

5. 下肢レジスタンス運動における活動筋血液量動態

— 中高年女性における検討 —

Blood-volume Changes in the Thigh Muscles during Leg-resistance Exercise in Elderly Women

鯨坂 隆一*¹ 渡辺 重行*² 鈴木 康文*³ 大槻 毅*⁴ 田辺 匠*⁴
菅原 順*⁵ 増田 和実*⁶ 久野 譜也*¹ 松田 光生*¹ 山口 巖*²

キー・ワード: Resistance exercise, Elderly women, Muscle blood volume, Near-infrared spectroscopy

〔要旨〕 中高年女性22名(年齢 67 ± 6 歳, 8名は健常者, 14名は高血圧, 糖尿病, 高脂血症, 心疾患のいずれかを保有)を対象として座位膝伸展下腿挙上運動(40%, 60% 1RM強度で5秒間挙上, 5秒間安静の動作を10回反復)における大腿外側広筋部の血液量動態を近赤外分光法を用いて検討した。運動筋が弛緩した際の血液量増加反応には運動筋での酸素化動態が関与し, 高齢, 低筋力, 有疾患群で血液量増加反応が小さい傾向があった。

序 言

加齢や動脈硬化を惹起する病態により, 持久性運動に対する活動筋の血流増加反応が低下することが知られている^{1,2)}。一方, レジスタンス運動における活動筋の血流増加反応については不明な点が多く, 加齢や疾患により, その血流増加反応が低下するか否かについてもよく知られていない。

レジスタンス運動では筋の強い収縮時には筋血流は阻血され³⁾弛緩期には筋血流は回復するが, 阻血解除に伴い弛緩期には筋血流は運動前より増加することが予測される。

本研究の目的は下肢レジスタンス運動における活動筋血液量動態を近赤外分光法を用いて検討し, 1) 下肢レジスタンス運動の弛緩期には筋血流の増加により活動筋血液量の増加が生じる, 2) 心疾患患者や冠危険因子保有者ではその増加が少ない, の二つの仮説の検証を行うことにある。

対象と方法

1. 対 象

中高年女性22名(57~76歳, 67 ± 6 歳)を対象とした。対象の22名のうち, 8名は健常者であり, 8名は高血圧, 高脂血症, 糖尿病のいずれかを有する冠危険因子保有者であり, 6名は冠動脈疾患患者であった。冠動脈疾患患者は全例冠危険因子のいずれか一つ以上を同時に保有していた。

2. 方 法

今回の測定は安全性を考慮し, 服薬治療下で実施した。運動の方法としては座位下腿挙上を用いた。1RMは端座位にて, 足首に砂嚢を付けて足を60度以上あげて5秒以上保持しうる最大重量として決定した。測定した1RMの40%および60%に相当する重量の重錘バンドを一側の下腿足首に貼付し, 1側の膝関節を可及的に水平位まで伸展させた。5秒間挙上・保持と5秒間下降・安静を10回反復させた。

3. 測定項目

心拍数および血圧は連続的に測定した。運動中の測定値としては運動中の最大ないし最高の値を採用した。血圧の測定には連続血圧測定装置TNO-TPD BMI社製Portapresを用いた。本法の妥当性はす

*¹ 筑波大学体育科学系

*² 同 臨床医学系内科

*³ 国際医療福祉大学医療福祉学研究所

*⁴ 筑波大学体育科学研究科

*⁵ 産業技術総合研究所人間福祉医工学部門

*⁶ 金沢大学教育学部

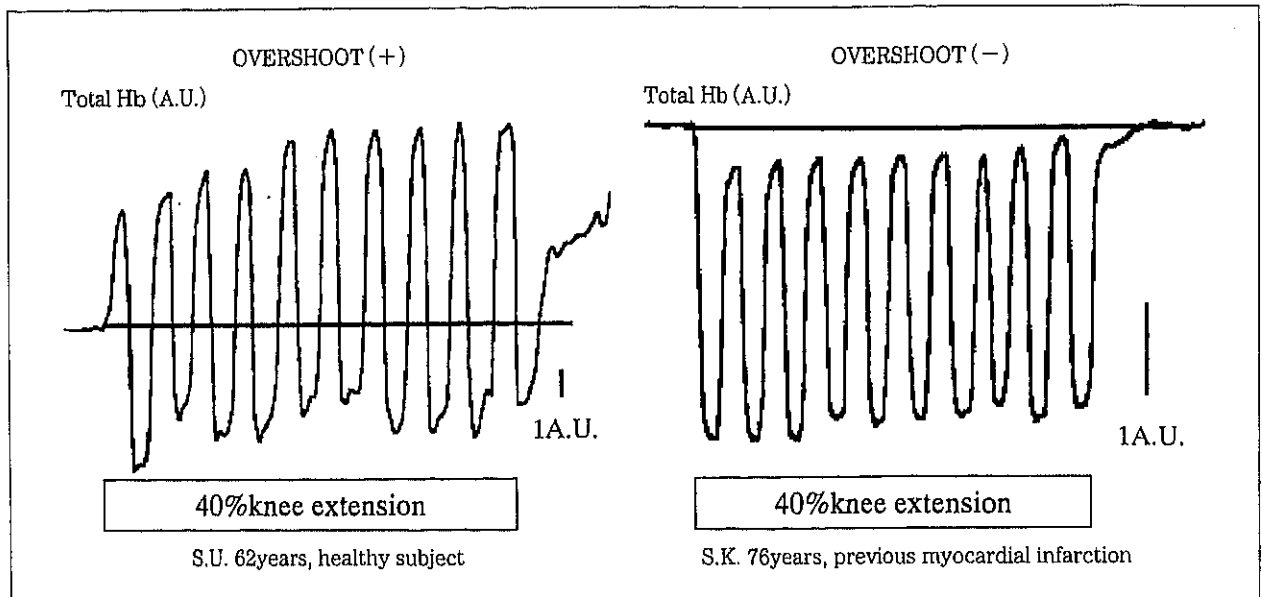


Figure 1 The blood-volume changes in the vastus lateralis muscles during leg-resistance exercise in 2 subjects

で確認されている⁴⁾。運動筋の筋疲労度は Borg 指数(6~20)により評価した。

運動肢の大腿外側広筋部の血液量および組織酸素飽和度は近赤外分光装置、島津製作所製 OM200 を用いて連続的に測定した。

4. 統計

測定値は平均±標準偏差で示した。2群間の比較には、Mann-Whitney の U 検定もしくは Fisher の直接計算法を用い、 $p < 0.05$ をもって有意とした。

成績

下肢レジスタンス運動中の大腿外側広筋部の総ヘモグロビン・ミオグロビン濃度変化で示される運動筋血液量は筋収縮により急激に減少し、筋弛緩により急激に回復した(Fig.1 左)。この例のように筋弛緩時の血液量が運動前値を越えて増加した場合を overshoot ありとし、Fig.1 右の例のように筋弛緩時の血液量が運動前値を越えない場合を overshoot なしとした。

40% 1RM, 60% 1RM のいずれでも 1 回目の運動では 22 例中、同一の 8 例で overshoot を認めず、この 8 例を以下の検討での overshoot なし群とし、残る 14 例を overshoot あり群とした。overshoot の出現頻度はいずれの運動強度においても施行回数の増加とともに多くなった。40% 強度では 10 回目の施行後にも overshoot (-) であったのは 5 例であり、内訳は健常群 2 例、冠危険因子保有群 1 例、冠

動脈疾患群 2 例であった。60% 強度では 10 回目の施行後にも overshoot (-) であったのは 2 例であり、いずれも冠動脈疾患群であった。

Table 1 に overshoot あり群および overshoot なし群の生理的・病態的指標を比較した結果を示した。overshoot なし群は overshoot あり群に比し、有意に高齢で身長が低く、1RM の重量が少ない傾向を認めた(Table 1)。大腿皮脂肪厚や安静時心拍数および血圧には差異を認めなかった。運動中の心拍数、血圧、筋疲労 Borg 指数にも両群間で差異を認めなかった。overshoot なし群は overshoot あり群に比し、統計的には有意ではないが、有疾患者の頻度が多い傾向があった。

40% 強度 10 回目の施行後に overshoot (-) であった 5 例を他の 17 例と比較すると、有意に高齢で 1RM の重量が少ない傾向を認めた。60% 強度 10 回目の施行後に overshoot (-) であったのは 2 例のみであったので、統計的検討は行わなかった。

運動前の運動筋組織酸素飽和度(SdO₂)測定値は両群間で差異を認めなかったが、運動中の値は overshoot あり群が有意に低いかあるいはその傾向があり、運動による減少度(Δ SdO₂)も overshoot あり群が有意に低いかあるいはその傾向があった(40% 強度: 19.3% 対 8.7%, $p < 0.10$, 60% 強度: 24.4% 対 11.2%, $p < 0.05$)。40% 強度 10 回目の施行後に overshoot (-) であった 5 例を他の 17 例と比較しても同様の差異が認められた。

Table 1 Comparison between the subjects with and without overshoot

	overshoot(+)	overshoot(-)	
N	14	8	
Age(years)	64.0±4.8	71.5±4.2	P=0.0031
Height (cm)	152.2±5.8	146.6±2.6	P=0.0093
Body weight (kg)	54.2±7.7	54.5±6.4	NS
BMI (kg/m ²)	23.4±2.9	25.4±2.5	NS
SFT in thigh (cm)	3.9±1.3	4.3±0.8	NS
1RM(kg)	17.0±3.9	13.4±3.0	P=0.0644
Heart rate (bpm)	65.1±11.9	68.1±10.5	NS
SBP (mmHg)	132.5±16.2	137.6±16.9	NS
DBP (mmHg)	79.8±10.9	81.9±9.0	NS
Diseases (+)	8/14 (57%)	6/8 (75%)	NS

BMI= body mass index, SFT=skin fat thickness, RM=repetition maximum, bpm=beats/minute, SBP=systolic blood pressure, DBP= diastolic blood pressure.

考案

下肢レジスタンス運動において、筋収縮時に減少した活動筋血液量は筋弛緩時には前値に復する変化を示した。この血液量動態は中高年女性健康人、冠危険因子保有者、心疾患患者に同様に認められ、従来の健康人における報告とも合致した^{5,6)}。しかし、血液量の増加反応を運動前値を越えることと定義すると、運動による血液量の増加反応を認めた overshoot あり例とそうでない overshoot なし例に二分された。予想に反して疾患の有無と血液量増加反応との関係は今一つ明らかではなかったが、これは一つには治療下の患者を対象としたためかもしれない。

レジスタンス運動における筋弛緩に伴う活動筋血液量増加反応の正確な関与因子の同定はできないが、overshoot なし群の臨床的特徴として、高齢、低筋力、運動時活動筋酸素化低下などが検出された。したがって、下肢レジスタンス運動における血液量増加反応低下には、一つには加齢や身体的脱調節による活動筋の血管系および線維組成の変化などが関与しているのかもしれない。

1 回目の筋収縮後の筋弛緩時の筋血液量増加反応は運動による筋の代謝変化がまだ小さいと考えられることから、主に血管自体の拡張性(myogenic factor)すなわち、筋収縮による血管圧解除後の筋原性の血管平滑筋の弛緩反応が関与すると考えられる⁷⁾。一方、筋収縮の反復回数が増した後の筋血液量増加反応には組織酸素飽和度が進行性に低下し、血圧も進行性に上昇したことから代謝性血管拡

張や灌流圧上昇の関与が考えられる。すなわち、overshoot 発現には運動初期と終盤で関与する因子が異なると考えられる。実際、overshoot 発現は施行頻度が増すとともに増加した。しかし、その臨床的特徴は overshoot 発現なしが初期のみ生じた者と終盤にも持続した者とで、ほとんど同じであった。ただし、これは被験者数が少なかったからかもしれない。

運動強度による差異は明らかではなかったが、これは今回用いた 40%と 60%が強度の差を明らかにするには十分な差異でなかったためかもしれない。

今回の検討では筋弛緩時間を 5 秒と設定した。したがって、この時間をさらに長くすれば overshoot なし群でも overshoot を生じる可能性がある。実際、血液量が増加し続けている間に次の筋収縮が始まり、血液量が減少する例が観察された。すなわち、overshoot(-)の原因の一つとして筋弛緩時の血液量増加の速度が遅いことが考えられる。

大腿外側広筋部の運動時血流量は表在の白筋に比し、深部の赤筋が著明に多いことが知られている⁸⁾。測定部位の大腿皮脂厚は近赤外分光法により測定される筋の深さに影響を与え、成績に影響する可能性がある。しかし、今回の検討では overshoot あり群と overshoot なし群とで大腿外側の皮脂厚には差異を認めなかった。

結論

中高年女性における下肢レジスタンス運動において、筋弛緩時には活動筋の血液量が増加し、その増

加反応には活動筋の酸素化動態が関連し、高齢、低身長、低筋力かつ心疾患あるいは冠危険因子保有者でその血液量増加反応が低下している可能性が示された。

本研究は文部科学省科学研究費：基盤研究B，課題番号12480004，平成12～14年度および文部科学省科学技術振興調整費，平成11～13年度によって行われたものである。

文 献

- 1) Wahren JB, Saltin B, Jorfeldt L et al : Influence of age on the local circulatory adaptation to leg exercise. *Scand J Clin Lab Invest*, 1974, **33** : 79 ~ 86.
- 2) Gaenzer H, Neumayr G, Marschang P et al : Flow-mediated vasodilation of the femoral and brachial artery induced by exercise in healthy nonsmoking and smoking men. *J Am Coll Cardiol*, 2001, **38** : 1313 ~ 1319.
- 3) Gaskell WH : On the changes of the blood stream in muscles through stimulation of their nerves. *J Anat*, 1877, **11** : 360 ~ 402.
- 4) 菅原 順, 田辺 匠, 大槻 毅他 : 運動時の心拍出量の非侵襲的測定—Modelflow 法と impedance cardiography 法との比較. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 2001, **9** : 360 ~ 367.
- 5) Wesche J : Time course and magnitude of blood flow changes in the human quadriceps muscle following isometric contraction. *J Physiol*, 1986, **377** : 445 ~ 462.
- 6) Kagaya A, Ogia F : Blood flow during muscle contraction and relaxation in rhythmic exercise at different intensities. *Ann Physiol Anthropol*, 1992, **11** : 251 ~ 256.
- 7) Mohrman DE, Sparks HV : Myogenic hyperemia following brief tetanus of canine skeletal muscle. *Am J Physiol*, 1974, **227** : 531 ~ 535.
- 8) Armstrong RB : Magnitude and distribution of muscle blood flow in conscious animals during locomotory exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 1988, **20** : S119 ~ S123.

Blood-volume Changes in the Thigh Muscles during Leg-resistance Exercise in Elderly Women

Ajisaka R^{*1}, Watanabe S^{*2}, Suzuki Y^{*3}, Ootsuki T^{*4}, Tanabe T^{*4}, Sugawara J^{*5},
Masuda K^{*6}, Kuno S^{*1}, Matsuda M^{*1}, Yamaguchi I^{*2}

^{*1}Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, ^{*2}Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba, ^{*3}Graduate School of Health and Social Service, University of Health and Welfare, ^{*4}Graduate School of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, ^{*5}National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ^{*6}Faculty of Education, Kanazawa University

Key Words : Resistance exercise, Elderly women, Muscle blood volume, Near-infrared spectroscopy

The purpose of the present study was to elucidate the clinical significance of the blood-volume changes in the thigh muscles during leg-resistance exercise in 22 elderly women (67 ± 6 years, 8 healthy, and 14 with coronary risk factors such as hypertension, hypercholesterolemia, diabetes, and cardiac diseases). The leg-resistance exercise consisted of 10 repetitions of 40% and 60% of 1RM in sitting knee extension. Each repetition consisted of 5s lifting-motion and pause and 5s lowering-motion and pause. The changes of total-hemoglobin content (blood-volume), oxy- and deoxy-hemoglobin contents in the vastus lateralis muscles during exercise were measured with near-infrared spectroscopy. The

blood-volume decreased during leg-lifting and recovered during leg-lowering. The blood-volume recovery over pre-exercise level at the first leg-lowering was defined as "overshoot". The overshoot was revealed in 14 (64%) subjects in both the 40% 1RM and 60% 1RM exercise. The 8 subjects without overshoot had cardiovascular or metabolic disorder except 2 subjects and they had older age (72 years vs. 64 years) and less 1RM weight (13 kg vs. 17 kg) than those with overshoot. Thus, the hyperemic response in exercising muscles during leg-resistance exercise was decreased in the elderly women with older age, weak muscle power, and cardiovascular or metabolic disorder.