481 *	0.325	2.720	AM < A								
LAT / LGAS	29.634 *	0.209	2.238	AM < A								

Analysis of variance was performed for two-way classification[Group (Athletes, Active males) \times inclination (U8, L, D8)].
 † : VMTC was compared by using the absolute value.

* : $p < 0.05$

< : $p < 0.05$

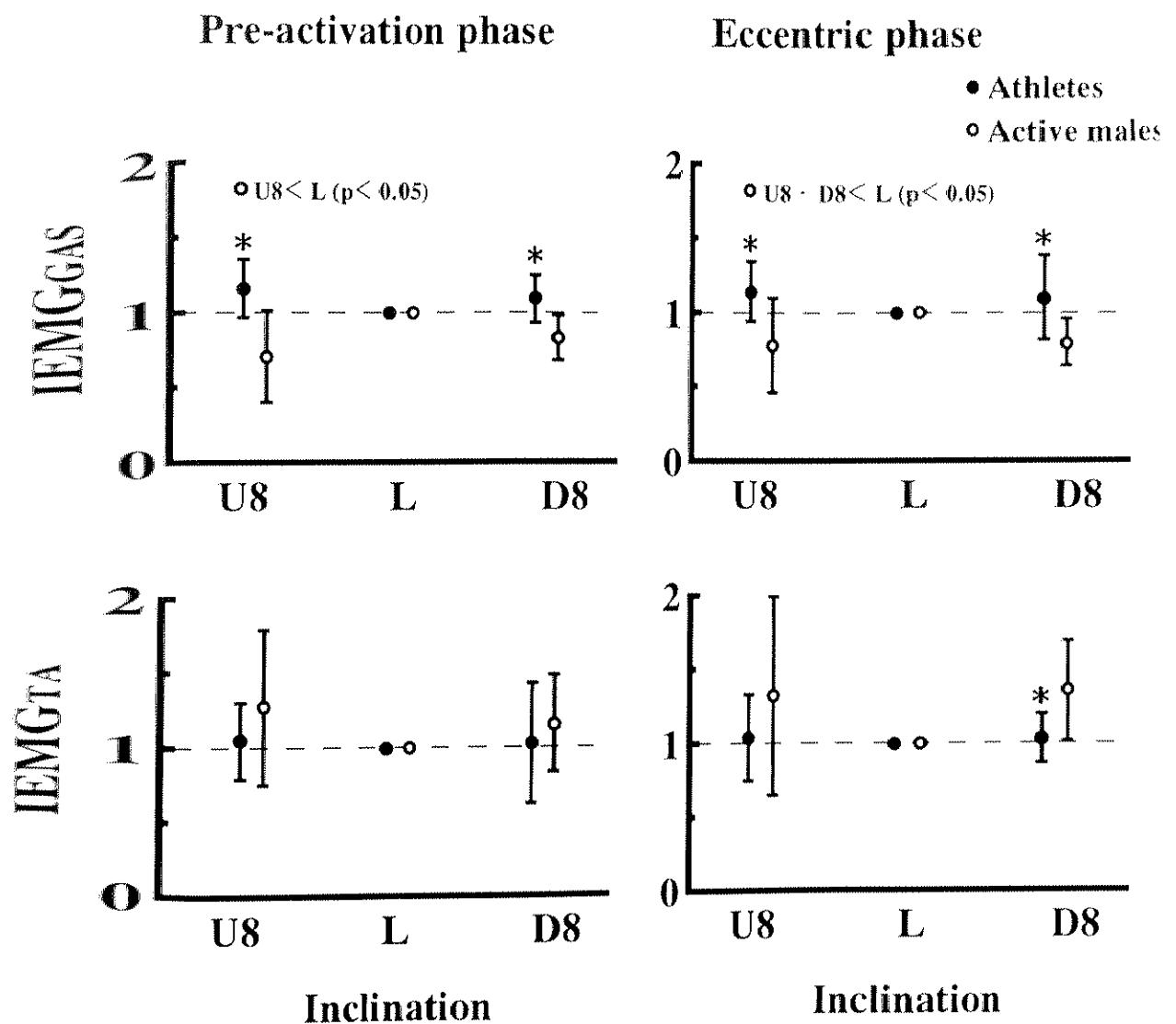


Figure 18 Integrated EMG of medial head of m. gastrocnemius (IEMGGAS) and m. tibialis anterior (IEMGTA) during pre-activation and eccentric phase in RDJ30 for athletes and active males.

Values are ratio to flat condition for athlete and active male in RDJ30, respectively.

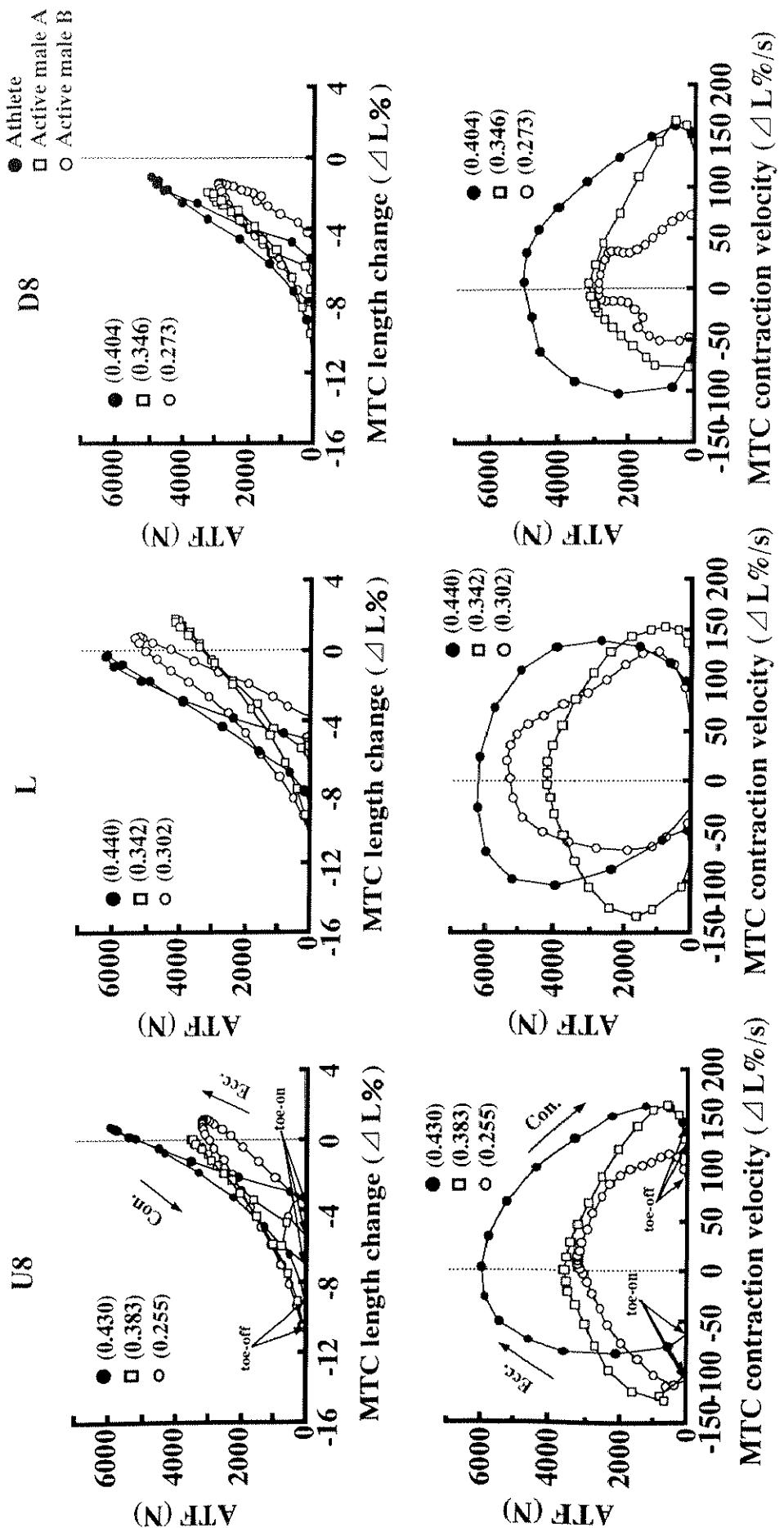
* : Statistically significant from active males ($p < 0.05$)

局面とともに、IEMG_{GAS}はU8およびD8において有意に大きい値であった。これに対して、IEMG_{Ta}は、予備緊張局面および伸張局面とともに、U8およびD8において小さい傾向が認められた。このうち、伸張局面でのD8における差は有意であった。

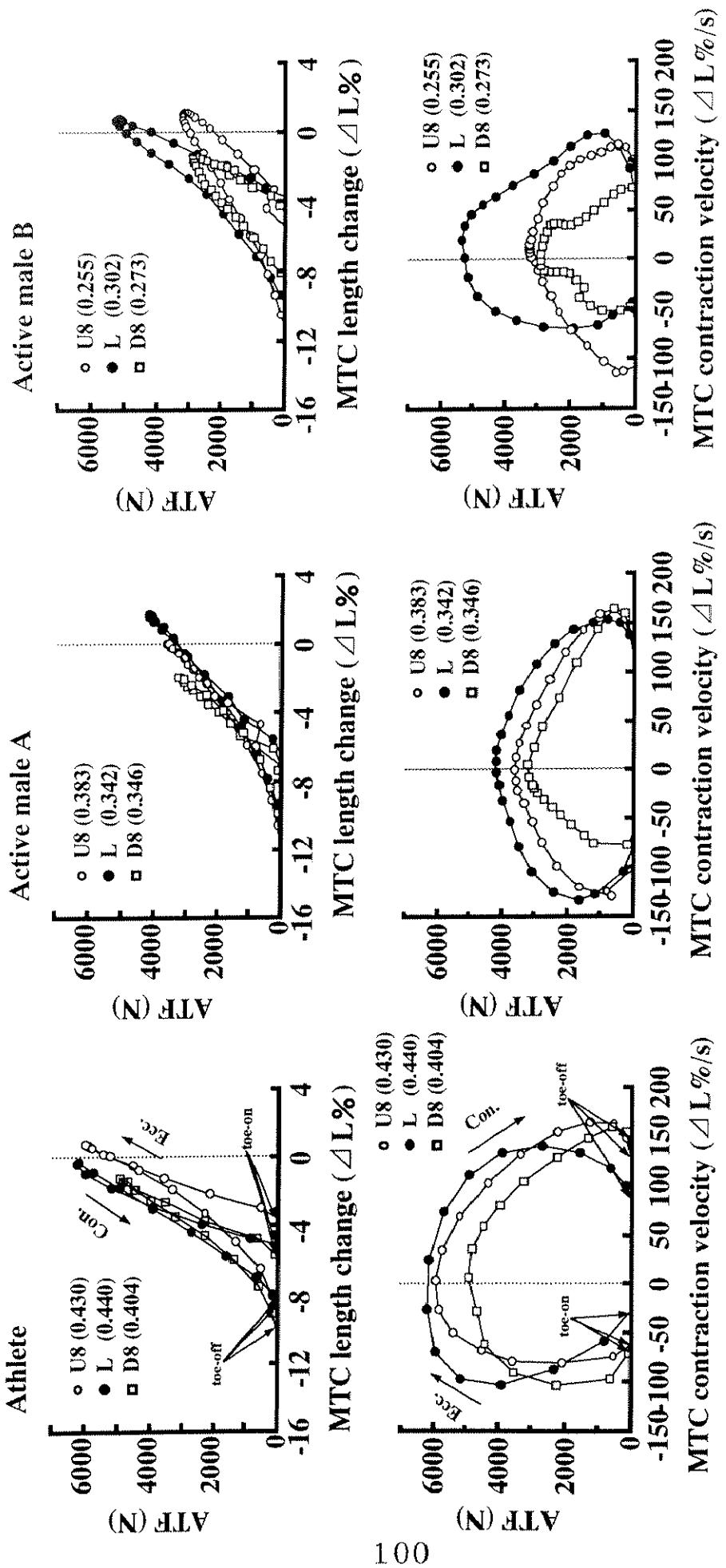
一方、傾斜面間でみると、U8およびD8はLと比較して、予備緊張局面および伸張局面とともに、IEMG_{GAS}は競技者において大きく、健常者において小さい傾向が認められた。このうち、健常者における予備緊張局面でのU8とLとの差、および伸張局面でのU8およびD8とLとの差は有意であった。これに対して、IEMG_{Ta}は、予備緊張局面および伸張局面とともに、U8およびD8はLと比較して、競技者では顕著な差は認められなかったが、健常者では大きい傾向が認められた。

図19および図20に、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関係を示した。ここでは、RDJ30のU8およびD8の試技において跳躍高が最も高かった競技者、および健常者のなかで跳躍高が最も高かった者（A）と最も低かった者（B）について示した。図19は、U8、L、D8に分けて跳躍トレーニング経験による違いをみたものである。図20は、競技者と健常者に分けて傾斜面による違いをみたものである。

被験者群間でみると（図19）、競技者は健常者AおよびBと比較して、U8、L、D8の全ての傾斜面において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）。



**Figure 19 Relationships of muscle-tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with Achilles tendon force (ATF) in RDJ30 for one athlete and two active males. -Comparison for the group-
(): Jumping height (m)**



**Figure 20 Relationships of muscle-tendon complex (MTC) length change and contraction velocity with achilles tendon force (ATF) in RDJ30 for one athlete and two active males. -Comparison for the inclination-
(): Jumping height (m)**

一方、傾斜面間でみると（図20）、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、競技者および健常者Aでは大きな差が認められなかつたが、健常者Bでは緩やかであることが認められた（上図）。また、U8およびD8はLと比較して、競技者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を大きくする傾向にあるのに対して、健常者AおよびB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ことが認められた（下図）。

（2）競技者におけるRDJ30と5RJの比較

表7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9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。

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、踏切時間は長く、LMTCは大きい値であった。ATFMID、VMTCおよびLAT/LGASには、傾斜面間に有意な主効果が認められた。U8はLおよびD8と比較してATFMIDおよびVMTCは大きく、またU8はLと比較してLAT/LGASは大きい値であった。

なお、着地時点の膝関節角度は、RDJ30では $145.2 \pm 6.8^\circ$ 、5RJでは $139.9 \pm 6.1^\circ$ であった。

Table 9. 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 for athletes.

Variable	Analysis of variance					
	Main effects		2-way (F value)		Difference	
	Jump type	Inclination	F value	Interactions	Jump type	Inclination
Jumping height	1.886	0.815	0.081			
Contact time	6.924 *	0.701	0.076		RDJ30 < 5RJ	
ATFMID	1.415	10.158 *	0.480			D8 < L < U8
LMTC	4.183 *	2.304	0.524		RDJ30 < 5RJ	
VMTC †	0.406	12.463 *	0.801			L > D8 < U8
ATFMID / LMTC	0.092	0.582	0.087			
LAT / LGAS	1.279	3.805 *	0.365			L < U8

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

4. 考察

本研究で行われたリバウンドジャンプにおいてMTCは、身体の落下による大きな運動エネルギーを伸張性の筋活動によって受け止めるために引き伸ばされ、続く短縮性の筋活動によって上方向への運動エネルギーを獲得する。このことは、MTCは典型的なSSC運動を行っていることを示すものである。

MTCを力学的なモデルに置き換えて考えてみた場合、収縮要素である腓腹筋は、自ら張力を発揮することによって筋長が変化しているのに対して、直列弾性要素であるアキレス腱は、外的な張力が加わることによって長さが伸びたり縮んだりする。したがって、SSC運動中のMTC全長の長さの変化量 ($\Delta L_{MTC} = \Delta L_{AT} + \Delta L_{GAS}$) が同じであったとしても、腓腹筋の発揮張力（腓腹筋のstiffnessレベル）の大きさによって、アキレス腱と腓腹筋の伸張比 (LAT/LGAS) は異なるものと考えられる。このLAT/LGASは、SSC運動中の腓腹筋のstiffnessレベルやアキレス腱に貯蔵された弾性エネルギーの大きさを評価できるものと考えられる（尹ら、1999b; Lieber, 1992）。また、腓腹筋のstiffnessレベルは、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 (ATFMID/LMTC) を用いて評価することも可能であると考えられる。この理由としては、腓腹筋のstiffnessが合目的的に高まった場合に、MTC全長において発揮される張力は大きくなること (Zajac, 1989)，および伸張局面から短縮局面に切り替わる時点の張力は、直列弾性要素に貯蔵された弾性エネルギーの大きさ

さを反映するものとみなされていること（図子ら, 1992; Komi and Bosco, 1978）があげられる。そこで本研究では、LAT/LGAS, ATFMID/LMTCなどを用いて、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、跳躍トレーニング経験および跳躍方法の相違に着目して検討した。

本研究では、最初に、跳躍トレーニング経験の相違に着目して、競技者と健常者のRDJ30におけるLAT/LGAS, ATFMID/LMTCおよびV_{MTC}などを比較した。その結果、U8でのLAT/LGASおよびATFMID/LMTCはLでの試技と比較して、競技者では大きく、健常者では小さい傾向が認められた（表7）。また、競技者のLAT/LGASおよびATFMID/LMTCは健常者と比較して、いずれの傾斜面においても有意に大きい値であった（表8）。これらのこととは、競技者は、上向き斜面での試技において腓腹筋のstiffnessを高めることによって、MTC全長の増大に対して腓腹筋よりもアキレス腱が大きく伸張する可能性を示すものである。また、そのことによってMTC全長の長さの変化量が同じであったとしても、踏切中点のアキレス腱張力を大きくでき、その結果弾性エネルギーの貯蔵が増大する可能性も示すものである。このように、競技者と健常者との間に腓腹筋のstiffnessレベルに差が生じた原因として、両群の予備緊張局面および伸張局面における腓腹筋と前脛骨筋のIEMGの差があげられる。図18に示したように、U8はLと比較して、予備緊張局面および伸張局面ともに、競技者ではIEMG_{GAS}は大きく、IEMG_{Ta}には顕著な差がないことが認められたが、健常者ではIEMG_{GAS}は小さく、IEMG_{Ta}は大きい傾向が認められた。また、競技者は健常者と比較して、予備緊張局面および伸張局面ともに、U8およびD8でのIEMG_{GAS}は有意に大き

く、 IEMG_{TA} は小さい傾向が認められた。これらのこととは、競技者は単発的な跳躍運動であるRDJ30を上向き斜面で行っても、傾斜面に対する下腿の踏み込み角度を調節し、できるだけ平地面での着地に類似した角度で踏み込むことによって、姿勢保持にとらわれずに本来目的とした短い接地で高い跳躍高を得る跳躍運動を遂行できる可能性を示すものである。なぜなら、競技者は、長期間のプライオメトリックスによって伸張負荷に対する予測または適応が改善されているために、傾斜面での試技においても、MTCの生理学的な長さの範囲内で、腓腹筋のstiffnessを強化するための運動単位の同期化 (Milner-Brown et al., 1973) や主働筋と拮抗筋の協調性 (Schmidtbleicher and Gollhofer, 1982) のような神経筋制御が素早く行われることが考えられるからである。

上述の競技者と健常者の傾斜面での試技における腓腹筋のstiffnessレベルの差は、両群の典型的な例として示した踏切局面における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19・20）。

被験者群間でみると（図19），競技者は健常者AおよびBと比較して、U8およびD8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），および接地時のMTCの伸張速度を維持または速くしながらATFMIDが大きくなる傾向にあることが認められた（下図）。脊髄伸張反射は筋の収縮速度が速くなるにつれて感受性が高まり (Dietz, 1981)，またそれは筋stiffnessを増加させることを考慮すると (Houk, 1979)，両群の腓腹筋のstiffnessレベルの差は、収縮速度の増大に伴う伸張反射に対する感受性の差であると考えられる。このことは、競技者のVMTCが健常者と比較して有意に大きい値であったことか

らも裏付けられる（表7・8）。一方、傾斜面間でみると（図20）、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、競技者および健常者Aでは大きな差はないが、健常者Bでは緩やかであることが認められた（上図）。また、U8およびD8はLと比較して、競技者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を大きくする傾向にあるのに対して、健常者AおよびB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ことが認められた（下図）。これらの結果もまた、競技者と健常者の傾斜面での試技における腓腹筋のstiffnessレベルの差を示すものであろう。

次に、本研究では、跳躍方法の相違に着目して、競技者のRDJ30と5RJにおけるLAT/LGAS、ATFMIDおよびVMTCなどを比較した。その結果、RDJ30および5RJともに、U8でのLAT/LGAS、ATFMIDおよびVMTCはLまたはD8での試技と比較して有意に大きい値であることが認められた（表9）。また、5RJはRDJ30と比較して、3項目ともにU8において大きい傾向が認められた（表7）。このことは、RDJ30および5RJともに、U8での試技において腓腹筋のstiffnessが増大する可能性を示すものである。また、U8では、5RJはRDJ30と比較して、LAT/LGASは大きい傾向にあることが認められたことから、1回跳躍運動よりも連続跳躍運動を用いることによって腓腹筋のstiffnessをさらに高めることができる可能性も示すものである。したがって、健常者においてみられたように（尹・高松、1999a）、競技者においても、連続跳躍運動である5RJのほうが1回跳躍運動であるRDJ30よりも、伸張負荷に対する予測が容易になり、上向き斜面での

試技において腓腹筋のstiffnessをより強化できるのではないかと考えられる。この原因として、上向き斜面での5RJはRDJ30と比較して、着地時点の膝関節がより屈曲していること（5RJ： $139.9 \pm 6.1^\circ$ ， RDJ30： $145.2 \pm 6.8^\circ$ ）から、着地衝撃を緩衝でき、その結果として、足関節に関与する筋群が接地瞬間にかかる大きな伸張負荷に対応できたことなどがあげられる（図子・高松, 1996）。

本研究の結論として、競技者では、RDJ30および5RJとともに、上向き斜面において腓腹筋のstiffnessが高いことが認められた。しかし、5RJはRDJ30と比較して、腓腹筋のstiffnessをさらに高めることができる可能性が認められた。

今後、上向き斜面でのリバウンドジャンプを用いたトレーニング実験を行うことによって、腓腹筋のstiffness特性がどのように変化していくのかを、平地面と比較検討する必要がある。そのことによって、上向き斜面における負荷特性がより明らかになり、プライオメトリックス手段としての有効性がさらに明確になるものと考えられる。また、本研究で用いたバリスティックな跳躍運動では、腓腹筋はヒラメ筋に比較して、アキレス腱張力に対する貢献は大きいと考えられるが（Moritani et al., 1990），ヒラメ筋の関与も無視することはできないので、この点に関しては詳細に検討する必要がある。

5. 要約

本研究の目的は、競技者における傾斜面でのリバウンドジャンプの腓腹筋の stiffness 特性を、跳躍トレーニング経験の相違および跳躍方法の相違の2つの観点から検討することであった。前者の課題を明らかにするために、男子競技者9名および男子健常者9名に、30cmの台高からのリバウンド型一回ドロップジャンプ (RDJ30) を行わせた。また、後者の課題を明らかにするために、競技者に RDJ30、およびその場でのリバウンド型5回連続ジャンプ (5RJ) を行わせた。着地面の傾斜角度は、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種類であった。

本研究のおもな結果は、以下の通りである。

① RDJ30における上向き斜面での試技は平地面と比較して、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)、および腓腹筋ーアキレス腱複合体の平均伸張速度 (VMTC) は、競技者では大きく、健常者では小さい傾向が認められた。この原因として、競技者は健常者と比較して、予備緊張局面および伸張局面における腓腹筋のIEMG (IEMG GAS) は有意に大きく、前脛骨筋のIEMG (IEMG TA) は小さい傾向にあったことがあげられる。

② 競技者における上向き斜面での5RJはRDJ30と比較して、LAT/LGAS、VMTC および ATFMID は大きい傾向が認められた。この原因として、上向き斜面での 5RJ は RDJ30 と比較して、着地時点の膝関節がより屈曲していること (5RJ : $139.9 \pm 6.1^\circ$ ， RDJ30 : $145.2 \pm 6.8^\circ$) から、足関節に関与する筋群が大きな伸張負荷に対応できしたことなどがあげられる。

上述の結果は、競技者は健常者と異なり、上向き斜面でのRDJ30においても腓腹筋のstiffnessを高めることができるが、連続跳躍運動である5RJを用いることによって、腓腹筋のstiffnessをより強化できる可能性を示唆するものである。したがって、上向き斜面でリバウンドジャンプを行う場合には、跳躍トレーニング経験などを考慮したとしても、5RJのような跳躍方法を用いることがより適切であると考えられる。