

## 筋発揮張力維持法を用いたレジスタンストレーニングが 瞬発的筋力および姿勢制御能力に及ぼす影響

小林雄志

岡山大学 全学教育・学生支援機構

### 1. はじめに

低速度で筋緊張を持続させる「筋発揮張力維持法(LST: Low intensity, Slow and Tonic force generation)」<sup>[1]</sup>は「スロートレーニング(スロトレ)」とも呼ばれ、最大挙上重量(1RM)の50%程度の比較的 low 負荷強度でも筋肥大・最大筋力向上の効果をもたらすことから、加齢に伴う筋量・筋力の減少防止やアスリートのリハビリなどにも安全に活用できるトレーニング方法として、幅広い対象に普及しつつある。一方で、LST は低速度での筋力発揮のみを行うため、瞬発的な運動パフォーマンスや高齢者の転倒予防(姿勢制御)に必要とされる「瞬発的筋力」の向上に関してはあまり効果的でないと考えられてきた。しかしながら、LST が瞬発的筋力に及ぼす影響を実際に検証した報告は見当たらず、むしろ、瞬発的筋力は最大筋力との相関が高いことから、最大筋力の向上をもたらす LST は瞬発的筋力に対する向上の効果も期待できるのではないかと考えられる。さらに、LST 実施時は負荷重量の挙上速度を低速度でバランスを取りながら制御する必要があり、このタスク自体は身体重心の動揺を維持・コントロールする姿勢制御のタスクと似ているため、姿勢制御能力へも好影響をもたらす可能性がある。そこで、本研究では、LST を用いたレジスタンストレーニングが瞬発的筋力および姿勢制御能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

### 2. 方法

#### 2.1 被検者

健常な男子大学生 9 名(年齢  $18.8 \pm 0.4$  歳, 身長  $173.4 \pm 2.6$ cm) および女子大学生 10 名(年齢  $18.9 \pm 0.3$  歳, 身長  $158.9 \pm 4.0$ cm) を対象とした。実験に先立ち、被検者に対して、研究の目的、方法を説明したのち、実験参加の同意を得た。同意を得る際には、実験への参加が任意であり、参加を取りやめても不利益の無いことを申し添えた。

#### 2.2 実験手順

被検者に対し、LST を用いた自体重によるレジスタンストレーニングを 4 週間(週 2 回)実施し、トレーニング期間の前後に各種測定(PRE・POST 測定)を行うものとした。トレーニング内容および PRE・POST 測定の詳細は以下のとおりである。

#### 2.3 トレーニング内容

トレーニングは自体重にて行う LST を用いたスクワット運動とし、トレーニング実施日に 10 回を 4 セット行うものとした。1 回のスクワット運動は、3 秒で下降し、大腿部上面が床と平行になる位置で 1 秒静止後、3 秒で膝が伸び切らない位置(膝をわずかに曲げた姿勢)まで上昇するものとした。セット間の休息は 1 分間とした。

## 2.4 PRE・POST 測定

### 2.4.1 体重・体脂肪率測定

体組成計 (DC-320, TANITA) を用いて、体重および体脂肪率を測定した。被検者は、T シャツおよびハーフパンツ姿に更衣し、裸足にて体組成計上に乗り、約 10 秒間静止した状態で測定を行った。

### 2.4.2 大腿部周径測定

体重・体脂肪率測定に引き続き、右脚の大腿部周径の測定を行った。被検者は肩幅同程度に足部を広げて静止立位し、大腿部 50% 部位の周径をメジャーにて 2 回計測した。なお、2 回の平均値を測定値として採用し、統計処理に使用した。

### 2.4.3 筋力測定

等尺性膝伸展筋力計 (VTK-002R, VINE) を用いて、最大随意収縮 (MVC) による右脚の等尺性膝関節伸展トルクを測定した。被検者は、解剖学的正位を 0 度として、膝関節角度 70 度屈曲および股関節角度 70 度屈曲の姿勢で筋力計に着座したのち、伸縮性のないストラップを用いて、腰部および右脚足関節上部を固定された。被検者には十分なウォーミングアップの後、最大筋力の測定として、等尺性膝関節伸展運動を 3 秒間、全力で行わせた。試行は 3 回とし、試行間には 1 分以上の休憩を設けた。また、瞬発的筋力の測定として、筋力発揮をできるだけ強くかつ速く行う 1 秒間の全力での等尺性膝関節伸展運動を 10 秒程度の休息を挟みながら 5 回行わせた。これらの試技において発揮された関節トルクは筋力計によって計測され、その信号は A/D 変換システム (A-Cap FAD-AC08N, フォーアシスト) を介して 1000Hz でパーソナルコンピュータに記録された。得られたデータには、バターワースフィルタを用いて、15Hz のローパスフィルタをかけ<sup>[2]</sup>、分析を行った。最大筋力測定については各試行の関節トルクのピーク値の内、最も高い値を MVC トルクとして統計処理に使用した。また、瞬発的筋力測定の各試行における時間-トルク曲線の力の立ち上がり (RTD: Rate of Torque Development) について、トルク発揮開始時 (onset) から 30ms, 50ms, 100ms, 150ms, 200 ms までの各傾きを算出した。そして、この傾きを MVC トルクで正規化した RTD (nRTD: normalized RTD) についても算出を行った。onset については、関節トルクがベースラインから 7.5Nm を超えた瞬間<sup>[2]</sup>と定義した。なお、分析には各被検者の 5 回の試行の内、onset から 200ms までの時間-トルク曲線の傾きが最も大きい試行のものを採用した。

### 2.4.4 ジャンプ能力測定

筋力計による筋力測定に加え、瞬発的な筋力発揮の評価のために、各種ジャンプ測定を行った。ジャンプの種類は、両脚で行うスクワットジャンプ (SJ)、両脚で行うカウンスタームーブメントジャンプ (CMJ)、片脚で行う CMJ の 3 種類とした。測定にはマットスイッチ (FMT-3M50100, フォーアシスト) を用い、各ジャンプの跳躍高を滞空時間により算出した。

SJ については、膝関節屈曲角 90° の状態から、反動をつけず上方へ跳躍するように指示した。両脚での CMJ については、立位姿勢から反動動作を用いて上方へと跳躍するように指示した。片脚での CMJ については、右脚のみでの立位を行ってもらい、その姿勢から反動動作を用いて上方へと跳躍するように指示した。各ジャンプ試技について、「全力で高く跳ぶこと」、「着地時

に不自然に膝を曲げない（まっすぐ着地すること」の2点を指示した。各種ジャンプは3試技ずつ行わせ、最大跳躍高を統計分析の対象とした。

#### 2.4.5 片脚立位姿勢保持能力測定

被検者は重心軌跡測定器（T.K.K5810，竹井機器工業）の上で，開眼状態で片脚（右脚）での静止立位を行った。被検者は裸足になり，手は腰に当て，視線と同じ高さにある2 m前方の目印を注視した。1回の試行は30秒として1人3回行った。計測開始5秒後から30秒後までを分析対象として<sup>[3]</sup>，計測された足圧中心（COP）軌跡より，総軌跡長，単位時間軌跡長，外周面積，矩形面積，標準偏差楕円面積，左右方向標準偏差，前後方向標準偏差を，重心軌跡測定器専用プログラムを用いて算出した。なお，統計分析には，総軌跡長の最も短い試行のデータを採用した。

### 2.5 統計分析

各測定値について，トレーニング効果を検討するために，ボンフェローニ法による多重比較を用いて，男女別にPRE-POST間における測定値の差を検定した。危険率5%未満をもって統計的に有意とした。

## 3. 結果

表1に体重，体脂肪率，大腿部周径囲，表2に最大筋力（MVC）およびジャンプ能力，図1にRTD，図2にnRTD，表3に片脚立位姿勢保持能力測定の結果を示す。

体重，体脂肪率，大腿部周径囲についてはPRE-POST測定値間に有意な差は認められなかった。MVCおよびジャンプ能力については男女ともにすべての項目において，POST測定値はPRE測定値に比べ有意に高い値を示した。

RTDについては男女ともにすべての項目において，POST測定値はPRE測定値に比べ有意に高い値を示した。一方，nRTDについては，男子ではonsetから50msおよび100msの測定値に関して，POST測定値はPRE測定値に比べ有意に高い値を示した。また，女子ではonsetから30msおよび50msの測定値に関して，POST測定値はPRE測定値に比べ有意に高い値を示した。

片脚立位姿勢保持能力に関して，男子では総軌跡長および単位時間軌跡長のPOST測定値がPRE測定値に比べ有意に低い値を示した。しかしながら，女子ではすべての測定項目において，PRE-POST測定値間に有意な差は認められなかった。

## 4. 考察

### 4.1 最大筋力および瞬発的筋力の変化

本研究ではLSTを用いた自体重スクワット運動によるトレーニングを4週間，週2回実施した結果，膝伸筋力測定におけるMVCおよびRTDの向上が認められた。LSTによる筋力トレーニングが行われた先行研究において，MVCの向上に関しては報告があるものの<sup>[4]</sup>，瞬発的筋力に関する指標の一つであるRTDについては，ほとんど測定が行われておらず，その詳細は不明であった。RTDは高強度のレジスタンストレーニングや瞬発的筋力向上を目的としたトレーニングによって向上することが報告されているものの<sup>[5]</sup>，LSTのような，ゆっくりとした動作によるトレーニングを対象とした研究では，これまでRTDに対してあまり注目が向かなかったため，測定が行われてこなかったものと考えられる。このような状況の中，本研究の結果は，LST

による筋力トレーニングによって RTD が向上することを示すものとして意義深いものといえる。この RTD の向上をもたらしたメカニズムについて、本研究では筋電図等の神経系の変化を示す指標を測定しておらず、詳細は不明であるが、LST は低負荷でのトレーニングであるものの、トレーニング中の 1 セット内で力を抜く局面を作らず、持続的な筋力発揮を行うことによって速筋線維の動員を促すため、この速筋線維へのトレーニング刺激が RTD の向上に結びついた可能性が考えられる。また、MVC や RTD が向上した一方で、体重や体脂肪率、大腿部周径圍についてはトレーニング前後で有意な変化は認められなかったが、このことから、MVC や RTD の向上は、筋量の増加（筋肥大）によるものではなく、いわゆる神経系の適応によってもたらされたものであると推察される。

#### 4.2 ジャンプ能力の変化について

本研究では、動的な瞬発的筋力評価の一つとして、ジャンプ能力の測定を行ったが、SJ、両脚での CMJ、片脚での CMJ のいずれのジャンプに関しても、トレーニング後において跳躍高の向上が認められた。トレーニングは LST を用いてゆっくりとした動作で行われていたものの、動作自体はジャンプ動作に類似したスクワット運動であったため、トレーニングによって下肢の伸展に関する筋力の向上がもたらされた結果、ジャンプ能力も向上したものと推察される。しかしながら、本研究では膝伸展筋力のみ計測を行っており、股関節伸展や足関節底屈等に対するトレーニング効果については、各関節の筋力測定を行うことによって詳細を明らかにする必要があるだろう。

#### 4.3 片脚立位姿勢保持能力の変化について

片脚立位姿勢保持能力について、男子のみであるがトレーニング後に総軌跡長と単位時間軌跡長の有意な減少が認められた。瞬発的筋力の向上を目的とした先行研究<sup>[6]</sup>においては、トレーニング後に最大筋力や瞬発的筋力の向上が認められたのと同時に片脚立位姿勢保持能力の向上が認められているが、この結果は、筋力の向上が動揺を安定させるのに寄与した結果であると推察されており、本研究においても同様のメカニズムが生じたものと推察される。女子については片脚立位姿勢保持能力の変化が認められなかったが、女子の場合はトレーニング前においても、片脚立位姿勢保持能力測定にて取得した各項目が男子に比べて低い傾向にあったことから、トレーニングによってこれらの項目が改善する余地があまりなかった可能性が考えられる。

#### 4.4 今後の課題

本研究では筋力トレーニングのみを実施したが、実際にバランス能力を向上させるための運動プログラムを行う場合は、筋力トレーニングに加えて、姿勢維持に焦点化したトレーニングも実施することが自然であるため、こうしたトレーニングの組み合わせの効果についても検討していく必要がある。また、本研究で用いたトレーニングは短期間でその効果が認められたが、瞬発的筋力トレーニングを 6 週間、週 3 回の頻度で実施した研究<sup>[7]</sup>では、トレーニングによって向上した瞬発的筋力がその後の 3 週間のディトレーニングによって減少し、トレーニング前の状態との差が認められなくなるとの報告がされていることから、筋力や姿勢制御能力に対するトレーニングの残存効果についても明らかにしていく必要があるだろう。

## 5. まとめ

健常な大学生男女を対象に、LST を用いたスクワットトレーニングを 4 週間、週 2 回の頻度で実施した。その結果、トレーニング期間終了後において最大筋力および瞬発的筋力の向上が認められた。さらに、男子においては片脚立位姿勢保持能力測定における COP の総軌跡長および単位時間軌跡長が減少した。これらの結果より、同様のトレーニングは最大筋力および瞬発的筋力を向上させるのとともに、姿勢制御能力の改善にも寄与する可能性があることが示唆された。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人ミズノスポーツ振興財団の皆様にご多大なご支援を頂きましたことを、心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Tanimoto M and Ishii N. Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of Applied Physiology* 100, 1150-1157, 2006
- [2] Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology* 93, 1318-1326, 2002
- [3] Ema R, Ohki S, Takayama H, Kobayashi Y, Akagi R. Effect of calf-raise training on rapid force production and balance ability in elderly men. *Journal of Applied Physiology* 123, 424-433, 2017
- [4] Watanabe Y, Madarame H, Ogasawara R, Nakazato K, Ishii N. Effect of very low-intensity resistance training with slow movement on muscle size and strength in healthy older adults. *Clinical Physiology & Functional Imaging* 34, 463-470, 2014
- [5] Tillin NA, Pain MT, Folland JP. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Experimental Physiology* 97, 630-641, 2012
- [6] 小林雄志. 足関節底屈筋群の瞬発的な筋力発揮能力向上を目的としたトレーニングが姿勢制御機構に及ぼす影響. *デサントスポーツ科学* 36, 153-160, 2015
- [7] Kobayashi Y, Hirayama K, Matsubayashi T, Akagi R. Effect of explosive-type strength training and short-term detraining on rate of torque development during isometric knee extension. *British Journal of Sports Medicine* 47, e4, 2013

表 1. 体重, 体脂肪率, 大腿部周径の変化

	男性		女性	
	PRE	POST	PRE	POST
体重(kg)	64.0 (6.7)	64.4 (7.2)	50.1 (6.3)	50.3 (6.3)
体脂肪率(%)	17.1 (3.8)	17.0 (3.8)	27.5 (5.7)	28.1 (5.0)
大腿部周径(cm)	50.4 (3.6)	50.7 (3.6)	50.2 (4.1)	50.6 (4.8)

平均値 (標準偏差) として示した.

表 2. 最大筋力 (MVC) およびジャンプ能力の変化

	男性		女性	
	PRE	POST	PRE	POST
MVC(Nm)	149.6 (28.0)	159.8 (28.1)	96.6 (25.4)	109.3 (20.2)
SJ 跳躍高(cm)	32.8 (2.3)	35.5 (2.1)	21.4 (3.8)	23.5 (3.2)
CMJ 跳躍高(cm)	37.3 (2.6)	39.9 (3.5)	24.6 (3.6)	25.7 (3.2)
片脚 CMJ 跳躍高(cm)	18.1 (2.4)	19.3 (2.2)	12.8 (2.2)	13.5 (1.8)

平均値 (標準偏差) として示した.

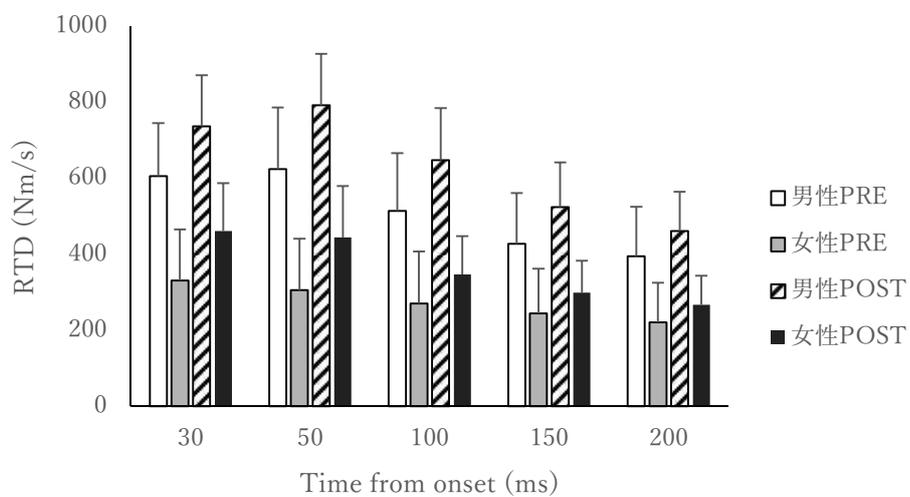


図1. RTD の変化

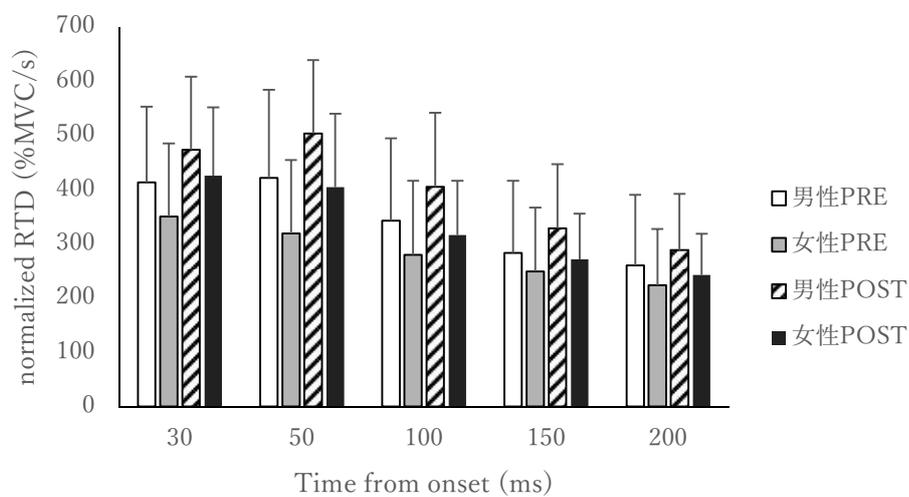


図2. nRTD の変化

表 3. 片脚立位姿勢保持能力の変化

	男性		女性	
	PRE	POST	PRE	POST
総軌跡長 (mm)	1022.6 (200.6)	930.2 (183.4)	833.4 (110.3)	825.2 (130.1)
単位時間軌跡長 (mm/s)	40.9 (8.0)	37.2 (7.3)	33.3 (4.4)	33.0 (5.2)
外周面積 (mm <sup>2</sup> )	899.1 (249.3)	886.0 (359.2)	756.1 (241.2)	806.6 (239.4)
矩形面積 (mm <sup>2</sup> )	1262.6 (387.7)	1219.4 (442.5)	1143.5 (423.5)	1196.4 (417.7)
標準偏差楕円面積 (mm <sup>2</sup> )	156.0 (35.7)	175.3 (87.7)	138.9 (39.0)	150.0 (72.4)
左右方向標準偏差 (mm)	6.3 (0.8)	5.9 (1.2)	5.6 (0.9)	6.1 (1.1)
前後方向標準偏差 (mm)	7.8 (1.2)	9.2 (3.4)	8.0 (1.8)	7.8 (2.8)

平均値 (標準偏差) として示した.