

特集：心筋梗塞から身を守る —発作が起こる前と起こってからできること—

動脈機能を改善するための運動療法

三浦 哉

徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部応用生理学研究室

(平成23年5月10日受付) (平成23年5月18日受理)

はじめに

生活習慣病は、食習慣、運動習慣、休養、喫煙、飲酒などの生活習慣が、その発症・進行に関与する疾患であり、現在わが国では高血圧症、糖尿病、脂質異常症、肥満症に罹患している割合が高い現状である。この生活習慣病は、脳血管疾患、心筋梗塞といった致死率が高く、また、その後の後遺症で生活の質（QOL）の低下に影響する循環器疾患の発症につながるために、一次予防が大変重要となる。このような状況の中、厚生労働省、自治体、研究機関などが中心となり、運動面、栄養面などの視点から生活習慣病への対策が検討されている。一方、2006年には厚生労働省より「健康づくりのための運動基準2006～身体活動・運動・体力～」¹⁾および国民に対して身体活動・運動量の増加を支援する健康づくりのための運動指針2006（エクササイズガイド2006）²⁾が策定され、運動・身体活動の重要性が強く叫ばれるようになってきている。

そこで本稿では、生活習慣病、特に循環器疾患、動脈機能と運動との関係および循環器疾患の予防のための運動療法について概説する。

中高齢者の血圧、動脈機能の状況

30歳以上の日本人男性の47.5%、女性の43.8%が収縮期血圧（SBP）140mmHg以上、または拡張期血圧（DBP）90mmHg以上、もしくはは

降圧薬服用中といわれている³⁾。徳島県内在住の30歳から90歳代の男性313名、女性1180名を対象に安静時の収縮期・拡張期血圧および上腕-足首脈波伝播速度（baPWV）を測定したところ、男性の42.7%、女性の41.9%が血圧値の分類のI度以上に該当し、baPWVは男性の76.0%、女性の76.1%が $1.4\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ 以上であり、多くの中高齢者で動脈の柔軟性の低下（動脈硬化）が示されている。一方、運動習慣と血圧、baPWVとの関係を検討したところ、1週間に2回以上、1回につき30分以上の運動を3ヵ月以上実施している中高齢者のSBP、DBPおよびbaPWVは、運動習慣のない中高齢者よりも低く、定期的な運動が動脈機能の維持・改善に有効であることが示唆されている（図1）。

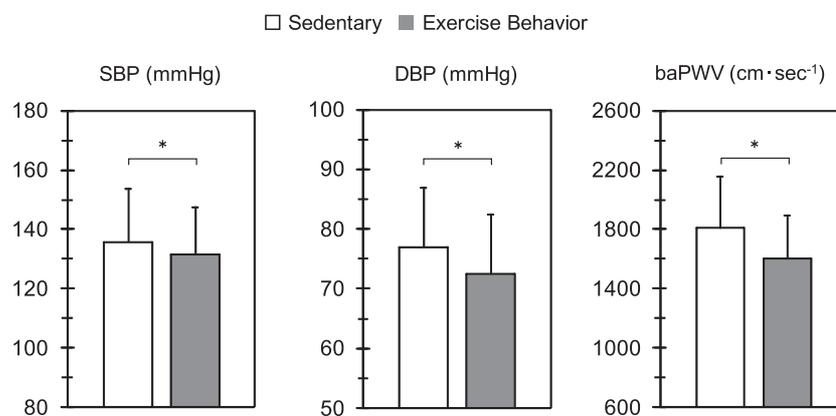


図1. 運動習慣のない中高齢者（□）と運動習慣のある中高齢者（■）のSBP、DBPおよびbaPWVの比較（三浦 未発表データ）
値は平均値および標準偏差
*：p<0.05

身体活動による動脈機能変化のメカニズム

身体活動による動脈機能の変化には主に動脈の器質因子および機能因子が影響する。器質因子に関して、運動習慣のある若年ラットは運動習慣のない若年ラットと比較して、大動脈壁硬化度が低いこと、大動脈壁のエラスチン含有量が高く、エラスチンにおけるカルシウム含有量が少ないことが報告されている⁴⁾。一方、機能因子については、交感神経活動、血管作動性ホルモン、血管内皮機能などが関連し、定期的な運動を実施することで、血管収縮物質であるエンドセリン-1濃度の低下および血管拡張物質である一酸化窒素 (NO) の増加が報告されている⁵⁾。一般に運動時では血流量の増加にともなう血管壁への力学的ストレス (shear stress) が増加し、血管内膜を構成する内皮細胞から NO を放出するといった一過性の変化が定期的な運動により続き、機能因子の改善につながると考えられている。また、定期的なトレーニングにより、交感神経 α 受容体遮断薬投与に対する頸動脈コンプライアンスの上昇反応が減弱したことから、交感神経活動の低下により動脈機能の改善が示唆されている⁶⁾。

循環器疾患予防のための運動様式

動脈機能が改善し、循環器疾患のリスクを軽減させる上で運動の重要性は明確になっているが、一般に運動様式は、歩行、ジョギング、水泳などの比較的強度で長時間の全身運動である有酸素性運動と筋力トレーニングのような抵抗性運動に代表させる比較的高強度で短時間の局所運動である無酸素性運動とに大別される。有酸素性運動では、呼吸循環機能の改善、全身持久力の改善、エネルギー消費量の増大、体脂肪の減少、コレステロールの低下など、無酸素性運動では、筋肥大、骨強化、糖質利用の増大、筋力・筋持久

力の改善、基礎代謝の改善など、運動様式の違いにより身体機能に及ぼすトレーニング効果が異なる。

動脈機能と運動様式との関係について、図2-Aに示すように、有酸素性運動の習慣のある中高齢者は、運動習慣のない中高齢者と比較して、動脈硬化の指標である頸動脈の Beta-stiffness index が低く、動脈の柔軟性が高いことが示されている⁷⁾。一方、図2-Bに示すように、定期的に筋力トレーニングを実施している中高齢者は、実施していない中高齢者と比較して、Beta-stiffness index が高く、動脈の柔軟性が低いことが報告されている⁸⁾。また、このような横断的研究と同様に縦断的運動介入によっても、比較的短期間で有酸素性トレーニングでは動脈機能の改善が、高強度の筋力トレーニングでは動脈機能の低下がそれぞれ認められている^{7,9)}。高強度の筋力トレーニングにより動脈硬化指標が増加する原因として、抵抗性運動時の胸部部の動脈圧の急激な上昇の結果、動脈壁の平滑筋あるいは張力を支えるコラーゲン、エラスチンなどが増加したことが影響していると考えられている。また、交感神経アドレナリン作用性の血管収縮作用が長期的に動脈壁に作用すること、動脈壁のプロテオグリカンの形成あるいはコラーゲンのクロスリンクなども影響していると考えられる。

このように高強度の筋力トレーニングは動脈硬化の促

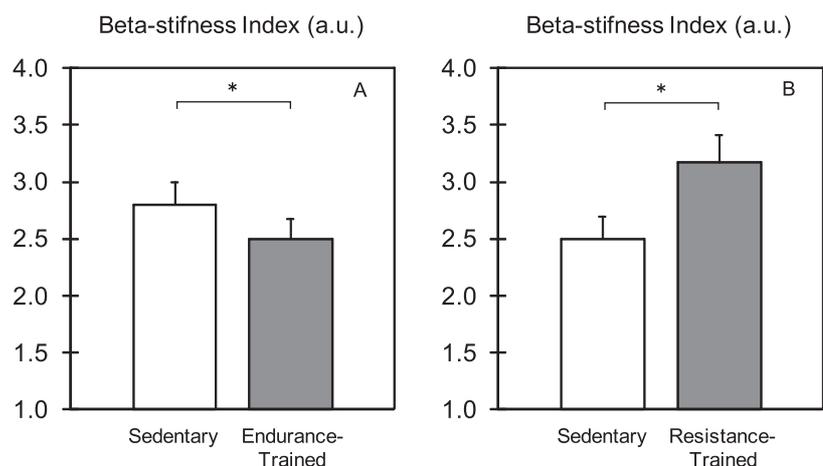


図2. 運動習慣のない中高齢者 (□) と有酸素性トレーニングを実施している中高齢者 (■:左)、筋力トレーニングを実施している中高齢者 (■:右) の動脈ステイフネスの比較 (文献7, 8を基に著者が作成)
値は平均値および標準偏差
*: $p < 0.05$

進（動脈機能の低下）が報告されているが、抵抗性運動と有酸素性運動を組み合わせる複合トレーニング（クロストレーニング）では動脈機能の低下を回避できる可能性が示されている¹⁰⁾。

一般に、生活習慣病の予防をはじめ、健康・体力の維持増進のために、運動の継続、運動の習慣化が推奨されている。しかし、高強度の筋力トレーニングのみを長期的に実施することは動脈硬化を促進する可能性がある。したがって、循環器疾患の予防という観点から、日常の運動としては局所に高強度を負荷する抵抗性運動よりも全身に低強度を負荷する有酸素性運動を中心に実施すること、また、抵抗性運動と有酸素性運動とを組み合わせることが望ましく、運動様式の選択、運動種目の組合せは運動プログラムを構築する上で大変重要な要因となる。

循環器疾患予防のための運動強度

運動を処方する上で、運動様式同様に運動強度も大変重要な要因となる。有酸素性トレーニングの運動強度と動脈機能との関係について、Sugawara ら¹¹⁾は閉経後女性を対象に、運動トレーニングでのエネルギー消費量が同一の場合、3～4 METs に相当する中強度と6～7 METs に相当する高強度の有酸素性トレーニングでは、トレーニング前後の頸動脈の Beta-stiffness index の改善効果に運動強度の違いによる差が認められないことを報告している。また、高血圧症を有する対象者では、運動強度が高すぎると運動中に血圧上昇をきたす可能性がある。したがって、循環器疾患の予防という観点から、有酸素性トレーニングの運動強度は低から中強度が適切と考えられる。

一方、高強度の筋力トレーニングは動脈機能の低下をもたらすが、運動強度の違いによるトレーニング効果の違いが示されている。成人女性を対象に低強度（10RMの30%強度）の抵抗性運動をサーキット形式で5セット、週に3回の頻度で8週間トレーニングさせたところ、baPWVの改善が（図3）¹²⁾、また、高齢者を対象とした場合でも、SBPおよびbaPWVの改善がそれぞれ認められている¹³⁾。したがって、動脈機能の改善を目的に

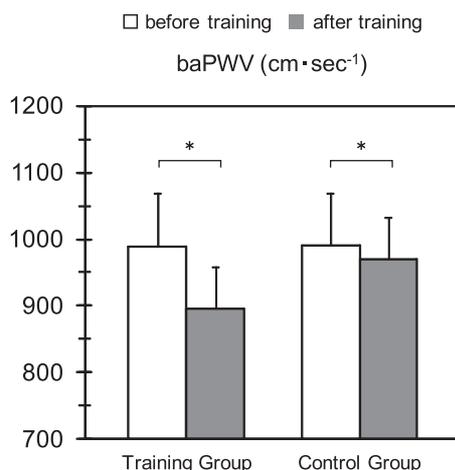


図3. 成人女性を対象に低強度のサーキットトレーニング期間前後のbaPWVの変化（文献12より著者が作成）
値は平均値および標準偏差
*：p<0.05

抵抗性運動を実施する場合は、比較的低強度で、なおかつサーキット形式で実施することが推奨される。

循環器疾患予防のための運動頻度

アメリカスポーツ医学会（ACSM）の声明¹⁴⁾において、生活習慣病の予防・治療のための運動頻度として、有酸素性運動は週に3～5回、抵抗性運動は週に2回を推奨している。Nakamura ら¹⁵⁾は、高齢者を対象に、運動頻度の違いが身体組成、身体機能に及ぼす影響について検討したところ、週に3回の頻度で90分間の運動プログラムに参加した高齢女性は、週に1あるいは2回の頻度で参加した者よりも体脂肪率の減少、筋持久力、動的バランス能力、全身持久力などの改善が大きいことを明らかにしている。一方、高齢者を対象に運動頻度と動脈機能との関係を検討したところ、低強度のサーキット形式の抵抗性運動と有酸素性運動で主に構成される1回90分間のトレーニングを1週間に1回の頻度で実施した高齢者はbaPWVに顕著な変化が認められなかったが、1週間に2回の頻度で実施した高齢者ではbaPWVの著しい低下が明らかになっている（図4）¹⁶⁾。したがって、動脈機能を改善し、循環器疾患のリスクを軽減するためには、少なくとも1週間に2回以上の頻度で定期的に運動する

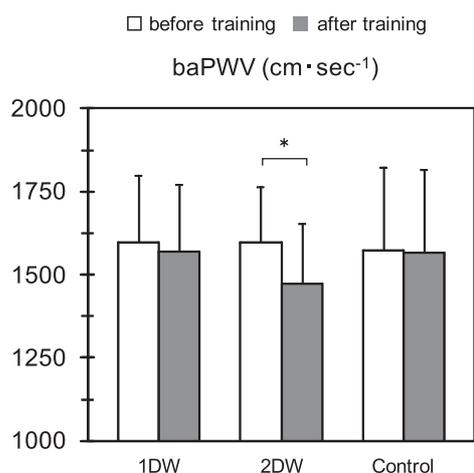


図4. 高齢者を対象に週1回(1DW), 週2回(2DW)の頻度のトレーニング期間前後のbaPWVの変化(文献16より著者が作成)
値は平均値および標準偏差
*: $p < 0.05$

ことが必要である。

循環器疾患予防のための運動時間

ACSMの声明による降圧作用が期待できる有酸素性運動のトレーニング時間は連続的な運動, 断続的な運動であっても30~60分を推奨している¹⁷⁾。しかし, トレーニング時間と動脈ステイフネスといった動脈機能との関係については検討されておらず, 改善効果の期待できる最短時間あるいは適切な時間については明確になっていない。同様に, 筋力トレーニングの運動時間(回数, セット数)と動脈機能との関係についても十分に検討されておらず, 循環器疾患の予防を目的とした運動療法を確立するためには, これらの分野のさらなる研究, エビデンスの蓄積が必要となる。

おわりに

本稿では主に循環器疾患のリスクの少ない対象者の研究結果を基に, 循環器疾患の予防のための運動様式, 強度, 頻度, 時間といった運動療法について概説した。一方, 中高齢者の多くは高血圧症などの循環器疾患のリスクを有しているために, 実際に運動する場合は, 事前に十分

なメディカルチェックを実施し, 必要に応じて運動の制限, 禁止などの対策を取る必要がある。

謝 辞

本稿は, 平成15~16年度文部科学省科学研究費若手研究(B), 平成20~22年度文部科学省科学研究費基盤研究(C), および受託研究(徳島市, 鳴門市, 上勝町)の結果の一部である。

文 献

- 1) 厚生労働省: 健康づくりのための運動基準2006~身体活動・運動・体力~, 2006
- 2) 厚生労働省: 健康づくりのための運動指針2006(エクササイズガイド2006), 2006
- 3) 日本高血圧学会高血圧治療ガイドライン作成委員会: 高血圧治療ガイドライン2009, ライフサイエンス出版, 東京, 2009, pp. 1
- 4) Matsuda, M., Nosaka, T., Sato, M., Ohshima, N.: Effects of physical exercise on the elasticity and elastic components of the rat aorta. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, **66**: 122-126, 1993
- 5) Maeda, S., Miyauchi, T., Kakiyama, T., Sugawara, J., *et al.*: Effects of exercise of 8 weeks and detraining on plasma levels of endothelium-derived factors, endothelin-1 and nitric oxide in healthy young humans. *Life Sci.*, **69**: 1005-1016, 2001
- 6) Sugawara, J., Komine, H., Hayashi, K., Yoshizawa, M., *et al.*: Reduction in alpha-adrenergic receptor-mediated vascular tone contributes to improved arterial compliance with endurance training. *Int. J. Cardiol.*, **135**: 346-352, 2009
- 7) Tanaka, H., Dinunno, F. A., Monahan, K. D., Clevenger, C. M., *et al.*: Aging, habitual exercise, and dynamic arterial compliance. *Circulation*, **102**: 1270-1275, 2000
- 8) Miyachi, M., Donato, A. J., Yamamoto, K., Takahashi, K., *et al.*: Greater age-related reductions in central arterial

- compliance in resistance-trained men. *Hypertension*, **41** : 130-135, 2003
- 9) Miyachi, M., Kawano, H., Sugawara, J., Takahashi, K., *et al.* : Unfavorable effects of resistance training on central arterial compliance : a randomized intervention study. *Circulation*, **110** : 2858-2863, 2004
- 10) Kawano, H., Tanaka, H., Miyachi, M. : Resistance training and arterial compliance : keeping the benefits with minimizing the stiffness. *J. Hypertens.*, **24** : 1753-1759, 2006
- 11) Sugawara, J., Otsuki, T., Tanabe, T., Hayashi, K., *et al.* : Physical activity duration, intensity, and arterial stiffening in postmenopausal women. *Am. J. Hypertens.*, **19** : 1032-1036, 2006
- 12) 三浦哉, 青木さくら : 低強度のサーキットトレーニングが成人女性の動脈ステイフネスに及ぼす影響. *体力科学*, **54** : 205-210, 2005
- 13) 三浦哉, 高橋良徳, 北畠義典 : 定期的なグループトレーニングが中高齢者の脈波伝搬速度に及ぼす影響. *日本公衛誌*, **57** : 271-278, 2010
- 14) American College of Sports Medicine. : Position Stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **30** : 1510-1530, 2009
- 15) Nakamura, Y., Tanaka, K., Yabushita, N., Sakai, T., *et al.* : Effects of exercise frequency on functional fitness in older adult women. *Arch. Gerontol. Geriatr.*, **44** : 163-173, 2007
- 16) Miura, H., Nakagawa, E., Takahashi, Y. : Influence of group training frequency on arterial stiffness in elderly women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **104** : 1039-1044, 2008
- 17) American College of Sports Medicine. : Position Stand. Exercise and hypertension. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **36** : 533-553, 2004

Exercise therapy for improving arterial function

Hajime Miura

Laboratory for Applied Physiology, Institute of Socio-Arts and Sciences, the University of Tokushima Graduate School, Tokushima, Japan

SUMMARY

The decline in arterial function with aging is considered to be part of a physiological process reflected in elevated blood pressure reflectively decreased arterial function. However, the extent and rate of this decline can be manipulated. Various types of exercise programs are recommended for prevention and treatment of cardiovascular diseases. To establish an exercise prescription/guideline, it is necessary to determine the exercise mode, intensity, frequency, or duration. The purpose of this review is to introduce the meanings of exercise for improving arterial function, and to review the exercise therapy for reducing the risk of cardiovascular diseases.

Key words : exercise therapy, arterial function, cardiovascular disease