

## 研究報告

## 血流制限を併用した低強度筋力トレーニングの効果と血管機能への影響

沖田 孝一 (北翔大学生涯学習システム学部 健康プランニング学科)  
 森田 憲輝 (北海道教育大学 教育学部 岩見沢校)  
 村上 猛 (さっぽろ健康スポーツ財団)  
 堀内 雅弘 (Temple University)  
 佐々木 浩子 (北翔大学 人間福祉学部 福祉心理学科)  
 絹川 真太郎 (北海道大学 医学部 医学科)

## 抄 録

運動が健康増進に役立つことは言うまでもなく、血管機能が有酸素トレーニングによって改善することは、多数報告されてきた。一方、筋力トレーニングについては、高強度負荷を用いた従来の方法では、動脈硬化を悪化させる可能性が報告されている。本研究では、近年注目されている血流制限を併用した筋力トレーニングの骨格筋への効果と血管機能に及ぼす影響について検討した。運動習慣のない健常男子学生14名において、独自に考案した装置を用いた右下肢における仰臥位足関節底屈運動を行った。運動強度は、同運動における最大挙上重量の20%を用い、トレーニング・プロトコルは、毎分30回、2分間(60収縮)の同運動を1セットとし、2セット、1日2回、週3回、4週間継続した。血流制限は、空気圧式カフを用いて、安静時収縮期血圧の1.3倍の値を用いて行った。血流制限を併用した低強度筋力トレーニングにより、筋量および筋力が有意に増加した。また血管への影響としては、トレーニング対象肢の収縮期血圧、トレーニング側のABI値を有意に低下させた。これら結果から、血流制限を併用した低強度筋力トレーニングは、有効な骨格筋への効果とともに血管機能を改善する可能性が示唆された。

キーワード：レジスタンス運動，筋肥大，血管機能，血流制限

## はじめに

動脈硬化は、加齢および高血圧、脂質異常症、糖尿病、酸化ストレス、炎症、免疫異常、血管内皮機能低下など多数の危険因子が複合的に引き起こす病態である<sup>1-4)</sup>。高齢化社会となったわが国においては、動脈硬化を基盤に発症する心血管疾患や脳血管疾患などの循環器疾患は、悪性新生物に次ぐ死因となっている。国民の健康増進、健康寿命の延長のためには、動脈硬化に着目した予防あるいは改善方法を考えることは非常に重要である。動脈硬化は、血管の形態的および機能的異常の複合した病態であるが、初期の病態は、血管の機能異常が先行するため、その指標は臨床的に有用である<sup>4)</sup>。

運動が健康増進に役立つことは言うまでもなく、血管機能が有酸素運動によって改善することは、多数報告されてきた<sup>5)6)</sup>。一方、筋力トレーニングが動脈硬化に与える影響については、一定のコンセンサスはなかった

が、最近、高強度負荷を用いた従来の方法では、動脈硬化を悪化させる可能性があるとの知見が報告され、軽視できない警鐘となっている<sup>7)8)</sup>。

近年、低強度筋力トレーニングに血流制限を併用することで、高強度負荷と同等のトレーニング効果(筋肥大・筋力増加)が得られることが報告された<sup>9)</sup>。この方法では、高強度の負荷を用いないため、筋・関節や心血管系への負荷が小さくなる可能性があり、高強度筋力トレーニングに代わるより安全な方法として期待できる。本研究では、血流制限を併用した筋力トレーニングの骨格筋への効果と血管機能に及ぼす影響について検討した。

## 方 法

被験者は、運動習慣のない健常男子学生14名を対象とした。実験に先立ち、全ての被験者に本研究の目的、方法、安全性等を十分に説明し、本研究への参加の同意を

得た。なお、本研究は北翔大学北方圏生涯スポーツ研究センター倫理委員会の承認を得た。

運動方法は、我々が独自に考案した装置を用いた右下肢における仰臥位足関節底屈運動とした(図1)。運動強度は、予め測定した同運動における下腿三頭筋の1 RM (repetition maximum) の20%を用いた。トレーニング・プロトコールは、毎分30回、2分間(60収縮)を1セットとし、2セット(セット間休息を30秒)、1日2回、週3回、4週間実施した。1回目と2回目のトレーニングの間隔は4時間以上とした。

トレーニング筋に対する血流制限は、右大腿部に装着した空気圧式カフ(E-20 rapid cuff inflator, Hokanson, USA)を用いて、臥位安静時収縮期血圧の1.3倍の値<sup>10)11)</sup>を用いて行った。



図1. 我々が用いた仰臥位右足関節底屈運動装置。右大腿部に血流制限のための空気圧式カフが装着されている。

トレーニング前後において、効果の指標として下腿三頭筋の底屈における1 RM および最大筋横断面積を測定した。また血管機能の指標として、血圧、ABI (ankle brachial index)<sup>12)13)</sup> および CAVI (cardio ankle vascular index)<sup>14)15)16)</sup> を測定した。血圧、ABI および CAVI は、仰臥位にて5分間安静にした後<sup>9)</sup>、脈派検査装置(VaSera: VS-1000, フクダ電子)により測定した。

### 統計解析

トレーニング前後の1 RM, 筋横断面積, 血圧, ABI および CAVI の値の変化は paired-t-test を用いて統計解析した。なお、統計学的有意水準は5%未満とした。

### 結果

表1に被験者の基礎データを示す。

項目	n = 14
年齢, 才	21.9 ± 2.4
身長, cm	170.8 ± 8.3
体重, kg	66.1 ± 10.2
体格指数, kg/m <sup>2</sup>	22.6 ± 2.1
収縮期血圧, mmHg	124.1 ± 2.1
拡張期血圧, mmHg	73.2 ± 1.8
1 RM, kg	47.7 ± 8.1
20% 1 RM, kg	9.6 ± 1.6

RM, repetition maximum. 血圧は右上肢。

トレーニングによる筋への効果は、図2の示す通り1 RM および筋横断面積は、有意にトレーニング後で増加した。

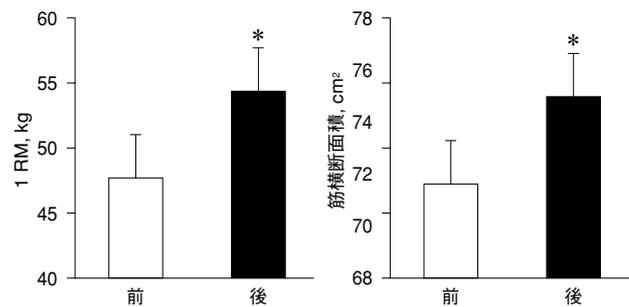


図2. トレーニング前後において筋力及び筋断面積は有意に増加した. RM, repetition maximum. 平均 ± 標準誤差. \* 前 vs. 後, p<0.05.

血管機能に関しては、左右上肢血圧値には変化が見られなかった(右収縮期: 124.1 ± 2.1 vs. 126.9 ± 2.5, 右拡張期: 73.2 ± 1.8 vs. 74.4 ± 1.8, 左収縮期: 124.1 ± 2.1 vs. 124.9 ± 2.1, 左拡張期: 74.5 ± 1.8 vs. 72.7 ± 2.0 mmHg)。しかし、図3に示すように、下肢では、右側の収縮期血圧が有意に低下した(図3)。またABI値は、右側部において有意に低下した(図4)。しかし左側部において統計学的有意差は認められなかった。CAVI値は、左右側ともに統計学的有意差は認められなかった。

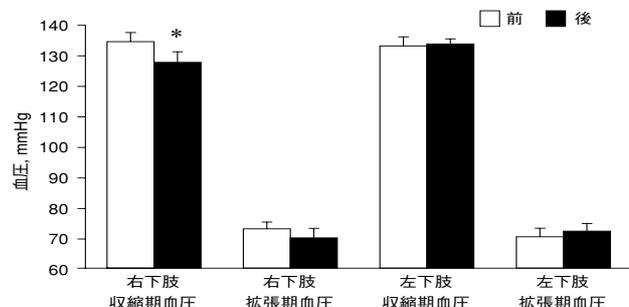


図3. トレーニング前後においてトレーニング側である右下肢の収縮期血圧が有意に低下した. 平均 ± 標準誤差. \* 前 vs. 後, p<0.05.

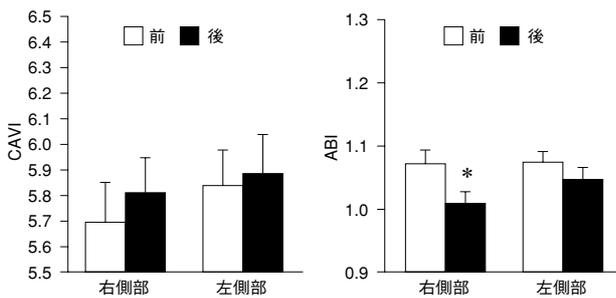


図4. トレーニング前後においてトレーニング側である右下肢の収縮期血圧が有意に低下した。平均 ± 標準誤差。\* 前 vs. 後,  $p < 0.05$ .

## 考 察

4週間の血流制限を併用した低強度筋力トレーニングにより、筋横断面積および筋力が有意に増加した。また血管への影響としては、トレーニング対象肢の収縮期血圧、トレーニング側（右）のABI値を有意に低下させた。これら結果から、血流制限を併用した低強度筋力トレーニングは、有効な骨格筋への効果とともに血管機能を改善する可能性が示唆された。

筋肥大、筋力増加を得るためには、低強度負荷では無効であり、高強度負荷を用いた筋力トレーニングが必要である<sup>17)</sup>。しかしながら、高強度筋力トレーニングは、血管機能を障害し、動脈硬化を悪化させる可能性が懸念されていた<sup>7) 8) 18) 19)</sup>。一方、近年、血流制限を併用することで、低強度負荷を用いても筋へのトレーニング・ストレスを増強し、筋肥大・筋力増加が得られることがさかんに報告されている<sup>9)</sup>。低強度負荷であれば、心血管系への負荷が少なく、血管機能に悪影響を及ぼさない可能性が考えられていた。本研究結果は、その仮説を裏付けるものであるが、さらに血管機能が改善することを示唆するものとなった。

トレーニングによって起こる血管の機能的な変化に関与する因子として、血管内皮細胞由来の血管作動性物質である一酸化窒素 (NO: Nitric Oxide) やエンドセリン-1 (ET-1) などの血管作動性物質が考えられる。また本研究においては、運動時に血流を制限し、運動後に解放するという手技を施行しており、運動後により大きな血流増加反応を誘発していたものと考えられる。適度な運動による血流増加は、血管への Shear stress となり、血管内皮細胞において Akt を活性化し、eNOS の発現などを介して、抗動脈硬化的に作用するが<sup>20) 21)</sup>、一方で過剰な血管へのストレスは、ET-1を増加させる可能性も示唆されている。Otsuki らは<sup>22)</sup>、筋力トレーニン

グを継続的に実施してきた群は血中の ET-1濃度が高値であると報告し、Okamoto らは<sup>23)</sup>、ピークトルクの80%を用いたトレーニング (アイソキネティック) において、運動前に比較し運動後の ET-1濃度、平均血圧、脈圧、心拍数が有意に増強し、特に、コンセントリック収縮時に心血管系の応答が有意に増強することを報告している。一方、Olson らは<sup>24)</sup>、1年間の長期的な大筋群を使用した筋力トレーニングは、血流依存性拡張と呼ばれる FMD (flow-mediated dilation) を有意に改善すると報告している。また McGowan らも<sup>25)</sup>、降圧薬内服中の対象者に、30%MVC (maximal voluntary contraction: 最大随意収縮) の負荷を用いたハンドグリップ・トレーニング (アイソメトリック) を8週間施行し、前腕の FMD が改善することを報告している。さらに、血管内皮細胞が障害されている肥満者や心疾患患者においても、筋力トレーニングによって NO などの血管拡張性物質が血管内皮細胞から分泌され、FMD が改善することが報告されている<sup>26) 27)</sup>。

血流制限を併用した筋力トレーニングによる血管機能への影響を調べた数少ない研究の一つとして、Kim らは<sup>28)</sup>、血流制限を併用した低強度の膝伸展運動、屈曲運動およびレッグプレス週3回、3週間実施すると、筋力は増加するものの動脈硬化指標である動脈コンプライアンス、血圧はトレーニング後では変化しなかったと報告している。Kim らはトレーニングを1セット当たり10回、2セット行っていた。一方、我々の研究では毎分30回、2分間 (60収縮) を1セットとし、2セット (セット間休息を30秒)、1日2回である。1回当たりのトレーニング時間および頻度は、先行研究に比較して長いと考えられる。先行研究において、血流制限を併用した筋力トレーニングが動脈硬化指標に影響を与えなかった要因としては、1回当たりのトレーニング時間および頻度が少なかったことと、さらにトレーニングを施行した筋群の違いが考えられる。

近年、筋力低下や筋量の減少が、QOLのみならず生命予後にも関係することが報告され<sup>30)</sup>、筋力トレーニングの重要性が注目されるようになり、その血管機能や動脈硬化指標に与える影響について、さかんに再検討されている。しかしながら、各研究者によって、筋力トレーニングの方法や対象が異なっていることも多く、また血管機能の評価方法も様々であり、安定した測定方法が用いられていない。故に、筋力トレーニングが、血管機能に悪影響するか好影響するかの一定のコンセンサスはなく、その境目も全く不明である。

本研究では、血流制限を併用した低強度筋力トレーニングを実施し、運動肢における血管機能が改善した可能性を示した。今回のトレーニングでは1RMの20%とい

う低強度負荷を用いたことと、血流制限後の血流増加反応の増強に加え、運動の繰り返し回数が多く、トレーニング時間が長く、持久性の要素が大きかったことなどが、理由として考えられる。

今後は、トレーニング強度や繰り返しなどの方法や対象筋を変えての検討、またABIやCAVIなどの指標だけでなくFMDや血液生化学的指標も測定するなど、多面的に研究していく必要があると考えられる。

本研究は、2009年度北方圏学術情報センター研究費に助成されて行われた。

本研究に献身的に協力していただいた北翔大学の高田真吾君、面川雅司君、門口智泰君、北海道大学の菅唯志君に感謝の意を表す。

#### 【参考文献】

1. Pearson TA, Mensah GA, Alexander RW, et al. Centers for Disease Control and Prevention; American Heart Association. Markers of inflammation and cardiovascular disease: application to clinical and public health practice: A statement for healthcare professionals from the Centers for Disease Control and Prevention and the American Heart Association *Circulation* 107 : 499-511, 2003.
2. Libby P, Ridker PM, Maseri A. Inflammation and atherosclerosis. *Circulation* 105 : 1135-43, 2002.
3. Hansson GK. Inflammation, atherosclerosis, and coronary artery disease. *N Engl J Med* 352 : 1685-95, 2005.
4. Brevetti G, Silvestro A, Schiano V, et al. Endothelial dysfunction and cardiovascular risk prediction in peripheral arterial disease: additive value of flow-mediated dilation to ankle-brachial pressure index. *Circulation* 108 : 2093-8, 2003.
5. Dinenna FA, Tanaka H, Monahan KD, et al. Regular endurance exercise induces expansive arterial remodelling in the trained limbs of healthy men. *J Physiol* 534 : 287-95, 2001.
6. Seals DR, Desouza CA, Donato AJ, et al. Habitual exercise and arterial aging. *J Appl Physiol* 105 : 1323-32, 2008.
7. Miyachi M, Donato AJ, Yamamoto K, et al. Greater age-related reductions in central arterial compliance in resistance-trained men. *Hypertension*. 2003 ; 41 : 130-135.
8. Miyachi M, Kawano H, Sugawara J, et al. Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance: a randomized intervention study. *Circulation*. 2004 ; 110 : 2858-2863.
9. Manini TM, Clark BC. Blood flow restricted exercise and skeletal muscle health. *Exerc Sport Sci Rev* 37 : 78-85, 2009.
10. Takano H, Morita T, Iida H, et al. Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol* 95 : 65-73, 2005.
11. Suga T, Okita K, Morita N, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol* 106 (4) : 1119-1124, 2009.
12. Feringa HH, Bax JJ, van Waning VH, et al. The long-term prognostic value of the resting and postexercise ankle-brachial index. *Arch Intern Med* 166 : 529-35, 2006.
13. Doobay AV, Anand SS. Sensitivity and specificity of the ankle-brachial index to predict future cardiovascular outcomes: a systematic review. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 25 : 1463-9, 2005.
14. van Popele NM, Grobbee DE, Bots ML, et al. Association between arterial stiffness and atherosclerosis: the Rotterdam Study. *Stroke* 32 : 454-60, 2001.
15. Blacher J, Asmar R, Djane S, et al. Aortic pulse wave velocity as a marker of cardiovascular risk in hypertensive patients. *Hypertension* 33 : 1111-7, 1999.
16. Shirai K, Utino J, Otsuka K, et al. A novel blood pressure-independent arterial wall stiffness parameter; cardio-ankle vascular index (CAVI). *J Atheroscler Thromb* 13 : 101-7, 2006.
17. Kraemer WJ, Gordon SE, Fleck SJ, et al. Endogenous anabolic hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise in males and females. *Int J Sports Med* 12 : 228-235, 1991.
18. DeVan AE, Anton MM, Cook JN, et al. Acute effects of resistance exercise on arterial compliance. *J Appl Physiol* 98 : 2287-91, 2005.
19. Bertovic DA, Waddell TK, Gatzka CD, et al.

- Muscular strength training is associated with low arterial compliance and high pulse pressure. *Hypertension* 33 : 1385-91, 1999.
20. Hambrecht R, Adams V, Erbs S, et al. Regular physical activity improves endothelial function in patients with coronary artery disease by increasing phosphorylation of endothelial nitric oxide synthase. *Circulation*. 2003 ; 107 : 3152-8.
  21. Dimmeler S, Zeiher AM. Exercise and cardiovascular health: get active to “AKTivate” your endothelial nitric oxide synthase . *Circulation*. 2003 ; 107 : 3118-20.
  22. Otsuki T, Maeda S, Iemitsu M, et al. Effects of athletic strength and endurance exercise training in young humans on plasma endothelin-1 concentration and arterial distensibility. *Exp Biol Med* 231 : 789-93, 2006.
  23. Okamoto T, Masuhara M, Ikuta K. Low-intensity resistance exercise with slow lifting and lowering does not increase noradrenalin and cardiovascular responses. *Clin Physiol Funct Imaging* 29 : 32-7, 2009.
  24. Olson TP, Dengel DR, Leon AS, et al. Moderate resistance training and vascular health in overweight women. *Med Sci Sports Exerc* 38 : 1558-64, 2006.
  25. McGowan CL, Levy AS, Millar PJ, et al. Acute vascular responses to isometric handgrip exercise and effects of training in persons medicated for hypertension. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 291 : 1797-802, 2006.
  26. Zhu W, Zeng J, Yin J, et al. Both flow-mediated vasodilation procedures and acute exercise improve endothelial function in obese young men. *Eur J Appl Physiol* : 13, 2009.
  27. Vona M, Codeluppi GM, Iannino T, et al. Effects of different types of exercise training followed by detraining on endothelium-dependent dilation in patients with recent myocardial infarction. *Circulation* 119 : 1601-8, 2009.
  29. Kim SJ, Sherk VD, Bemben MG, Bemben DA. Effects of short-term low-intensity resistance training with vascular restriction on arterial compliance in untrained young men. *Int J KAATSU Training Res* 5 : 1-8, 2009.
  30. Williams MA, Haskell WL, Ades PA, et al. American Heart Association Council on Clinical Cardiology; American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease : 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism. *Circulation* 116 : 572-84, 2007