

血流制限を併用した 筋力トレーニングの効果：女性における至適方法の検討へ

Resistance Training with Blood Flow Restriction: Optimization in Women

* 沖田 孝一¹⁾・絹川真太郎²⁾・横田 卓²⁾
森田憲輝³⁾・佐々木浩子⁴⁾

骨格筋量および筋力が、生命予後や疾患予後に影響を与えることが疫学的に証明され、それらを向上させる方法としてレジスタンス運動が注目されている。しかしながら、通常のレジスタンス運動では、高強度負荷が必要なため、高齢者、有疾病者および女性においては、運動器損傷や心血管系への過負荷を来す危険性から臨床的に実地困難なことが多い。一方、近年の研究において血流制限の併用により、低強度負荷を用いたレジスタンス運動においても、高強度負荷を用いた場合に匹敵する効果が得られることが報告された。本研究では、運動中の筋内代謝的負荷の測定により、この新しいトレーニング方法の有効性を女性において検討した。その結果、従来の高強度負荷を用いたレジスタンス運動では、女性の筋負荷がやや軽い傾向があるのに対し、血流制限ではその差は小さい傾向があり、血流制限の併用は、女性においてより有用である可能性が示唆された。

キーワード：筋力トレーニング、代謝的ストレス、性差、磁気共鳴スペクトロスコピー

Background and Purpose: Skeletal muscle bulk is becoming an important therapeutic target in medicine. In order to increase muscle mass, however, intensive mechanical stress must be applied to the muscles, and such stress is often accompanied by orthopedic and cardiovascular problems. Resistance exercise with blood flow restriction (BFR) is a new training method providing significant training effects despite the use of low-intensity loads. We observed that blood flow restriction (BFR) remarkably enhances muscular metabolic stress in resistance exercise, although there is a wide range of individual differences in the responses. It is possible that these differences could be due to gender difference in muscular physiological characteristics. Therefore, we compared intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with BFR between men and women. Methods: Twenty-six age-matched men ($n=13$, 22 ± 4 yrs) and women ($n=13$, 21 ± 4 yrs) were recruited and performed unilateral plantar-flexion (30 repetitions/min for 2 min). The exercise protocols were as follows: low-intensity exercise (L) with 20% of one repetition maximum (1-RM), L with BFR, and high-intensity of 65% 1-RM without BFR (H). Muscular metabolic stress, defined as phosphocreatine and intramuscular pH decrease and muscle fiber recruitment were evaluated by using ^{31}P -magnetic resonance spectroscopy. Results and Discussion: Metabolic stresses during exercise were statistically similar between men and women in all protocols. Compared with L, metabolic stresses were enhanced similarly by BFR (L-BFR) in men and women, while those did not reach the levels in H. Conclusions: Effects of resistance exercise with BFR on muscular stress might be similar in men and women.

Keywords: metabolic stress; ischemia; gender; training; muscle hypertrophy

*Koichi Okita ¹⁾, Shintaro Kinugawa ²⁾, Takashi Yokota ²⁾, Noriteru Morita ³⁾, Hiroko Sasaki ⁴⁾

1)北翔大学生涯スポーツ学部スポーツ教育学科, 2)北海道大学大学院医学研究科循環病態内科学,

3)北海道教育大学スポーツ教育学部, 4)北翔大学人間福祉学部福祉心理学科

1)Department of Sport Education, Hokusho University, 2)Cardiovascular Medicine, Hokkaido University of Medicine,

3)Sports Education, Hokkaido University of Education, 4)Department of Psychology for Human Services, Hokusho University

1. はじめに

骨格筋の量および筋力が、ADL (activity of daily living) や QOL (quality of life) のみならず生命予後や疾患予後に影響を与えることが疫学的に証明され、それらを向上させるレジスタンス運動の重要性が注目されている¹⁾。横断的には、筋力および筋量が多いほど死亡率が低く、また運動療法においても有酸素運動にレジスタンス運動を加えることで病態や予後を改善する効果はさらに増加する^{2,3)}。しかしながら、レジスタンス運動により目的とする効果 (筋量および筋力増加) を得るには、最大筋力の 65% 以上 (50 ~ 80%) の高い負荷強度が必要とされるため⁴⁾、高齢者、有疾病者および女性において施行するには、運動器損傷や心血管系への過負荷を来す危険性から臨床的に困難なことが多い。また、特に女性では、レジスタンス運動の効果が得られにくいことが知られている。一方、近年の研究において血流制限の併用により、最大筋力の 20 ~ 40% 程度の低強度負荷を用いたレジスタンス運動においても、高強度負荷を用いた場合に匹敵する効果が得られることが報告された。低強度負荷を用いることで、前述

のリスクが減少するため、高齢者、有疾病者および女性における臨床応用が期待されている。

本研究では、女性および男性における血流制限を併用したレジスタンス運動の効果を単回運動時の筋内代謝的ストレスから評価し、その差異について検討を行った。

2. 方法

1. 被験者

健常女性 13 名 (年齢: 20.8 ± 3.8 歳) と年齢を対応させた健常男性 13 名 (年齢: 22.2 ± 3.7 歳)、計 26 名を対象とした。

2. レジスタンス運動

仰臥位における右足関節底屈運動を毎分 30 回のペースで、総計 60 回 (2 分間) 施行した。運動には、独自に考案した装置を用い、ペダルを介して錘を正確に 5cm 挙上するよう調整し、運動負荷を定量的に行った。

3. 運動条件

あらかじめ最大挙上重 (1-RM: one repetition maximum) を測定し、その 20% を用いた低強度条件とその条件に加えて、先行研究に基づき、空気圧式カフを用いて、被験者の収縮期血圧の 1.3



図1. 研究に用いた運動装置とMRシステム。

表1 被験者の基礎データ

項目	男性 (n=13)	女性 (n=13)
年齢, 才	22.2±3.7	20.8±3.8
身長, cm	171.9±4.4	160.5±4.0*
体重, kg	65.9±6.3	53.5±6.7*
BMI	22.3±2.4	20.8±2.3
収縮期血圧, mmHg	124.2±11.7	106.5±6.3*
血流制限圧, mmHg	161.5±15.2	138.5±8.1*
1RM, kg	50.7±6.6	31.8±8.3*
20%1RM, kg	10.2±1.2	6.4±1.6*
65%1RM, kg	33.1±4.3	20.8±5.3*

*平均 ± 標準偏差, $p < 0.05$. 男性 vs 女性.

倍で血流制限を行った低強度血流制限、さらに通常のレジスタンス運動で推奨される 65% 1-RM を用いた高強度条件の 3 条件にて運動を行った。

4. 骨格筋内エネルギー代謝の測定と筋線維動員の評価

被験者は、全身用 MR 装置内(1.5Tesla, Magnetom H15, Siemens, Erlangen, Germany)に設置した非磁性体で作成された運動装置(図1)において仰臥位となり、主動筋である下腿三頭筋の中央部に³¹P 励起用の表面コイル(直径 80 mm)を固定し、磁気共鳴分光法⁶⁾による測定を安静時および運動中 30 秒ごとに行った(図1)。得られた高エネルギーリン酸スペクトルからクレアチンリン酸および無機リン酸の曲線下面積を測定し、先行研究に基づいて、クレアチンリン酸量を絶対値として算出した。筋細胞内 pH は、クレアチンリン酸と無機リン酸のピークのケミカルシフトの差を用いて算出した^{6,7)}。

5. 統計処理

記述データは、平均±標準偏差で表し、図は、平均±標準誤差で表示した。ベースラインの基礎データにおける群間比較には、対応のない t 検定を用いた。各運動条件におけるクレアチンリン酸および筋細胞内 pH の経時的変化の群間比較は、混合モデル二元配置反復測定分散分析(mixed-model 2-way repeated-measures ANOVA, 群間因子: 性差, 群内因子: 時間)を用いて行った。全例および各群お

ける運動条件間のクレアチンリン酸および筋細胞内 pH の経時的変化の比較は、二元配置反復測定分散分析(2-way repeated-measures ANOVA, 運動条件×時間)を用いて行った。運動条件間あるいは男女間の交互作用が認められた場合は、Bonferroni の多重比較(post-hoc)により検定した。統計学的有意水準は、 $p < 0.05$ とした。すべての検定は、ウンドウズ用統計解析ソフト SPSS(ver 17.0)を用いて行った。

3. 結果

基礎データは、表 1 に示す通りであり、女性の 1-RM は男性に比べて有意に低かったため、各条件における絶対的負荷量は、女性において低値となっている。また収縮期血圧も女性において低値であったため血流制限圧も低くなっている。

骨格筋内エネルギー代謝

図 2 に安静から運動時における骨格筋内クレアチンリン酸の経時的変化を示した。各条件・時間において、男女間の統計学的有意差は見られなかった。図 3 は筋細胞内 pH の経時的変化を示したグラフである。65% 1-RM 条件において、女性における筋細胞内 pH の低下が小さいように見えるが、クレアチンリン酸同様に各条件・時間においても男女間の統計学的有意差はみられなかつ

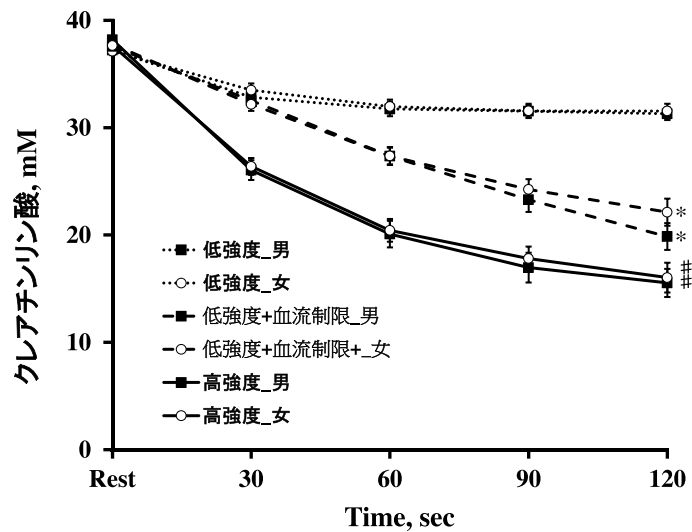


図2. 各運動条件におけるクレアチンリン酸の変化. 各条件において有意な性差は認められなかった. * $p < 0.05$, vs 低強度 (20% 1 RM), # $p < 0.05$, vs 低強度+血流制限. 平均±標準誤差.

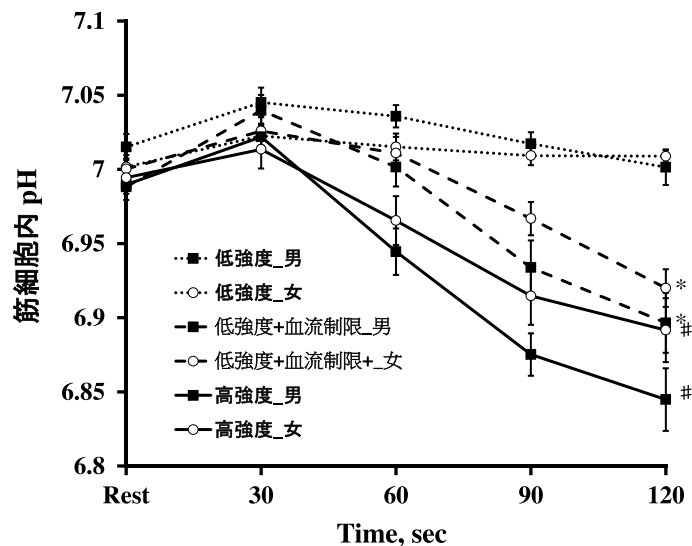


図3. 各運動条件における筋細胞内pHの経時的変化. 各条件において有意な性差は認められなかった. * $p < 0.05$, vs 20% 1 RM, # $p < 0.05$, vs 20% 1-RM+血流制限. 平均±標準誤差.

た。男性、女性同様に血流制限により有意にクレアチンリン酸、筋細胞内 pH の低下は増強したが、高強度負荷には、及んでいなかった。

4. 考察

女性における血流制限下低強度レジスタンス運動の効果を単回の運動におけるエネルギー代謝の変化（代謝的ストレス）によって評価したが、男性と比較して明らかな差はみられなかった。この

ことから、血流制限下低強度レジスタンス運動では、女性においても男性と同等の効果が得られることが示唆された。また血流制限を併用しない低強度負荷条件および高強度負荷条件においても筋内代謝的ストレスの有意な男女差はみられなかったが、筋内 pH については、高強度負荷条件において女性での低下が小さい傾向にあった。このことは、女性ではレジスタンス運動の効果が得られにくいとする過去の報告に合致している。

レジスタンス運動における男女差

これまでの研究で報告されているように女性においてレジスタンス運動の効果が得られにくい理由には、以下の点が挙げられる。1つは、男性と女性の遅筋線維の割合の差である。骨格筋生検により男女の筋線維組成を調べた Staron らの研究では、女性の Type I 線維の割合は男性よりも高いことが示されている⁸⁾。また、Simoneau らの同様の研究においても、遅筋線維の占有率は、男性に比べ女性において有意に高いことが報告されている⁹⁾。速筋線維に比べ遅筋線維は、細く、肥大しにくい⁴⁾。さらに、それらの研究を支持するように、酸化系酵素が、男性に比較して女性が有意に高値を示すことが報告されている¹⁰⁾。女性の Type I 線維の割合や酸化系酵素の高い割合は、女性の筋疲労耐性に繋がり、持久性には有利ではあるが、一方、レジスタンス運動においては、筋への負荷刺激は少なくなり、効果が小さくなることに繋がると推測される。2つ目は、最大筋力の差である。最大筋力の絶対値は、当然、男性の方が女性に比べ明らかに高く、男性の方が高い絶対負荷強度を用いてレジスタンス運動を行うことになる。運動時の筋内圧は、負荷強度に応じて高くなるため、負荷が高くと、血管がより圧排され、血流が悪くなる。従って、特に血流制限を併用しない場合は、絶対筋力が高い男性において、レジスタンス運動時の筋内血流がより障害され、エネルギー代謝が亢進し、効果が得られるやすくなる可能性がある。

本研究において、筋内代謝的ストレスからみたレジスタンス運動中の筋負荷は、男女で同等であり、効果も同等に得られることが示唆された。しかしながら、男女とも提唱されている方法では、高強度に匹敵する負荷には至っていなかった。今後は、さらに有効な方法を確立すべく、プロトコルを変えた検討をしていく必要がある。

付記

本研究の一部は、平成 22 年度ロート製薬女性健康科学研究会により助成を受けて実地された。

[文献]

- 1) Braith RW, Stewart KJ: Resistance exercise training: its role in the prevention of cardiovascular disease. *Circulation*, 2006; 113: 2642-2650.
- 2) Heitmann BL, Frederiksen P: Thigh circumference and risk of heart disease and premature death: prospective cohort study. *BMJ*, 2009; 339:b3292 (online, p1-8).
- 3) Newman AB, Kupelian V, Visser M, et al: Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2006; 61:72-7.
- 4) Kraemer WJ, Ratamess NA: Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 2004; 36:674-688.
- 5) Takarada. Y. Takazawa. H. Sato. Y, et al: Effect of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in human. *J Appl Physiol*, 2008; 88:2097-2106.
- 6) Taylor DJ, Bore PJ, Styles P, et al: Bioenergetics of intact human muscle: A ³¹P nuclear magnetic resonance study. *Mol Biol Med*, 1983; 1:77-94.
- 7) Harris RC, Hultman E, Nordesjö LO: Glycogen, glycolytic intermediates and high-energy phosphates determined in biopsy samples of musculus quadriceps femoris of man at rest. Methods and variance of values: *Scand J Clin Lab Invest*, 1974; 33:109-20.
- 8) Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, et al: Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem*, 2000; 48:623-9.
- 9) Simoneau JA, Bouchard C: Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *Am J Physiol*, 1989; 257(4 Pt 1):E567-72.
- 10) Green HJ, Fraser IG, Ranney DA: Male and female differences in enzyme activities of energy metabolism in vastus lateralis muscle. *J Neurol Sci*, 1984; 65:323-31.