

スロートレーニング時における筋活動および酸素化動態の解析 ～多チャンネル表面筋電図と NIRS を用いて～

中野佳樹¹⁾, 関山貴士²⁾, 宮本俊朗³⁾

1) JCHO 星ヶ丘医療センター リハビリテーション部

2) パナソニック健康保険組合 松下記念病院 リハビリテーション科

3) 兵庫医療大学リハビリテーション学部理学療法学科

キーワード: サルコペニア・スロートレーニング・多チャンネル表面筋電図

はじめに

本邦は超高齢社会へ突入しており、加齢に伴う筋量減少とそれに伴う筋機能低下を指すサルコペニアへの対策は急務となっている。通常、筋力低下に対しては、高負荷レジスタンス運動が推奨されるが、身体機能の低下した高齢者では実施困難な場合が多い。そこで、低負荷でゆっくりと動作を行う、スロートレーニング(Slow Training : SLT)が代替的手法として注目されている。SLTは筋や関節への負担が少なく、高負荷レジスタンス運動と同様の筋力増強効果が得られること¹⁾や、心血管系に与える負担が小さいこと²⁾が報告されている。しかしながら、SLTが一般的なレジスタンス運動と同等の筋力増強効果をもたらす生理学的メカニズムについては完全には明らかとなっていない。そこで、本研究では運動時の筋活動や運動単位の動員様式を空間的・時間的に評価できる多チャンネル筋電図を用いてSLT時における筋内活動分布・動員様式を明らかにすることを目的とした。また、近赤外分光法(NIRS)や乳酸、血圧、心拍数の測定を行い、SLT時の代謝・筋血流動態や循環器系への影響についても明らかにすることを目的とした。

方法

対象は健康成人男性 12 名(21.5±0.5 歳)とした。最初に、多用途筋機能評価運動装置(BIODEX 社)を用いて 2 種類の等速性運動(角速度 22.5°/秒、45°/秒)における膝伸展最大筋力(MVC)を測定した。その後、等張性運動にて 2 条件で膝関節伸展のレジスタンス運動を実施した。各条件は①SLT:角速度

22.5°/秒(求心・遠心性収縮を含む)、50%MVC 負荷にて 15 回×3 セット、②高負荷レジスタンス運動(HT):角速度 45°/秒(求心性収縮のみ)、75%MVC 負荷にて 10 回×3 セットとした。また、すべての筋力測定およびレジスタンス運動時には 64 チャンネルの多チャンネル筋電図(OT Bioelettronica 社製 EMG-USB2)を用いて右外側広筋の測定を行った。各条件において得られた 64 チャンネル分のデータは膝関節 40~50° の範囲を抽出し、各チャンネル毎で RMS(Root Mean Square)を算出した後、MVC の値をもって正規化を行い、64 チャンネル分の平均 RMS および変動係数を算出した。また、筋電計の電極とともに外側広筋に近赤外線分光装置を貼付し(OMEGAWAVE 社製 BOM-L1TR)、各条件で酸素化ヘモグロビン(Oxy-Hb)の減衰量を比較した。さらに、各条件前後で、乳酸値(アークレイ社製 ラクテートプロセンサー)、血圧(OMRON 社製 HEM-8713)を測定した。統計学的解析は、筋電図の平均 RMS・変動係数、Oxy-Hb の減衰量においては 1 セット目のはじめと終わり、3 セット目の終わりの値を、乳酸・血圧・心拍数においては介入前後の変化率を比較するため、Shapiro-Wilk test を行った後、対応のある t 検定もしくは Wilcoxon 検定を行った。全てのデータは平均値±標準偏差で表し、有意水準は 5%とした。なお、本研究は兵庫医療大学倫理審査委員会(第 15017 号)の承認を得て実施した。

結果

64 チャンネル分の RMS の%MVC の平均値は 1set

目の開始時は SLT で $65.15 \pm 41.05\%$ 、HT で $76.41 \pm 18.34\%$ 、終了時は SLT で $68.70 \pm 37.38\%$ 、HT で $99.46 \pm 40.16\%$ であり、ともに HT が SLT よりも有意に高値を示した ($p < 0.05$)。しかしながら、3set 目の終了時では SLT で $101.28 \pm 43.77\%$ 、HT で $104.35 \pm 59.13\%$ と両群間に有意差を認めなかった ($p < 0.05$)。一方で、変動係数は SLT (1 セット開始時: $0.82 \pm 0.076\%$ 、1 セット終了時: $0.85 \pm 0.107\%$ 、3 セット終了時: $0.78 \pm 0.0067\%$)、HT (1 セット開始時 $0.77 \pm 0.069\%$ 、1 セット終了時 $0.70 \pm 0.174\%$ 、3 セット終了時: $0.73 \pm 0.114\%$) 間で全ての測定時点で両群間に有意差を認めなかった。また、Oxy-Hb は SLT (1 セット開始時: $2.93 \pm 32.38\%$ 、1 セット終了時: $29.85 \pm 29.30\%$ 、3 セット終了時: $31.92 \pm 26.29\%$)、HT (1 セット開始時: $-0.22 \pm 14.23\%$ 、1 セット終了時: $47.30 \pm 26.71\%$ 、3 セット終了時: $42.40 \pm 22.62\%$) 間で全ての測定時点で両群間に有意差はみられなかった ($p < 0.05$)。乳酸 (SLT 変化率 $200 \pm 140.07\%$ 、HT 変化率 $174 \pm 102.26\%$)、血圧 (SLT 変化率 $13 \pm 6.85\%$ 、HT 変化率 $12 \pm 9.90\%$)、心拍数 (SLT 変化率 $14 \pm 16.51\%$ 、HT 変化率 $18 \pm 17.97\%$) は両群ともに有意に上昇したが両群間に有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

表1 多チャンネル筋電図 (変動係数) の変化

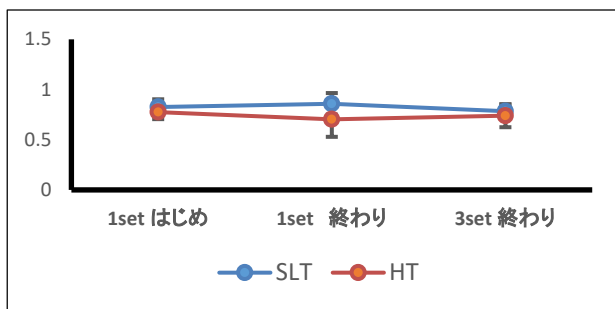
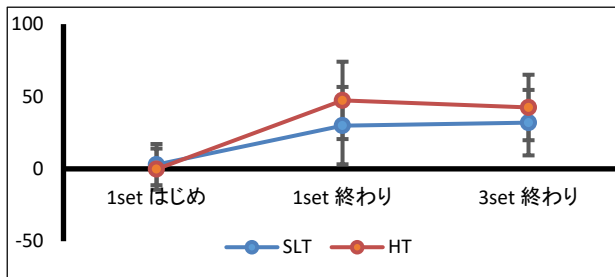


表2 表筋内酸素動態の変化 (NIRS)



考察

本研究の主な結果は、SLT は 3 セット後に HT と

同等の筋活動となったが、変動係数には有意差がなかったこと、筋血流量および乳酸は両群間に有意な差を認めなかったことである。SLT の筋活動が 3set 目の最後で HT と同等となった。しかし、変動係数は両群間で有意な差を認めなかった。多チャンネル表面筋電図を使用した同一筋内の活動分布の解析によって、運動単位の動態の推測が可能であるとされており^{7,8)}、変動係数に有意な差を認めなかったことから筋内の空間的な筋線維の動員が異なるとは言えないことを意味する。一般的には速筋線維を支配する運動単位は遅筋線維を支配する運動単位よりも大きいので、速筋線維を支配する運動単位が動員されるにしたがって、同一筋内の活動分布は全体的に活動し、異質性が低下する⁸⁾。両群ともに異質性は低かったことから、SLT でも HT と同様に開始当初より速筋線維が動員されていたと推察できる。また、50%程度の筋活動で筋内圧が上昇する⁹⁾ことにより、筋への血流量が低下し、速筋線維の動員が増加する¹⁰⁾とされており、実際、SLT の酸素化ヘモグロビンは HT と同程度であった。乳酸の値にも有意な差が生じなかったことから、同程度の速筋線維が動員されていることを裏付けているものと考えられる。本研究結果より、負荷を減らしても、SLT を実施することによって、活動筋における酸素化が HT と同等程度になり、速筋線維の動員が誘発されるが示唆された。

文献

- 1) M Tanimoto et al, Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *J Appl Physiol* 2006; 100: PP. 1150-1157.
- 2) 大平雄一 他, スロートレーニングにおける血圧および心拍数変動の検討. *Japanese journal of allied health and rehabilitation*, PP. 76-79. 2008
- 3) Watanabe K, Miyamoto T, *et al.*: Type 2 diabetes mellitus patients manifest characteristic spatial EMG potential distribution pattern during sustained isometric contraction. [Diabetes Res Clin Pract.](#); 97(3): 468-73. 2012
- 4) Farina D, Leclerc F, *et al.*: The change in spatial distribution of upper trapezius muscle activity is correlated to contraction duration. *J Electromyogr Kinesiol.*; 18(1): 16-25. 2008
- 5) 赤滝久美, 三田勝己, 特集 運動時の代謝量の計測 筋による筋収縮過程の推定. *BME 日本 ME 学会誌.* 8 (11), 30-38, 1994
- 6) 鈴木桂輔, 宮本康弘, スロートレーニング時の筋活動の分析, ライフサポート, Vol. 23, No4, 152-158, 2011