

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01629

研究課題名(和文) スポーツ種目の違いが動脈粘性と左心室機能とのカップリングに及ぼす影響に関する研究

研究課題名(英文) Effects of mode of sports on coupling between arterial viscosity and left ventricular function

研究代表者

河野 寛 (Kawano, Hiroshi)

国土館大学・文学部・准教授

研究者番号：40508256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：有酸素性トレーニングが動脈粘性と左心室機能とのカップリングに及ぼす影響を検討することとした。実験<sup>1</sup>では心肺体力と動脈粘性の間に二次関数の関係が認められた。実験<sup>2</sup>では、3ヶ月間の持続的トレーニングを実施した。心肺体力は増加したが、動脈粘性や左心室機能に変化はなかった。以上の結果は、動脈粘性を低く保つための最適な心肺体力があるが、動脈粘性を変化させるためには、より長期的なトレーニング期間を設ける必要があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：This study elucidated effects of endurance training on coupling between arterial viscosity and left ventricular functions. First, the cross-sectional study found the quadratic function equation of relationship between cardiorespiratory fitness and arterial viscosity. Second, the interventional study, performed endurance training for three months, found that the endurance training increased cardiorespiratory fitness, but unchanged both arterial viscosity and left ventricular functions. From these results, there is most suitable value of cardiorespiratory fitness for maintaining arterial viscosity, but it is necessary to perform for a long time term for changing the arterial viscosity.

研究分野：循環

キーワード：動脈粘性 左心室機能 有酸素性トレーニング

## 1. 研究開始当初の背景

加齢や高血圧、運動トレーニングによって影響を受ける動脈機能は、動脈の弾性（コンプライアンス）や脈波伝播速度などの指標によって広く評価されてきた。しかしながら、これまでの評価方法は、動脈が粘弾性体であるにも拘わらず、弾性要素のみを評価するだけであり、粘性要素について注目してこなかった。動脈が粘弾性体であることを鑑みると、動脈機能の1つとして弾性要素に加えて粘性要素を理解することは必要不可欠である。

定性的に心臓と血管は形態的・機能的にカップリングする。事実、我々は動脈硬化度が左心室の肥厚度と密接な関係があることを明らかにした（Gando and Kawano et al. 2011）。心臓は血液を末梢へ送るために拍動する。その拍動は中心動脈へ伝わり、中心動脈が拡張することで弾性エネルギーに変換される。そして、この弾性エネルギーによって動脈が元に戻ることで、血液はよりスムーズに末梢へ運ばれる。しかしながら、中心動脈は粘弾性体であるため、すべての拍動エネルギーが弾性エネルギーに変換されるわけではなく、途中で失われ散逸するエネルギーが存在する。その散逸エネルギーこそが粘性である。

つまり、動脈粘性が増加することは、心臓からの拍動エネルギーを効率よく弾性エネルギーに変換できていないと同時に、弾性エネルギーが高くなりすぎることによる動脈へのストレスを回避していることを意味し、動脈粘性が動脈機能を多面的に反映する指標であることが理解できる。

これまでの研究において、申請者らは、加齢・心肺体力・動脈粘性の関係を検討し、加齢に伴い動脈粘性が増加すること、心肺体力を高く保つことで加齢に伴う動脈粘性の増加を抑制できることを報告した（Kawano et al. 2013）。一方、持久的体力が極めて高い長距離ランナーの動脈粘性が一般若年成人と

比較して高いこともすでに確認している（未発表データ）。他の先行研究として、高血圧患者の頸動脈の粘性は正常血圧者と比較して高値を示すことが報告された（Armentano et al. 1995）。ここに、動脈粘性が高まる要因として、高血圧、加齢、低体力、超高体力の4つが挙げられ、中でも低体力と超高体力の両方が動脈粘性の増加に寄与することはある種のパラドックスとも言える。

動脈粘性に関与する4要素については、神経系、血管の形態的特徴、心臓からの拍動エネルギーの大小を検討することで、そのメカニズムが紐解かれる。先行研究において、交感神経の亢進や血管の形態的特徴が高血圧や加齢を介して動脈粘性の増加に寄与していることが報告されている（Kawano 2013, Almentano 1999&2006）。一方で、高体力者で加齢に伴う動脈粘性の増加が抑制されているが、元来高体力者は心臓からの拍動エネルギー（一回拍出量など）は大きいと予想される。にもかかわらず、高体力者の動脈粘性が低いことは、心臓から拍動エネルギーを効率よく弾性エネルギーに変換できていると推測できる。しかしながら、著しく体力が高い長距離ランナーは、一般人よりも動脈粘性が高い。このような超高体力者は一回拍出量が高すぎるため、心臓からの拍動エネルギーが動脈壁で余剰し、弾性に変換されなかったエネルギーが粘性として生じたと推測される。このように、心臓からの拍動エネルギーと動脈粘性の関係は理論上わかっているが、これを検証した研究は未だ存在しない（図2）。

心機能もまた、トレーニングの種類によって異なる適応を示す。とりわけ、持久的トレーニングと筋力トレーニングでは、左心室肥大や動脈機能の特徴が対照的である。しかしながら、心臓からの拍動エネルギーと動脈粘性の関係に持久的トレーニングや筋力トレーニングが及ぼす影響も明らかではない。

## 2. 研究の目的

本研究では、低体力者でも、アスリートのような超高体力者でも動脈粘性が高いというパラドックスを動脈粘性と左心室機能とのカップリングから解明するだけでなく、動脈粘性と左心室機能とのカップリングにトレーニングの種類が及ぼす影響を明らかにすることを当初の目的とした、先行研究および予備実験の結果、筋力トレーニングよりも有酸素性トレーニングの方がより心臓や動脈機能の適応を惹起する可能性が高いことから、有酸素性トレーニングが動脈粘性と左心室機能とのカップリングに及ぼす影響を横断的・縦断的に検討した。

## 3. 研究の方法

### 研究課題

一般人から持久系アスリートまで様々な体力を有する若年男性 84 名（平均年齢  $22.2 \pm 2.6$  歳，身長  $173.2 \pm 5.5$  cm，体重  $65.6 \pm 9.8$  kg）対象に（うち 24 名が持続的アスリート），動脈粘性，左心室機能を反映する心拍数および持久力の指標である最大酸素摂取量を測定した。動脈粘性については超音波リニアプローブおよびトノメトリーセンサーを，左心室機能については超音波セクタープローブを，最大酸素摂取量は自動代謝分析装置をそれぞれ用いて評価した。84 名の被験者は最大酸素摂取量の値に基づいて，3 群（Low 群，Mid 群，High 群）に分けられた。統計分析は，一元配置分散分析および次数回帰分析を用いた。

### 研究課題

健康な若年成人男性 7 名（平均年齢  $22.0$  歳  $\pm 2.6$  歳，身長  $173.9 \pm 6.9$  cm，体重  $77.4 \pm 7.9$  kg）を対象に，3 ヶ月間の持続的トレーニングを実施した。トレーニングの頻度は週 2~3 回，強度は  $70\%VO_{2max}$  とした。主な測定項目は，動脈粘性，左心室機能を反映する心

拍数および持久力の指標である最大酸素摂取量であった。詳細な測定方法は，研究課題と同様である。統計分析は，対応のある t 検定を用いた。

## 4. 研究成果

### 研究課題

最大酸素摂取量，安静時心拍数および動脈粘性について，最大酸素摂取量の低い（Low：40ml/kg/min 未満）群，中等度の（Mid：40ml/kg/min 以上 60ml/kg/min 未満）群および高い（High：60ml/kg/min 以上）群を比較した（図 1 . ANOVA： $P < 0.05$ ）。

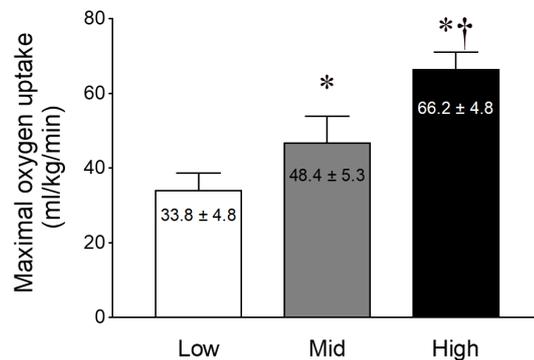


図1 Low・Mid・High体力群の最大酸素摂取量  
\* $P < 0.05$  vs. Low. † $P < 0.05$  vs. Mid. Mean  $\pm$  SD.

安静時心拍数については，High 群が他の 2 群と比較して有意に低かった（図 2 . ANOVA： $P < 0.05$ ）。

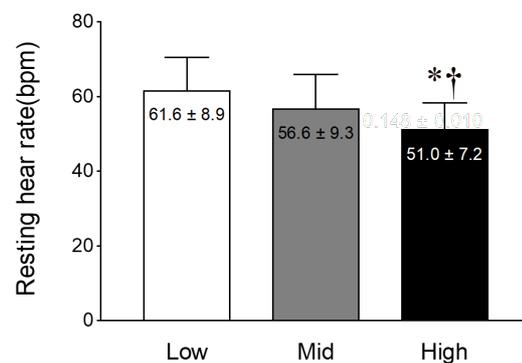


図2 Low・Mid・High体力群の安静時心拍数  
\* $P < 0.05$  vs. Low. † $P < 0.05$  vs. Mid. Mean  $\pm$  SD.

動脈粘性については，Mid 群が他の 2 群と比較して有意に低かった（図 3 . ANOVA： $P < 0.05$ ）。

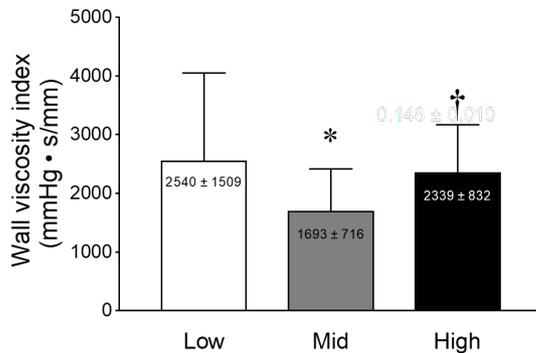


図3 Low・Mid・High体力群の動脈粘性  
\*P<0.05 vs. Low. †P<0.05 vs. Mid. Mean ± SD.

また最大酸素摂取量と動脈粘性との関係性を検討した結果、二次関数の関係性が認められた( $Y=1.819 \cdot X^2 - 191.508 \cdot X + 6771.218$ ,  $r=0.308$ ,  $P<0.05$ )。これは、動脈粘性を従属変数、最大酸素摂取量を独立変数とした場合、U字曲線を描くことになる。

High群の動脈粘性がMid群と比較して高い原因について、以下にメカニズムを示す。まず持続的トレーニングを継続的に実施すると、左心室の適応が生じることで、一回拍出量の増加と安静時心拍数の低下が引き起こされる。これは心臓からの拍動エネルギーが増大することを意味する。この拍動エネルギーは、末梢組織へ到達するまでに緩衝されるため、動脈中では弾性エネルギーと粘性(散逸)エネルギーに変換される。研究課題に限らず、先行研究において、若年者では体力レベルおよび持続的トレーニングの状況は弾性エネルギー(動脈コンプライアンス)に影響を及ぼさないことがわかっている(Tanaka et al. 2000)。しかしながら、研究課題の結果からも明らかのように、持続的アスリートの安静時心拍数は一般人よりも低いことから(左心室の遠心性肥大)、左心室の拍動エネルギーは高いことが予想される。その増大した拍動エネルギーは、弾性エネルギーが頭打ちしているため、持続的アスリートの粘性エネルギーが高値を示したと考えられる。

次に、Low群の動脈粘性がMid群と比較

して高い原因について以下にメカニズムを示す。今回のデータでは、安静時心拍数はLow群とMid群の間で統計的に有意差は認められなかった。すなわち、体力的に差があっても特別な持続的トレーニングに従事していない両群の左心室自体はスポーツ心臓のような適応をしていない可能性がある。これは左心室の拍動エネルギーに差が無いことを意味している。その上で、弾性動脈においてこの拍動エネルギーを弾性エネルギーと粘性エネルギーに変換されることになる。一方で、弾性動脈において持続的体力差は、動脈の器質に何らかの影響を及ぼす可能性は否定できない。換言するならば、Low群の動脈弾性(コンプライアンス)は低い可能性が示唆される。つまり、器質的にLow群の動脈弾性には限界があるため、弾性エネルギーに変換されなかった拍動エネルギーは粘性エネルギーに変換せざるを得ないことになる。今回のLow群とMid群の動脈粘性の結果は、2013年の我々の報告と一致するものであった(Kawano et al. 2013)。

#### 研究課題

3ヶ月間の自転車エルゴメーター運動の介入によって、最大酸素摂取量は  $44.9 \pm 2.4 \text{ ml/kg/min}$  から  $51.1 \pm 2.2 \text{ ml/kg/min}$  まで上昇した。これは約14%の増加となり、トレーニングが適切に行われていたと考えられる。しかしながら、動脈粘性や左心室機能に有意な変化は認められなかった。この結果の原因については、いくつか考えられる。

まず対象者のトレーニング前の体力に大きなばらつきがあったことが挙げられる。つまり、体力が低い者は動脈粘性が低下し、体力がMidレベル以上の者は動脈粘性が増加した可能性が考えられる。しかしながら、n数が十分ではないため、そこまでの分析はできなかった。二つ目に、3ヶ月程度の短期間では最大酸素摂取量は増加するものの、動脈

粘性や左心室機能を適応させるには不十分であったということである。研究課題 での High 群は長年にわたって持続的トレーニングを積んできた者がほとんどであり、トレーニング期間という点で一致しないことが挙げられる。

研究課題 および の成果をまとめると以下の通りである。動脈粘性を低く保つための最適な心肺体力があることを示している。ただし、3ヶ月程度の持続的トレーニングでは動脈粘性を適応させることは難しく、今後はさらに長期間にわたって持続的トレーニングの影響を検討する必要がある。

## 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Furushima T, Miyachi M, Iemitsu M, Murakami H, Kawano H, Gando Y, Kawakami R, Sanada K.

Development of prediction equations for estimating appendicular skeletal muscle mass in Japanese men and women. *Journal of Physiological Anthropology*. 査読有 Vol.36, No.1, 2017, pp.34-34.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28851429>

Furushima T, Miyachi M, Iemitsu M, Murakami H, Kawano H, Gando Y, Kawakami R, Sanada K. Comparison between clinical significance of height-adjusted and weight-adjusted appendicular skeletal muscle mass.

*Journal of Physiological Anthropology*. 査読有 Vol.36, No. 1, 2017, pp.15.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>

d/28193296

Gando Y, Murakami H, Kawakami R, Yamamoto K, Kawano H, Tanaka N, Sawada SS, Miyatake N, Miyachi M. Cardiorespiratory Fitness

Suppresses Age-Related Arterial Stiffening in Healthy Adults: A 2-Year Longitudinal Observational Study. *Journal of Clinical*

*Hypertension*. 査読有 Vol.18, No.4, 2016, pp.292-298.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26663866>

Konishi M, Kawano H, Xiang M, Kim HK, Ando K, Tabata H, Nishimaki M, Sakamoto S. Diurnal variation in the diving bradycardia response in young men. *Clinical Autonomic Research*.

査読有 Vol.26, No.2, 2016, pp.135-140.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26795189>

[学会発表](計 1 件)

河野寛,山元健太,丸藤祐子,村上晴香,真田樹義,川上諒子,宮地元彦. 動脈粘性と性差および心肺体力の関係 第70回日本体力医学会大会 和歌山県民文化会館(和歌山県)2015.

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

河野 寛 (KAWANO, Hiroshi)

国土館大学・文学部・准教授

研究者番号：40508256

(2)連携研究者

樋口 満 (HIGUCHI, Mitsuru)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号：20192289

坂本 静男 (SAKAMOTO, Shizuo)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号：00266032

丸藤 祐子 (GANDO, Yuko)  
国立研究開発法人 医薬基盤・健康・栄養  
研究所 国立健康・栄養研究所・身体活動  
研究部・研究員  
研究者番号：60613932

小西 真幸 (KONISHI, Masayuki)  
早稲田大学 スポーツ科学学術院 助教  
研究者番号：10711187