

論文の内容の要旨

筋発揮張力維持法を取り入れたトレーニングに関する研究

(Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in human)

谷本道哉

[緒言]

レジスタンストレーニングとメカニカルストレス

ヒト骨格筋は可塑性を持ち、レジスタンストレーニングで大きなメカニカルストレスを与えることで肥大し筋力が増強されることが知られている (Aniansson et al. 1981)。筋肥大・筋力増強には、80%1RM (one-repetition maximum) 程度以上の高負荷を用いたレジスタンストレーニングが必要であること (McDonagh and Davies 1984)、65%1RM 以下の負荷を用いたレジスタンストレーニングでは持続的能力の向上は見られるものの、筋肥大・筋力増強は起こらない (Holloszy and Booth 1976) などの報告から、大きなメカニカルストレスは筋肥大、筋力増強に必須の条件であるとされてきた。しかしながら、このような高負荷を用いたレジスタンストレーニングには整形外科的傷害や血圧上昇による血管障害などの危険性が高いという問題が指摘される (Pollock et al. 1991, Fleck 1988)。

血流制限を用いた「加圧トレーニング」

近年の血流制限を併用した比較的軽負荷を用いたレジスタンストレーニングに関する幾つかの研究報告から、筋肥大・筋力増強には大きなメカニカルストレスだけが必ずしも必須の要素ではなく、その他の要素も大きく関与しているものと考えられるようになってきた。加圧バンドで四肢の基部に圧迫をかけることで筋を局所的に血流制限して行う加圧トレーニングでは、20%1RM 程度の小さな負荷強度を用いた場合でも、高負荷強度を与えた場

合と同等の筋肥大・筋力増強効果をもたらすこと報告されている (Takarada et al. 2001)。こうした効果には、血流制限による乳酸、 H^+ 等の無酸素性代謝産物の発生・蓄積と代謝物受容反射による成長ホルモンの分泌活性化 (Kraemerら 2005) や、虚血・再還流による活性酸素種の発生 (Korthiusら 1985) などが関与していると考えられている。

筋発揮張力維持法の提案

加圧トレーニングは大きなメカニカルストレスを伴わない効果的なレジスタンストレーニングであるが、外的加圧を加えるための専用のバンドとバンド圧の管理・調節が必要であり、一般に広く汎用できるトレーニング方法とは言いがたい。また、外的な加圧にはしばしば大きな痛みを伴うこと、血流制限が可能な部位が上肢・下肢に限定されるため、体幹部の筋には適用できないといった問題も抱えている。

そこで、外的な加圧を用いずに同様の効果を狙える方法として、筋発揮張力を維持しながら動作を行うトレーニング方法、筋発揮張力維持法が提案できる。持続的な筋力発揮によって筋内圧の上昇による筋血流の制限が期待できるからである。40-50%MVC (maximum voluntary contraction) 程度の持続的な筋力発揮により大きな血流制限が生じるとされている (Bonde-Petersen et al. 1975) ことから、40%MVC 程度以上の負荷を用いて持続的な筋力発揮をするトレーニング方法によって、外的な加圧を用いた方法と類似した筋肥大、筋力増強の効果が期待できると考えられる。

本研究では筋発揮張力維持法をとり入れたレジスタンストレーニングの仕組みとトレーニング効果を検証することを目的とした。

[実験 1] 筋発揮張力維持法の生理学的・力学的特性と筋肥大・筋力増強効果

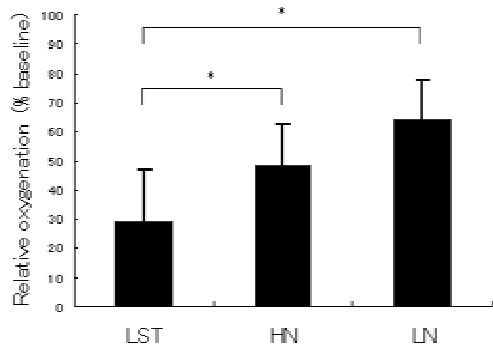
実験 1 では、筋の血流制限効果が期待される筋発揮張力維持法を取り入れたレジスタンストレーニングが、筋活動レベル、筋酸素化レベル、血中乳酸濃度などに及ぼす一過的效果と、同トレーニングを長期的に実施することによる筋肥大・筋力増強効果を調べた。運動種目としてレッグエクステンションを用い、動作中に筋発揮張力が低下することのない比較的低速度での運動 (3 秒上げ、1 秒止め、3 秒下し) を行った。運動負荷はその動作での 8RM とし、1 分間インターバルで 3 セットを、週 3 回、12 週間行った。このトレーニング手技を、比較的軽負荷を用いて低速度で筋緊張を持続させることから、「low-intensity, slow and tonic force generation : 以下 LST」と名づけた。

また、比較対照として LST と同一 RM 強度を用いて通常のトレーニング動作 (1 秒上げ、1 秒下し、1 秒待ち) を行うグループ (high-intensity normal : 以下 HN) と LST と同一負荷強度を用いて通常のトレーニング動作で行うグループ (low-intensity normal : 以下 LN) を設定した。被験者は各グループ 8 名、計 24 名とした。LST、LN で用いた負荷は 50%1RM、HN では 80%1RM 程度であった。なお、LST と HN では同じ 8RM の負荷を用いながら負荷強度

が異なるのは、それぞれの動作様式が異なるためである。

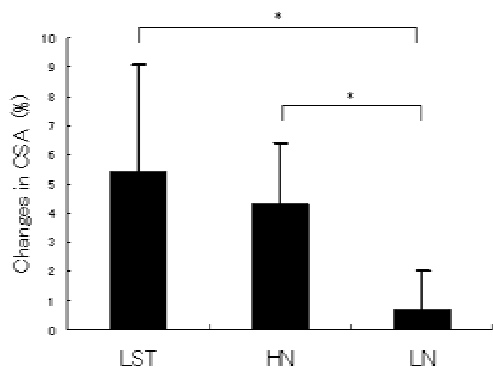
一過的な運動中の生理反応として、LST では筋活動レベルが動作中持続的に一定のレベルを維持していること、筋酸素化レベルの劇的な低下、血中乳酸値の劇的な増加が観察された。以上から LST では持続的な筋張力発揮による血流制限が筋内の代謝環境に影響を及ぼすことが示唆される。

長期のトレーニング効果として、12 週間のトレーニングの結果、LST では比較的負荷が軽いにも関わらず有意な筋肥大が起こり、その程度は同一負荷での通常法である LN よりも有意に大きく、同一 RM での通常法である HN より有意ではないが大きい傾向が観察された。



図：運動中筋酸素化レベルの低下ピーク値
平均+標準偏差を示す。

*：群間の有意差 ($p < 0.05$)



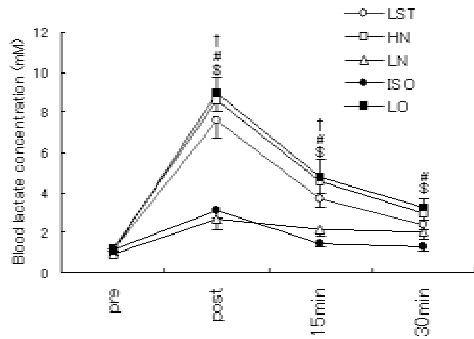
図：トレーニング後における膝伸筋の CSA 伸び率
平均+標準偏差を示す。

*：群間の有意差 ($p < 0.05$)

[実験 2] 筋発揮張力維持法における一過的水平ホルモン応答

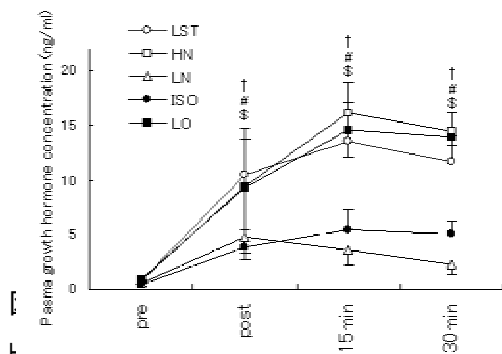
実験 2 では、LST を用いたトレーニングが一過的水平ホルモン応答に及ぼす効果を調べるために、前記 3 手技に加えて、血流制限の期待できる別の方法として、軽負荷加圧トレーニング法 (low-intensity with occlusion : 以下 L0)、アイソメトリックトレーニング法 (isometric: 以下 IS0) の 2 手技を追加して分析を行った。L0 は先行研究にならい 30%1RM の負荷を用い、IS0 は LST と同一負荷、同一力積を用いて、どちらの手技も前期 3 手技と同様に 1 分間インターバルで 3 セットを行った。被験者は 6 名とし、同一被験者に対して 5 手技すべての運動方法での運動負荷を与えて、血中乳酸濃度および成長ホルモンなどの血中ホルモン濃度変化の分析を行った。

LST、L0 では負荷が軽いにも関わらず、血中乳酸濃度、成長ホルモン濃度とも、高負荷を用いた通常法である HN とほぼ同量にまで増加することが観察された。血流制限下で行うレジスタンストレーニングが筋肥大を促す作用機序の 1 つとしてホルモンを介する経路があることが示唆された。また、IS0 では筋酸化レベルの低下は観察されるものの、血中乳酸濃度、成長ホルモン濃度ともに大きな増加は観察されなかった。これにはアイソメトリックトレーニング動作は力学的仕事量が 0 であり、エネルギー消費が少ないことが関係すると考えられる。



図：運動中筋酸素化レベルの低下ピーク値

血中乳酸濃度の変化平均 ± 標準誤差を示す。†：LST-LN, ISO 間の有意差、#：HN-LN, ISO 間の有意差、\$：LO-LN, ISO 間の有意差 (p<0.05)

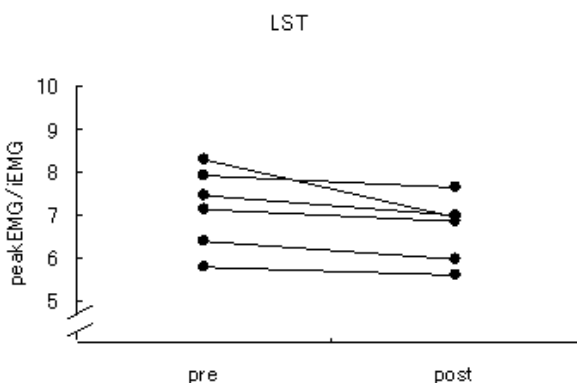


標準誤差を示す。†：LST-LN, ISO 間の有意差、#：HN-LN, ISO 間の有意差、\$：LO-LN, ISO 間の有意差 (p<0.05)

[実験 3] 筋発揮張力維持法の動的運動の動作様式に与える影響

筋血流制限を目的として、ゆっくりとした動作で筋力を持続的に発揮する LST は、ヒトの日常動作やスポーツ動作などの動的運動において自然に用いられる反動動作 (Komi 2000, 1984) とは筋力の発揮形態が大きく異なる。反動動作とは筋・腱の発揮パワー、エネルギー効率の向上する伸張-収縮サイクル (stretch-shortening cycle : SSC) を用いた動作であり、その筋力発揮は瞬間的で断続的である (Komi 2000)。LST の長期トレーニングによって動的運動での動作様式に何かしらの影響を与えるかもしれない。

動的運動の評価として自転車エルゴメーター運動時の筋電図波形の解析を行ったところ LST の長期トレーニングによって、すべての被験者において筋電図の形がピークの高い鋭く上がった形状から、平坦な形状への変化を示す様子が伺われた。動的動作における筋力発揮形態がバリスティックなものから LST 動作で行う持続的な形態に近い形に変化したものと思われる。



図：自転車運動時筋電図尖度の各被験者ごとの変化
(値が大きいほどバリスティックな筋力発揮を意味する)

[まとめ]

比較的軽負荷 (~50%1RM) を用いた筋発揮張力維持法 (LST) を用いたトレーニングで、筋肥大・筋力増加が起こること、そのメカニズムとして持続的筋張力発揮による筋酸化レベルの低下、血中乳酸濃度の増加、成長ホルモン濃度の増加などが関与することが示唆された。また、LST の長期トレーニングにより動的動作の筋力発揮形態に影響を及ぼすことが観察された。