

## 血流制限下のセラバンド・トレーニングが高齢者の筋肥大、 筋力増加および安全性に及ぼす影響

安田 智洋\* 中島 敏明\*

### EFFECTS OF THERA-BAND TRAINING COMBINED WITH BLOOD FLOW RESTRICTION ON MUSCLE SIZE, MUSCLE STRENGTH, AND SAFETY IN OLDER ADULTS

Tomohiro Yasuda and Toshiaki Nakajima

#### SUMMARY

**Background:** Recently, we reported that blood flow-restricted (BFR) training using elastic bands for resistance may be an effective home-based resistance training program for promoting muscle hypertrophy. However, the effects of elastic band resistance training with BFR on muscle size and arterial function remain poorly understood.

**Purpose:** To examine the effects of low-load, elastic band resistance training with BFR on muscle size and arterial stiffness in older adults.

**Methods:** Healthy older adults (ages 61-85 years) were randomly divided into BFR resistance training (BFR-T, n = 9) or non-BFR resistance training (CON-T, n = 8) groups. Both groups performed low-load arm curl and press down exercises (four sets, respectively) using yellow or green bands (Thera-Band), 2 days/week for 12 weeks. The BFR-T group wore elastic cuffs (width: 30 mm) around the most proximal regional of both upper arms during training, with incremental increases in external compression starting at 120 mmHg and ending at 270 mmHg. Observations before (pre) and 3-7 days after (post) the final training session were: MRI-measured muscle cross-sectional area for upper arm (CSA), maximum voluntary isometric contraction (MVC), cardio-ankle vascular index testing (CAVI), ankle-brachial pressure index (ABI).

**Results:** Elbow flexion and elbow extension MVC (7.8% and 16.1%) were increased ( $P < 0.05$ ) in the BFR-T group, but not in the CON-T group. In CAVI and ABI testing, there were no changes between pre- and post- results in both the BFR-T.

**Conclusion:** In conclusion, low-load, elastic band resistance training with BFR improves muscle CSA as well as maximal muscle strength, but does not negatively affect arterial stiffness in older adults.

Key words: vascular occlusion, low-load, elastic band, muscle hypertrophy, arterial stiffness.

#### 緒 言

加齢に伴う筋量および筋力の低下（サルコペニア）は、歩行能力を低下させ、糖尿病・骨粗鬆症・心臓病の危険性を高める<sup>6,17)</sup>。高強度筋力トレ

ニング（HI-T）は、高齢者の筋肥大を引き起こし、インスリン抵抗性や2型糖尿病に対して有効な手法であるため、高齢者のサルコペニア対策・予防としての効果が期待できる<sup>4,5)</sup>。しかし、高重量負荷のマシンや重りを用いた HI-T は運動器や循環

\* 東京大学大学院医学系研究科22世紀医療センター Graduate School of Medicine, University of Tokyo, Tokyo, Japan.

器に障害をもたらす危険性を含んでおり、実用的でない。そのため、生体に強い負荷をかけずに筋サイズや筋機能を改善するトレーニング方法の開発が急務とされていた。

近年、セラ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<sup>15,23)</sup>。セラ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<sup>8)</sup>。このように、セラバンド・トレーニングはHI-Tを代替する可能性が指摘されている<sup>3)</sup>。しかし、セラバンド・トレーニングは一般に低～中強度で実施されるため、筋肥大にはほとんど効果がないと報告されている<sup>3,8)</sup>。

近年の研究で、血流制限下で低重量負荷（最大挙上重量（1RM）の20～30%）の筋力トレーニング（BFR-T）を実施すると、年齢によらず筋肥大が可能であることが判明した<sup>1,16)</sup>。BFR-Tによる筋肥大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1つである<sup>18,19,22)</sup>。最近、我々はセラ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BFR-Tで顕著な筋活動量の増加が観察されると報告した<sup>20)</sup>。したがって、負荷としてセラバンドを用いたBFR-Tは、筋力だけでなく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イフネスの増加は血圧や血流の拍動にかか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<sup>11,13)</sup>。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、HI-T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HI-T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として指摘されている<sup>9,10)</sup>。その一方で、低重量負荷のマシンや重りを利用したBFR-Tでは、若年者や高齢者の動脈・血管系機能が改善・維持すると報告され

ている<sup>14,20)</sup>。そのため、我々は低重量負荷としてセラバンドを用いたBFR-Tは、高齢者の動脈・血管系機能を維持しながら筋肥大を誘発することができるかと仮説を立てた。そこで、本研究では血流制限下のセラバンド・トレーニングが高齢者の筋肥大、筋力増加と安全性に及ぼす影響を調べた。

## 研究方法

### A. 被験者

半年以上筋力トレーニングを実施していない健康な男女（61～85歳）17名を対象とした。医師の問診により、重症高血圧、整形外科的傷害、深部静脈血栓症、末梢血管疾患、または認知機能障害を有する者がいないことを確認した。また、被験者は慢性疾患、身体診断、化学的・血液学的評価で問題がなかった。被験者には事前に研究の目的および測定内容を文書および口頭で十分に説明し、文書での研究参加の同意を得た。本研究は東京大学医学部の倫理委員会の承認を受けて実施された（承認番号：3681）。

### B. 実験デザイン

被験者をそれぞれBFR-T（男性2名と女性7名、平均年齢：71.8 ± 6.2歳）または対照群（CON-T、男性1名と女性7名、平均年齢：68.0 ± 5.1歳）に無作為に分類し、両群ともセラ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。トレーニング前（1～2週間）・後（3～7日）・トレーニング終了12週間後（デイトレーニング；DT）に身体的特性（体重と体脂肪率）、肘関節屈曲・伸展の等尺性最大筋力（maximum voluntary contraction; MVC）、上腕屈筋群・伸展筋群の筋横断面積（cross-sectional area; CSA）、脈波伝播速度（cardio-ankle vascular index; CAVI）、足関節上腕血圧比（ankle brachial pressure index; ABI）、血流依存性血管拡張反応（flow-mediated dilatation; FMD）および静脈採血（フィブリン分解産物〔fibrin degradation product; FDP〕、D-ダイマー〔D-dimer〕とクレアチンキナーゼ〔creatinase; CK〕）を検査した。両腕で同様のトレーニングをしており、検査および分析にかかる費用・時間の削減のため、身体的特性を除くすべての測定は両側の代表として右側を対象とした。

### C. トレーニング

セラバンドは強度が色分けしてあり、赤 (medium) を強度 0 とし、強いほうに 5 段階 (+5 まで)、弱いほうに 2 段階 (-2 まで) の計 8 段階に分類されている。トレーニング開始 1 週間前には全員が CON-T の条件でトレーニング・プロトコル<sup>20-22)</sup> を実施し、先行研究<sup>21)</sup> に準ずる主観的運動強度 (ratings of perceived exertion; RPE) が 14 以下になる強度のセラバンドを選択した。トレーニングで用いたセラバンド (Hygenic Corporation, Akron, Ohio, USA) は、男性が緑色 (Heavy: +1)、女性が黄色 (Thin: -1) とし、肘関節屈曲 (アームカール)・伸展 (プレスダウン) 運動を各種目 4 セット (30, 15, 15, 15 回) ずつ実施した (図 1)。トレーニング中のテンポはデジタルメトロノーム DM-100 (セイコー, 東京) を用いて 2.4 秒に 1 回 (短縮性: 伸張性運動 = 1.2 : 1.2 秒) とし<sup>21)</sup>、種目間とセット間の休息は 90 秒と 30 秒とした (図 2)。トレーニングは、加圧トレーニングの資格をもった専門家の元で実施した。血流制限には専用ベルト (加圧マスター, サトウスポーツプラザ, 東京) を上腕基部に装着 (30 mmHg) し、空圧式センサーにて 160~270 mmHg の圧を加え、2 種目終了後

速やかに除圧した<sup>21)</sup>。

### D. 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. MVC

アイソメトリック筋力計 (大陽工業, 東京) を用いて肘関節屈曲・伸展の MVC を測定した。肘関節角度は 90 度 (最大伸展位: 0 度) とし、座位姿勢で固定した。測定は 2 回実施し、高い値を MVC として採用した<sup>18,19,22)</sup>。

#### 3. CSA

上腕の CSA は肘頭を起点、肩峰を終点と定め、磁気共鳴映像 (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 (繰り返し時間: 500 msec, エコー時間: 23 msec, スライス幅: 1.0 cm, スライス間ギャップ: 0 cm) 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

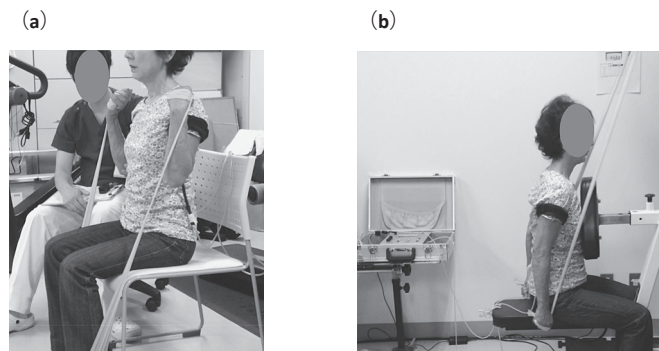


図 1. トレーニングの様子

Fig.1. Illustrations show the body position used for exercises. Arm curl (a) and press down exercises (b) were performed with an Thera-Band.

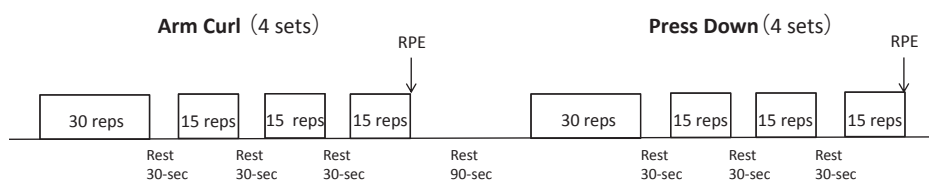


図 2. トレーニングのスケジュール

Fig.2. Training timeline.

RPE = ratings of perceived exertion.

て、上腕屈筋群（肘関節より6 cm上の画像）と上腕伸筋群（肘関節より16 cm上の画像）の筋腹におけるCSAを算出した<sup>22)</sup>。

#### 4. 動脈・血管系機能検査

動脈硬化検査指標としてCAVIとABI (VaSera-VS-1500, フクダ電子, 東京) を用いた。測定は仰臥位にて10分の安静後に両上腕部および足関節部に血圧測定カフ、第2肋骨胸骨上に心音マイク、両前腕に心電電極を装着して実施した。血管内皮機能は右上腕動脈における駆血解除後の反応性充血時のFMDを高解像度超音波法 (UNEX EF, ユネクス, 名古屋) で測定した。

#### 5. 凝固線溶系・筋損傷の検査

血流制限下でのトレーニングによって血栓のリスクや筋損傷が上昇するかを調べるため、トレーニング前後の検査で肘正中静脈から静脈血を5 ml採取し、FDP、D-dimerとCKを分析した。

#### 6. 相対運動強度

各種目の相対的運動強度を測定するため、上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋腹に双極性の表面電極 (Vitrode F, 日本光電, 東京) を貼付し、肘関節屈曲・伸展のMVC発揮時の筋活動とセラバンドを用いたアームカールおよびプレスダウン運動 (5回ずつ) 中の筋活動を計測した。得られたデータからそれぞれの積分筋電図を算出し (LabChart 7, ADInstruments, 東京)、2種類の相対運動強度を% MVCで評価した。被験者のなかにはトレーニング動作に慣れる (主働筋を効果的に活動させる) までに時間を要する者も観察されたため、こ

の測定は被験者がトレーニング動作に十分慣れた23回目のトレーニング直前に実施した。

#### 7. 主観的運動強度

トレーニング中の疲労度を評価するため、トレーニングごとに運動終了直前のRPEを記録した<sup>2)</sup>。2種目ともトレーニング24回の平均値を1つのデータとして算出した。

#### E. 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 (BFR-T, CON-T) × 時間 (Pre, Post, DT)」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。解析にはJMP Pro Ver. 9.0 for Macを用い、危険率5%未満を有意水準とした。

## 結 果

#### A. 被験者の身体的特徴

BFR-TとCON-Tの間で年齢 ( $71.8 \pm 6.2$ と $68.0 \pm 5.1$ 歳)、身長 ( $159.7 \pm 10.8$ と $155.1 \pm 6.7$  cm)、体重 ( $51.7 \pm 11.4$ と $52.8 \pm 8.0$  kg)、BMI ( $20.1 \pm 2.2$ と $22.0 \pm 3.0$  kg/m<sup>2</sup>) および体脂肪率 ( $24.2 \pm 5.1\%$ と $28.3 \pm 4.8\%$ ) に有意差は認められなかった。また、トレーニング前後およびディトレーニングで体重、BMIおよび体脂肪率に有意な変化は観察されなかった。

#### B. トレーニング中の相対的運動強度とRPE

積分筋電図を用いた相対的運動強度は、2種目

表1. 2種類の相対的運動強度と主観的運動強度  
Table 1. Relative exercise intensity and ratings perceived exertion during two exercises.

	BFR-T		CON-T	
	Mean (± SD)	Range	Mean (± SD)	Range
Relative exercise intensity, %MVC				
Arm curl	26.7 (11.1)	13.8-44.9	28.8 (6.7)	17.8-40.4
Press down	30.8 (12.3)	17.2-53.3	30.3 (7.9)	21.7-45.1
Ratings perceived exertion				
Arm curl	14 (2) **	11-18	12 (1)	11-13
Press down	14 (2) **	11-17	11 (0)	10-12

BFR-T = BFR resistance training, CON-T = non-BFR resistance training, MVC = maximum voluntary contraction. \*\* $P < 0.01$ , BFR-T versus CON-T.

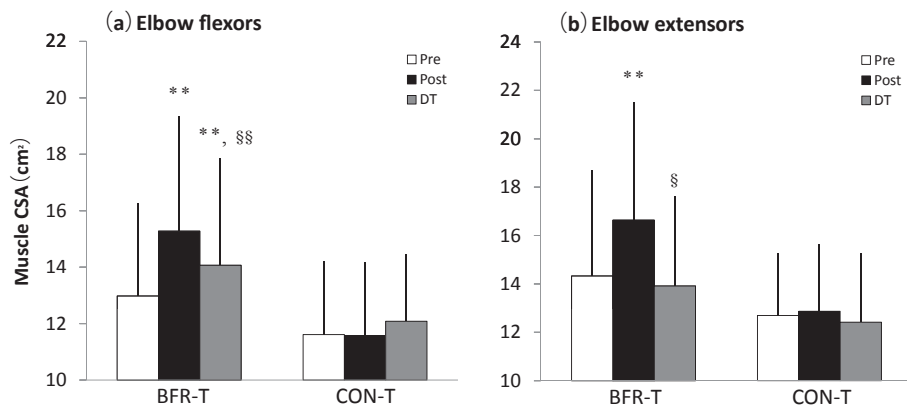


図3. トレーニングおよびデイトレーニングと上腕屈筋群・伸筋群の筋横断面積  
 Fig.3. Cross-sectional area (CSA) of the elbow flexors (a) and extensors (b) at pre-training (Pre), post-training (Post), and detraining period (DT). Values are means and SD. \*\*Different from pre-training,  $P < 0.01$ , §§ Different from post-training,  $P < 0.01$ , § Different from post-training,  $P < 0.05$ .

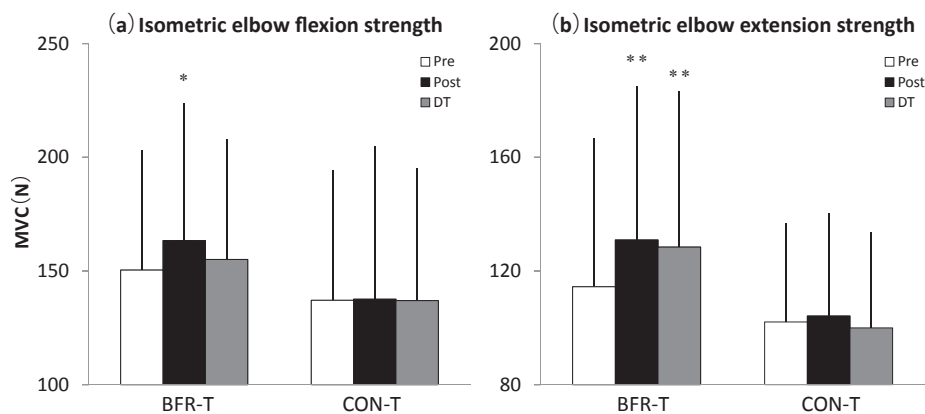


図4. トレーニングおよびデイトレーニングと肘関節屈曲・伸展の等尺性最大筋力  
 Fig.4. Maximum isometric strength (MVC) of the elbow flexors (a) and extensors (b) at pre-training (Pre), post-training (Post), and detraining period (DT). Values are means and SD. \*\*Different from pre-training,  $P < 0.01$ .

表2. トレーニング後およびデイトレーニング後の動脈機能、凝固系と筋損傷の変化  
 Table 2. Changes in arterial function, coagulation system and muscle damage after training period (post) and detraining period (DT).

	BFR-T			CON-T		
	Pre	Post	DT	Pre	Post	DT
Heart rate, bpm	68 (19)	67 (10)	66 (12)	63 (11)	60 (6)	65 (7)
Systolic BP, mmHg	135 (16)	134 (20)	138 (20)	127 (17)	120 (9)	122 (7)
Diastolic BP, mmHg	81 (9)	82 (9)	83 (12)	80 (11)	77 (8)	81 (8)
CAVI, m/sec	8.9 (1.2)	9.2 (1.1)	8.9 (1.0)	8.5 (0.7)	8.2 (0.8)	8.4 (0.6)
ABI, unit	1.17 (0.07)	1.14 (0.09)	1.14 (0.09)	1.10 (0.10)	1.10 (0.09)	0.99 (0.34)
FMD, %	3.6 (2.1)	4.3 (3.1)	4.7 (2.0)	4.3 (1.6)	3.5 (2.0)	4.0 (1.6)
FDP, $\mu\text{g}/\text{dl}$	2.9 (0.9)	3.7 (1.1)	3.6 (0.9)	2.9 (0.4)	3.0 (0.8)	3.1 (1.4)
D-dimer, $\mu\text{g}/\text{dl}$	0.2 (0.1)	0.3 (0.1)	0.3 (0.1)	0.2 (0.1)	0.3 (0.2)	0.3 (0.2)
CK, IU/l	186 (247)	112 (44)	199 (277)	91 (52)	88 (38)	91 (41)

Data are given as mean ( $\pm$ SD). BFR-T = BFR resistance training, CON-T = non-BFR resistance training, BP = blood pressure, CAVI = cardio-ankle vascular index, ABI = ankle-brachial pressure index, FMD = flow-mediated dilation, FDP = fibrin/fibrinogen degradation products, CK = creatine kinase.

とも BFR-T と CON-T の間で有意差は認められなかった。また、アームカールとプレスダウンの RPE は、2 種目とも BFR-T が CON-T よりも有意に高い値を示した (表 1)。

### C. 筋サイズおよび筋力の変化

12週間の筋力トレーニングおよびディトレーニング (DT) による筋サイズと筋力の変化を図 3・4 に示した。BFR-T の上腕屈筋群 CSA は Post と DT (Pre  $13.0 \pm 3.3$ , Post  $15.3 \pm 4.1$ , DT  $14.1 \pm 3.8$   $\text{cm}^2$ ) で有意な高値を示し、上腕伸筋群 CSA は Post で有意な高値を示したが、DT は Post より有意に低かった (Pre  $14.3 \pm 4.4$ , Post  $16.6 \pm 4.9$ , DT  $13.9 \pm 3.7$   $\text{cm}^2$ )。また、BFR-T の肘関節屈伸 MVC は Post と DT で有意な高値を示し (Pre  $114 \pm 52$ , Post  $131 \pm 54$ , DT  $128 \pm 55$  N)、肘関節屈曲 MVC は Post で有意な高値を示したが、DT は違いが観察されなかった (Pre  $150 \pm 53$ , Post  $163 \pm 61$ , DT  $155 \pm 53$  N)。一方、CON-T の上腕屈筋群 CSA (Pre  $11.6 \pm 2.6$ , Post  $11.6 \pm 2.6$ , DT  $12.1 \pm 2.4$   $\text{cm}^2$ )・上腕伸筋群 CSA (Pre  $12.7 \pm 2.6$ , Post  $12.9 \pm 2.8$ , DT  $12.4 \pm 2.9$   $\text{cm}^2$ ) および肘関節屈筋 MVC (Pre  $137 \pm 57$ , Post  $138 \pm 67$ , DT  $137 \pm 58$  N)・肘関節屈伸 MVC (Pre  $102 \pm 35$ , Post  $104 \pm 36$ , DT  $100 \pm 34$  N) はいずれの項目も有意な変化が観察されなかった。

### D. 安全性の変化

12週間の筋力トレーニング後およびディトレーニング後の動脈・血管機能系、凝固系と筋損傷の変化を表 2 に示した。両群とも、実験を通じて安静時心拍数、血圧、CAVI、ABI、FMD、FDP、D-dimer と CK の値に有意な変化は観察されなかった。

## 考 察

本研究では、12週間のトレーニングプログラム (低重量負荷のアームカールとプレスダウン) を実施し、血流制限下のセラバンド・トレーニングが高齢者の筋肥大、筋力増加および安全性へ及ぼす影響を検討した。その結果、BFR-T 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筋肥大と筋力増加が生じることが明らかとなった。

### A. 筋肥大・筋力増加

本研究では、12週間のトレーニング後に CON-T は筋サイズの変化を示さなかった。一方、BFR-T では上腕屈筋群 CSA が 0.73%/回 (トレーニング 24 回で 17.6%) の増加率を示し、これは高齢者を対象として HI-T (80% 1 RM, 0.47%/回) および BFR-T (30-50% 1 RM, 0.59%/回) を実施した先行研究よりも大きな変化であった<sup>16)</sup>。また、肘関節屈曲 MVC の増加率 (0.33%/回) は、先行研究の HI-T (0.39%/回) および BFR-T (0.32%/回) と同等であった<sup>16)</sup>。したがって本研究の結果から、セラバンドを用いた BFR-T は、HI-T または重りを用いた BFR-T と同様、高齢者の筋肥大・筋力増加に対して効果的であることがわかった。このトレーニング方法は高重量のマシンや重りを必要としないため、高齢者は在宅でサルコペニアの予防・治療が可能となる。更に、ベッドサイドでも実施できるため、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。

### B. 筋肥大を誘発する生理的メカニズム

最近の研究で、我々は血流制限下のセラバンド・トレーニングは、運動中に主働筋の筋活動量を増加させ、運動後は代謝産物 (乳酸など) の蓄積を引き起こすと報告した<sup>21)</sup>。一般に、代謝産物の蓄積は筋の膨張 (swelling) 増加を誘発するため、血流制限下のセラバンド・トレーニングは、筋の swelling 反応を引き起こし、トレーニング効果として筋肥大・筋力増加を示すと推察されている<sup>7)</sup>。

我々は最近、短縮性収縮の BFR-T は伸張性収縮に比べて顕著な swelling を示し、筋肥大に有効であると確認した<sup>22)</sup>。また、高齢者やリハビリ患者の筋力トレーニングを想定した場合、伸張性トレーニングでは、筋損傷や遅発性筋痛を誘発し、その後の日常生活動作に支障をきたすため、転倒などへの注意も必要となる。セラバンドでは短縮性収縮で大きな抵抗負荷を示すようにも調整できるため、伸張性収縮に伴うデメリットは低く抑えられ、大きな筋肥大を引き起こすことが可能だと考えられる。

### C. 動脈・血管系機能・安全性への影響

先行研究では、セラバンド・トレーニングは安

全性が確保され、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<sup>8,23)</sup>。そのため、低体力レベルの高齢者や患者を対象にセラバンドを用いた在宅での筋力トレーニングは広く利用されている<sup>3,8,23)</sup>。本研究では、先行研究のBFR-Tと同程度の筋疲労（トレーニング2種目の終盤で観察されるRPE）を引き起こすようにトレーニングを実施し、結果的にマシンや重りを用いたBFR-Tよりも高い圧迫強度（180~270 mmHg）を適用することになった。しかし、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もいなかった。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、血流制限下のセラバンド・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。

#### D. デイトレーニングの観察

トレーニング終了12週間後にも Pre および Post と同様の検査を実施し、デイトレーニングの影響を検討した。その結果、動脈・血管系機能・安全性への影響は両群ともにすべての項目で変化が観察されず、トレーニング後も生体への安全性が確保されていたことを確認した。また、BFR-Tの上腕屈筋群 CSA と肘関節伸展 MVC は、トレーニング12週間後も Pre より有意な高値を示しており、トレーニング効果が12週間後も残存することがわかった。したがって、重量負荷を用いた場合<sup>12)</sup>と同様に、セラバンドを用いたBFR-Tでも、デイトレーニング後は筋サイズ・筋力が一定期間残存すると判明した。

### 総 括

本研究では、高齢者を対象として、セラバンドを利用した血流制限下の低強度レジスタンス・トレーニングをアームカールとプレスダウン運動で実施した。その結果、12週間（週2日）のトレーニングによって上腕屈筋・伸筋群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、血流制限下のセラバンド・トレーニングは、高齢者や低体力の患者に対して安全性を確保し、効果的に筋肥大を引き起こすことが可能な方法だと考えられた。血流制限下のトレーニングを実施する場合、現在は指導資格をもったトレーナーの元に通うか、自分の特徴に適合するベルトを専門店で購入し調整する必要があるため、高齢者が自宅で手軽に行うことは難しい。血流制限下のトレーニングが在宅で安全・手軽に適応されるためには、この点の改善・発展が期待される。

### 謝 辞

本研究に助成いただいた公益財団法人明治安田厚生事業団に深く感謝申し上げます。また、本研究を遂行するにあたり、ご協力いただきました東京大学の正宗賢准教授、福村和也特任研究員、内田祐介特任研究員、飯田陽子特任研究員、蘭牟田宏之特任研究員、興日登美技術補佐員ならびに被験者の皆様に厚くお礼申し上げます。

### 参 考 文 献

- 1) Abe T, Yasuda T, Midorikawa T, Sato Y, Kearns CF, Inoue K, Koizumi K, Ishii N (2005): Skeletal muscle size and circulating IGF-1 are increased after two weeks of twice daily "KAATSU" resistance training. *Int J Kaatsu Training Res*, **1**, 6-12.
- 2) Borg GA (1973): Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, **14**, 377-381.
- 3) Colado JC, Triplett NT (2008): Effects of a short-term resistance program using elastic bands vs. weight machines for sedentary middle-aged women. *J Strength Cond Res*, **22**, 1441-1448.
- 4) Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ (1990): High-intensity strength training in nonagenarians. Effects on skeletal muscle. *JAMA*, **263**, 3029-3034.
- 5) Frontera WR, Meredith CN, O'Reilly KP, Knuttgen HG, Evans WJ (1988): Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J Appl Physiol*, **64**, 1038-1044.
- 6) Guillet C, Boirie Y (2005): Insulin resistance: a contributing factor to age-related muscle loss? *Diabetes Metab*, **31**, 5S20-5S26.
- 7) Loenneke JP, Fabs CA, Rossow LM, Abe T, Bemben MG (2012): The anabolic benefits of venous blood flow restriction training may be induced by muscle cell swelling. *Med Hypotheses*, **78**, 151-154.
- 8) Mikesky A, Topp R, Wigglesworth J, Harsha DM, Edwards

- J (1994): Efficacy of a home based training program for older adults using elastic tubing. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, **69**, 316-320.
- 9) Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, Takahashi K, Gates PE, Moreau KL, Tanaka H (2003): Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension*, **41**, 130-135.
  - 10) Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, Takahashi K, Hayashi K, Yamazaki K, Tabata I, Tanaka H (2004): Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*, **110**, 2858-2863.
  - 11) Monahan KD, Tanaka H, Dinunno FA, Seals DR (2001): Central arterial compliance is associated with age- and habitual exercise-related differences in cardiovagal baroreflex sensitivity. *Circulation*, **104**, 1627-1632.
  - 12) Nielsen JL, Aagaard P, Bech RD, Nygaard T, Hvid LG, Wernbom M, Suetta C, Frandsen U (2012): Proliferation of myogenic stem cells in human skeletal muscle in response to low-load resistance training with blood flow restriction. *J Physiol*, **590**, 4351-4361.
  - 13) O'Rourke M (1990): Arterial stiffness, systolic blood pressure, and logical treatment of arterial hypertension. *Hypertension*, **15**, 339-347.
  - 14) Ozaki H, Yasuda T, Ogasawara R, Sakamaki-Sunaga M, Naito H, Abe T (2013): Effects of high-intensity and blood flow-restricted low-intensity resistance training on carotid arterial compliance: role of blood pressure during training sessions. *Eur J Appl Physiol*, **113**, 167-174.
  - 15) Ribeiro F, Teixeira F, Brochado G, Oliveira J (2009): Impact of low cost strength training of dorsi- and plantar flexors on balance and functional mobility in institutionalized elderly people. *Geriatr Gerontol Int*, **9**, 75-80.
  - 16) Takarada Y, Nakamura Y, Aruga S, Onda T, Miyazaki S, Ishii N (2000): Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion. *J Appl Physiol*, **88**, 61-65.
  - 17) Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, Harris TB (2002): Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc*, **50**, 897-904.
  - 18) Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Shirakawa J, Sato Y, Abe T (2009): Muscle activation during low-intensity muscle contractions with restricted blood flow. *J Sports Sci*, **27**, 479-489.
  - 19) Yasuda T, Brechue WF, Fujita T, Sato Y, Abe T (2008): Muscle activation during low-intensity muscle contractions with varying levels of external limb compression. *J Sports Sci Med*, **7**, 467-474.
  - 20) Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Uchida Y, Iida H, Meguro M, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T (2013): Muscle size and arterial stiffness after blood flow-restricted low-intensity resistance training in older adults. *Scand J Med Sci Sports*, [Epub ahead of print].
  - 21) Yasuda T, Fukumura K, Fukuda T, Iida H, Imuta H, Sato Y, Yamasoba T, Nakajima T (2013): Effects of low-intensity, elastic band resistance exercise combined with blood flow restriction on muscle activation. *Scand J Med Sci Sports*, **24**, 55-61.
  - 22) Yasuda T, Loenneke JP, Thiebaut RS, Abe T (2012): Effects of low-intensity blood flow restricted concentric or eccentric training on muscle size and strength. *PLoS One*, **12**, e52843.
  - 23) Zion AS, De Meersman R, Diamond BE, Bloomfield DM (2003): A home-based resistance-training program using elastic bands for elderly patients with orthostatic hypotension. *Clin Auton Res*, **13**, 286-292.