

血流制限下の弾性バンド・トレーニングが高齢者の下肢筋サイズ・安全性に及ぼす影響 ～高齢者に効果的な筋力トレーニング法の開発～

聖隷クリストファー大学 看護学部 准教授

東京大学 医学部附属病院 22世紀医療センター 特任研究員

東京大学 医学部附属病院 22世紀医療センター 特任准教授

安田智洋

福村和也

中島敏明

要旨

本研究では、高齢者を対象として、弾性バンドを利用した血流制限下の低強度レジスタンス・トレーニングをスクワットと膝伸展運動で実施した。その結果、12週間（週2日）のトレーニングによって大腿四頭筋の筋横断面積と最大筋力の増加が観察され、動脈・血管系機能には影響を与えないことが判明した。したがって、血流制限下の弾性バンド・トレーニングは、高齢者や低体力の患者に対して安全を確保しつつ、効果的に下肢の骨格筋肥大を引き起こすことが可能な方法だと考えられた。

背景及び目的

近年、弾性バンドを用いた筋力トレーニングは、リハビリテーション医学や健康増進で幅広く利用されている。弾性バンドは携帯可能で安価なため、高重量のマシンや重りよりも利用しやすい。そのため、在宅で実施する高齢者の筋力トレーニングプログラムとして実用的であり、筋力改善にも有効であるとの報告もある¹⁾。しかし、弾性バンド・トレーニングは一般に低～中強度で実施されるため、骨格筋の肥大にはほとんど効果がない。

近年の研究より、血流制限下で低重量負荷（最大挙上重量の20%-30%）の筋力トレーニング（血流制限トレーニング）を実施すると、年齢によらず骨格筋肥大が可能であることが判明した²⁾。血流制限トレーニングによる骨格筋肥大に対するメカニズムの詳細は明らかではないが、トレーニング中の筋活動量の増加は重要な役割の一つである³⁾。最近、我々は弾性バンドを利用した場合でも、重りを使用したときと同様に血流制限トレーニングで顕著な筋活動量の増加が観察されると報告した⁴⁾。したがって、負荷として弾性バンドを用いた血流制限トレーニングは、最大筋力だけでなく骨格筋肥大の亢進も期待でき、在宅での筋力トレーニングとして有用な手法だと考えられる。

一般に、動脈コンプライアンスの低下や動脈スティフネスの増加は血圧や血流の拍動に関わる動脈の緩衝作用を低下させ、収縮時血圧、左心室肥大、虚血性冠動脈疾患や動脈の圧反射感受性の上昇に関与する⁵⁾。このように、動脈・血管系機能に対する予防や治療は重要である。しかし、高強度筋力トレーニングは若年者や高齢者の動脈コンプライアンスを20-30%低下させるため、高重量負荷のマシンや重りを用いた高強度筋力トレーニングは、高齢者の動脈・血管系機能へ有害な影響を与える可能性がある^{6,7)}。その一方で、低重量負荷のマシンや重りを利用した血流制限トレーニングでは、若年者や高齢者の動脈・血管系機能が改善・維持できる^{8,9)}。そのため、我々は低重量負荷として弾性バンドを用いた血流制限トレーニングは、高齢者の動脈・血管系機能を維持しながら骨格筋の肥大を

誘発することができるとの仮説を立てた。そこで、本研究では血流制限下の弾性バンド・トレーニングが高齢者の下肢筋サイズと安全性に及ぼす影響を調べた。

方法

被験者

下肢の筋力トレーニングを半年以上実施していない健康な女性（61-86歳）30名を対象とした。

実験デザイン

被験者をそれぞれ血流制限群（10名、70±6歳）、中高強度群（10名、72±7歳）または対照群（10名、68±6歳）の3群に無作為に分類し、血流制限群と中高強度群は弾性バンドを用いた筋力トレーニングを12週間（週2日）実施した（図1）。すべての被験者に対し、トレーニング期間の前後に身体的特性、最大筋力、筋横断面積、脈波伝播速度、足関節上腕血圧比および静脈血を検査した。身体的特性を除く全ての測定は両側の代表として右側を対象とした。

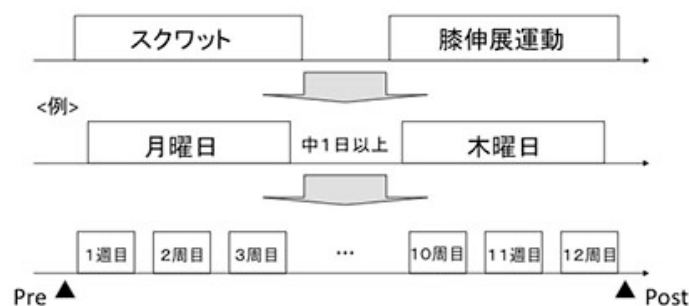


図1 実験の流れ

トレーニング

弾性バンドとしてセラバンド (Hygenic Corporation; Akron, Ohio, USA) を利用した。トレーニング開始1週間前には全員が低強度（通常血流）の条件でトレーニング・プロトコールを実施した。トレーニングで用いたセラバンドは、血流制限群ではスクワットで金 (Max ; +5) 1枚と膝伸展運動で黒 (Special Heavy ; +3) 1枚とし、中高強度群ではそれぞれ金2枚と金1枚とした。スクワットと膝伸展運動のトレーニング（各4セット）では、血流制限群で2種目ともに毎回計75回ずつ、高強度群では2種目ともに毎回計37~38回に設定した。血流制限には専用ベルト（加圧マスター, KAATSU JAPAN社, 東京）を大腿基部に装着（50mmHg）し、空圧式センサーにて120~200mmHgの圧を加え、2種目終了後に速やかに除圧した（図2）。



図2 トレーニングの様子

測定項目

1. 形態計測

形態計測の測定項目は、身長、体重、体脂肪率とした。体重および体脂肪率の測定は、体脂肪計付きヘルスメーター BC610（タニタ，東京）を用いてバイオインピーダンス法によって実施した。

2. 最大筋力

バイオデックス System 3（酒井医療，東京）を用いて等尺性膝伸展筋力を測定した。膝関節角度は80度（最大伸展位：0度）とし、座位姿勢で固定した後、被験者は最大筋力を発揮した。

3. 筋横断面積

大腿四頭筋の筋横断面積は大転子を起点（0%部位）、外側膝関節裂隙を終点（50%部位）と定め、磁気共鳴映像法（magnetic resonance imaging; MRI）法（0.2テスラ，AIRIS，オープンタイプMR装置，日立メディコ，東京）を用い、T1強調画像にて撮像した。得られたMRIデータはパーソナルコンピュータ内に取り込み、専用の画像解析ソフト（sliceOmatic, TomoVision, 東京）を用いて、50%部位における筋横断面積を算出した。

4. 動脈・血管系機能検査

動脈硬化検査の指標として脈波伝播速度と足関節上腕血圧比（VaSeraVS-1500，フクダ電子，東京）を測定した。

5. 凝固線溶系・筋損傷の検査

トレーニング前後の検査で肘正中静脈から静脈血を5ml採取し、フィブリン分解産物、D-ダイマーとクレアチンキナーゼを分析した。

統計処理

各測定項目はすべて平均値±標準偏差で示した。トレーニング条件間の差およびトレーニング効果に関しては、「トレーニング条件（血流制限群、中高強度群、対照群）×時間（Pre、Post）」に関する二元配置の分散分析を行い、有意差が認められた場合にはTukey法を用いてpost-hocテストを行った。危険率5%未満を有意水準とした。

結果

血流制限群、中高強度群と対照群の間で年齢、身長 (152.6±5.8、152.4±5.9 と 157.0±4.6 cm)、体重 (48.3±5.8、48.7±8.1 と 55.0±7.1 kg)、BMI (20.8±2.5、20.9±2.1 と 22.3±2.8 kg/m²) および体脂肪率 (27.9±4.9%、27.3±4.8%と 30.1±6.2%) に有意差は認められなかった。また、トレーニング前後で体重、BMI および体脂肪率に有意な変化は観察されなかった。

最大筋力と筋横断面積の変化を図3・4に示した。等尺性膝伸展筋力は血流制限群と中高強度群で有意な増加 (p<0.05) を示したが、対照群では変化が観察されなかった (図3)。また、大腿四頭筋の筋横断面積は血流制限群で有意な増加 (p<0.01) を示したが、中高強度群と対照群では変化が観察されなかった (図4)。

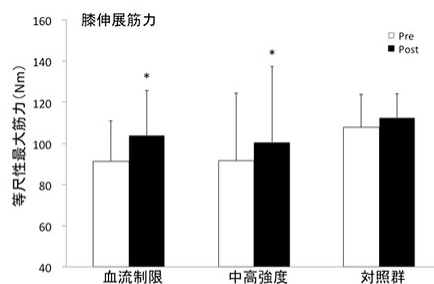


図3 トレーニング前後の最大膝伸展筋力

*p<0.05, Pre vs. Post

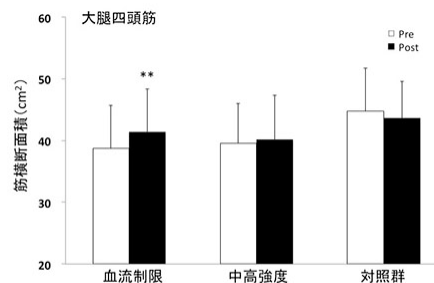


図4 トレーニング前後の大腿四頭筋の横断面積

**p<0.01, Pre vs. Post

動脈・血管機能系、凝固系と筋損傷の変化を表1に示した。3群とも、安静時心拍数、血圧、脈波伝播速度、足関節上腕血圧比、フィブリン分解産物、D-ダイマーとクレアチンキナーゼの値には有意な変化が観察されなかった。

表1 トレーニング前後の動脈・血管機能系、凝固系と筋損傷

	血流制限群		中高強度群		対照群	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
安静時心拍数, 拍/分	67 (17)	65 (11)	65 (7)	67 (7)	64 (4)	62 (6)
収縮期血圧, mmHg	132 (20)	125 (26)	130 (18)	125 (18)	125 (10)	120 (12)
拡張期血圧, mmHg	78 (11)	75 (26)	81 (8)	78 (9)	79 (8)	79 (8)
脈波伝播速度, m/秒	8.4 (0.9)	8.5 (0.8)	8.4 (0.9)	8.5 (0.8)	8.3 (0.8)	8.4 (0.7)
足関節上腕血圧比, unit	1.14 (0.06)	1.15 (0.04)	1.11 (0.05)	1.11 (0.08)	1.11 (0.06)	1.12 (0.05)
フィブリン分解産物, $\mu\text{g/dl}$	3.2 (1.0)	3.6 (2.1)	4.1 (1.9)	5.0 (3.6)	3.2 (0.9)	2.7 (0.9)
D-ダイマー, $\mu\text{g/dl}$	0.40 (0.19)	0.54 (0.29)	0.24 (0.18)	0.34 (0.11)	0.21 (0.08)	0.38 (0.15)
クレアチンキナーゼ, U/L	109 (70)	91 (25)	93 (31)	99 (41)	130 (55)	95 (24)

考察

本研究では、12週間のトレーニングプログラム（スクワットと膝伸展運動）を実施し、血流制限下の弾性バンド・トレーニングが高齢者の筋サイズ、最大筋力および安全性へ及ぼす影響を検討した。その結果、血流制限群では動脈ステイフネス等の生体への安全性が確保されたままで顕著な骨格筋の肥大と最大筋力の増加が生じることが明らかとなった。

本研究では、12週間のトレーニング後に中高強度群は筋横断面積の変化を示さなかったが、血流制限群では大腿四頭筋の筋横断面積が7.2%の増加を示した。これは同じトレーニング条件（12週間、週2回）で高齢者を対象とし、低重量負荷のマシンを利用した血流制限トレーニングによる増加（8%）とほぼ同等である⁹⁾。したがって、血流制限トレーニングは、弾性バンドを用いた場合でも高齢者の下肢骨格筋を十分に肥大させることができると判明した。このトレーニング方法はマシンや重りを必要としないため、ベッドサイドでも実施することができ、急性期病床の患者に対する廃用性筋萎縮の予防・治療としても大きな効果が期待できると考えられる。

先行研究では、弾性バンド・トレーニングは安全が確保され、慢性疾患の悪化や怪我の危険性も低いことが報告されている¹⁾。本研究では、予定した運動回数のトレーニングを遂行できなかった者や実験の脱落者はいなかった。また、トレーニング前後の血行動態（心拍数と血圧）、動脈ステイフネス、血管内皮機能、凝固線溶マーカーや筋損傷は本研究でも変化が観察されなかった。したがって、血流制限下の弾性バンド・トレーニングは高齢者の動脈・血管系機能・安全性を確保することができるため、低体力レベルの高齢者やリハビリ患者が臨床・在宅で実施する場合も循

環器へのリスクは極めて低いと考えられる。

【謝辞】

本研究に助成いただいた公益財団法人中富健康科学振興財団ならびに関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Mikesky A, Topp R, Wigglesworth J, Harsha DM, Edwards J. Efficacy of a home based training program for older adults using elastic tubing. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 69: 316-320, 1994.
- 2) Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, Koizumi K, Ishii N. Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily “KAATSU” resistance training. *International Journal of Kaatsu Training Research* 1: 6-12, 2005.
- 3) Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaud RS, Abe T. Effects of low-intensity blood flow restricted concentric or eccentric training on muscle size and strength. *PLOS ONE* 12: e52843, 2012.
- 4) Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Iida H, Imuta H, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T. Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24: 55-61, 2014.
- 5) Monahan KD, Tanaka H, Dinunno FA, Seals DR. Central arterial compliance is associated with age- and habitual exercise-related differences in cardiovagal baroreflex sensitivity. *Circulation* 104: 1627-1632, 2001.
- 6) Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KL, Tanaka H. Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension* 41: 130-135, 2003.
- 7) Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, Tabata I, Tanaka H. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation* 110: 2858-2863, 2004.
- 8) Ozaki H, Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki-Sunaga M, Naito H, Abe T. Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *European Journal of Applied Physiology* 113: 167-174, 2013.
- 9) Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Uchida Y, Iida H, Meguro M, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T (2014): Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24: 799-806, 2014.