

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：32616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K10826

研究課題名（和文）筋力トレーニングに伴う動脈硬化機序の解明 - 動脈粘性の役割に注目して -

研究課題名（英文）Mechanisms of arterial stiffening with resistance training - Focused on role of arterial wall viscosity -

研究代表者

河野 寛 (Hiroshi, Kawano)

国士舘大学・文学部・教授

研究者番号：40508256

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、筋力トレーニングによる動脈コンプライアンス低下のメカニズムを動脈粘性機能の適応の観点から明らかにすることであった。普段運動などを行っていない若年男性16名および普段から筋力トレーニングに従事している若年男性12名を対象として、動脈粘性および動脈コンプライアンスを比較検討した。結果として、筋トレ実施者は動脈コンプライアンスが低く、動脈粘性は高かった。これらの結果は、筋力トレーニングによって引き起こされる動脈硬化のメカニズムとして、動脈粘性として表される散逸エネルギーの増大が寄与していると理解できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果は、筋力トレーニング従事者の動脈粘性を評価した初めての研究であり、筋力トレーニングに対する動脈機能の適応について、学術的な貢献があると考えられる。とりわけ、筋力トレーニングは高齢化が加速する我が国において、必要不可欠な運動様式であり、若者はもとより、中高年に差し掛かってから実施する人数は伸びると予想される。その筋力トレーニングに対する循環適応を理解することで、より安全で効果的な筋力トレーニングの実施のためのエビデンスの1つになるだろう。

研究成果の概要（英文）：The aim of the present study was to clarify the mechanism of reduction in arterial compliance by resistance training in terms of adaptation of arterial wall viscosity. The present study measured the compliance and the wall viscosity in common carotid artery in sixteen sedentary young men and twelve resistance-trained men. In results, resistance-trained men showed lower arterial compliance and higher arterial wall viscosity compared with sedentary peers. These results suggest that increase in dissipation energy expressed as arterial viscosity may contribute to the mechanism of arterial stiffening with resistance training.

研究分野：運動生理学

キーワード：動脈粘性 筋力トレーニング 動脈コンプライアンス 動脈スティフネス

1. 研究開始当初の背景

動脈機能は、加齢や高血圧、持久的体力などによって影響を受ける。とりわけ動脈の弾性機能（コンプライアンス）や脈波伝播速度は、有効な指標として広く評価されてきた。一方で、動脈は粘弾性体であるにも拘わらず、評価の方法は弾性要素を反映したコンプライアンスや脈波伝播速度に限定されており、動脈の粘性を評価した研究はわずかである(Armentano et al. 2006; Kawano et al. 2013)。物理的に動脈が粘弾性体であることを考慮すると、動脈機能の1つとして弾性要素だけではなく、粘性要素についても検討する必要があると考えられる。

粘弾性体である動脈は、左心室からの拍動エネルギーを受け止め、一端拡張することで拍動エネルギーを弾性エネルギーに変換する。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、血液をよりスムーズに末梢へ運ぶことができる。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あり、その散逸エネルギーこそが粘性である。つまり、「拍動エネルギー = 弾性エネルギー + 散逸エネルギー（粘性）」という等式が成り立つ。物理的にこのような簡易な式に表されるにも拘わらず、動脈の粘性を評価している研究は極めて少ない。

上記の等式について、拍動エネルギーは左心室の一回拍出量を、弾性エネルギーは動脈コンプライアンスを、散逸エネルギーは動脈粘性をそれぞれ意味する。先行研究において、加齢や低心肺体力(Kawano et al. 2013)、さらには高血圧(Armentano et al. 1995; Armentano et al. 2006)が動脈粘性を高めることが明らかになっている。動脈粘性が増加することの背景には、()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の破裂を防ぐためのストレス回避と理解できる。()については、高齢者のように動脈弾性が低下していて動脈粘性が高まっている状況が良い例である。つまり、動脈弾性ととも動脈粘性を評価することで、その動脈が持ち合わせるエネルギー変換効率を知ることができる。()については、健康な若年者のように十分な動脈弾性（コンプライアンス）を有している場合には、動脈粘性を評価することで、その血管のストレス回避能力を知ることができると考えられる。すなわち、動脈粘性は、加齢・低心肺体力・高血圧によって増加するが、そのことは弾性エネルギーに変換できない分について粘性を高めることによって代償的に機能適応していると捉えられるため、粘性が高くなることは必ずしも悪いことではないかもしれないことを意味している。したがって、動脈の弾性に加えて粘性の両方を評価することで、動脈の力学的特性の観点から、生理学的な理解を深められるだろう。

筋力トレーニングは、日常生活動作を改善し、健康寿命の延伸に貢献することはエビデンスの集積から考えると揺るがない事実である。しかしながら、筋力トレーニングが動脈コンプライアンスを低下させることもまたメタ解析から明らかである(Miyachi 2012)。つまり、動脈コンプライアンスを低下させるような筋力トレーニングを実施した場合、心臓からの拍動エネルギー（一回拍出量）に大きな変化はないため、動脈粘性は増加する可能性があるが、その真相は不明である。

筋力トレーニングに伴う動脈コンプライアンスの低下に関するメカニズムは、血管内皮機能異常(Kawano et al. 2008)や交感神経の亢進(Carter et al. 2003)などの関与を検討した研究はあるが、いずれも明確な結論は出ていない。そして、現在までに筋力トレーニングと動脈粘性との関係を明らかにした研究は存在しない。したがって、動脈粘性を評価することで、筋力トレーニ

ングに伴う動脈コンプライアンスの低下のメカニズムの一端を明らかにすることができるかもしれない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、筋力トレーニングによる動脈コンプライアンス低下のメカニズムを動脈粘性および左心室機能の適応の観点から明らかにすることであった。

3. 研究の方法

健康な若年一般男性 16 名 (**Control** 群) および習慣的に筋力トレーニングを実施している若年男性 12 名 (**Resistance** 群) を被験者とした。**Resistance** 群は、大学陸上部の投擲競技者であった。測定項目は、血圧、心拍数、脈波伝播速度 (**PWV**)、動脈コンプライアンス、動脈粘性、左心室機能および最大酸素摂取量であった。血圧、心拍数および **PWV** は血圧脈波検査装置を、動脈コンプライアンスおよび動脈粘性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。統計処理には、対応のない **t** 検定を用いた。数値は、平均 ± 標準誤差で表した。有意水準は 5% 未満とした。

4. 研究成果

【結果】

年齢に有意な差はなく、身長、体重および **Body mass index** は **Resistance** 群が有意に高値を示した (全て **P<0.05**)。平均血は **Resistance** 群において高値を示したが (**P<0.05**)、その他の血圧指標に有意な差は認められなかった。安静時および最大運動時の心拍数に有意な差は認められなかった。最大酸素摂取量は、絶対値において **Resistance** 群が有意に高値を示したが (**P<0.05**)、相対値に有意な差は認められなかった。

PWV は両群で有意な差は認められなかった。両群の血圧と血管径のリサージュ曲線は、明らかに **Resistance** 群の傾きは低く、その面積も大きかった。動脈粘性および スティフネスは、**Resistance** 群で有意に高値を示したが (いずれも **P<0.05**)、動的コンプライアンスは **Resistance** 群で有意に低値を示した (**P<0.05**) (**Figure**)。全被験者の平均血圧の平均値および各被験者の平均血圧における等圧および実行静的コンプライアンスは、いずれも **Resistance** 群が有意に低値を示した (いずれも **P<0.05**)。逆に、等圧および実行静的スティフネスは、**Resistance** 群が有意に高値を示した (いずれも **P<0.05**)。

心臓の拍動エネルギーに相当する一回拍出量には両群で有意な差は認められなかった。左心室の短縮率や駆出率は、**Control** 群で高値を示した (いずれも **P<0.05**)。肥大指数である左心室内腔に対する壁厚の割合および左心室重量は、**Resistance** 群で有意に高値を示したが (いずれも **P<0.05**)、左心室重量は体表面積あたりでは有意差は消失した。

また、動脈粘性は一回拍出量の間有意な相関関係は認められなかったが、動的コンプライアンス (**r=0.669**) や実行静的コンプライアンス (**r=0.612**) との間には有意な負の相関関係が認められた (いずれも **P<0.05**)。

【考察】

本研究の目的は、筋力トレーニングによる動脈コンプライアンス低下のメカニズムを動脈粘性および左心室機能の適応の観点から明らかにすることであった。そのために、普段特に運動な

どを行っていない若年男性 16 名および普段から筋力トレーニングに従事している若年男性 12 名を対象として、動脈粘性、動脈コンプライアンスおよび左心室機能（特に一回拍出量）を比較検討した。結果として、筋力トレーニングによって、動脈コンプライアンスが低くなった **Resistance** 群の動脈粘性は高値を示したが、一回拍出量には筋力トレーニングの影響は認められなかった。これらの結果は、筋力トレーニングによって引き起こされる動脈硬化のメカニズムとして、一回拍出量ではなく、動脈粘性として表される散逸エネルギーの増大が寄与していると考えられる。本研究の結果は、筋力トレーニング従事者の動脈粘性を評価した初めての研究であり、筋力トレーニングに対する動脈機能の適応について、学術的な貢献があると考えられる。

先行研究において、筋力トレーニングによる動脈コンプライアンスの低下に関するメカニズムを明らかにしようとする試みはいくつかあった。動脈コンプライアンスに関係する動脈内皮機能に対する筋力トレーニングの影響を検討した結果、その影響は大きくなさそうであることが明らかになっている (**Kawano et al. 2008; Rakobowchuk et al. 2005**)。また、脳死患者を対象にした先行研究において、動脈粘性は交感神経の影響を 60%ほど受けるとされているが (**Armentano et al. 2006**)、筋力トレーニングを実施しても交感神経の亢進は認められていない (**Carter et al. 2003**)。したがって、筋力トレーニングによって引き起こされる動脈硬化に対して、動脈内皮機能や交感神経の関与は低いと推測される。すなわち、今回の研究で明らかとなった筋力トレーニングに伴う動脈コンプライアンスの低下と動脈粘性の増加に対して、内皮機能や交感神経とは別のメカニズムが働いている可能性が示唆される。

研究開始当初、心臓からの拍動エネルギーは弾性エネルギーと散逸エネルギー（粘性）に変換されるため、筋力トレーニングによって心臓の拍動エネルギーが変わらないのであれば、筋力トレーニングによって動脈弾性（コンプライアンス）の低下が生じる場合、動脈粘性が高まると予想した。予想通り、今回の研究では、筋力トレーニング従事者の動脈コンプライアンスは低く、動脈粘性は高かった。これらの因果関係は不明であるが、2つの指標の間に有意な負の相関関係が認められたため、研究当初の仮説は一定程度認められたと考えられる。今後、この筋力トレーニングによる動脈コンプライアンスと動脈粘性の適応とこれらの関係性について、分子生物学的メカニズムの観点からの解明は運動生理学的な興味として依然残るものである。

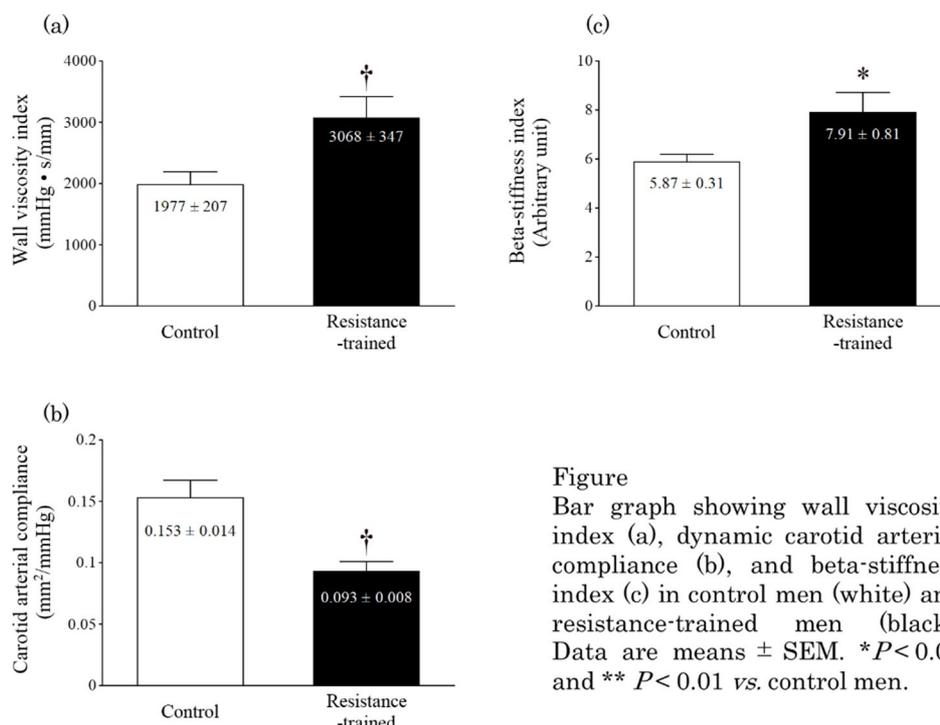


Figure
Bar graph showing wall viscosity index (a), dynamic carotid arterial compliance (b), and beta-stiffness index (c) in control men (white) and resistance-trained men (black). Data are means ± SEM. * $P < 0.05$ and ** $P < 0.01$ vs. control men.

【まとめ】

本研究は、これまでトレーニングに対しする動脈機能の適応において、ほとんど評価されてこなかった動脈粘性に焦点を当て、筋力トレーニングに伴う動脈硬化のメカニズムを明らかにすることを目的として、筋力トレーニング従事者の動脈コンプライアンスと動脈粘性を評価した。動脈硬化を引き起こす筋力トレーニングは、動脈粘性の増大も同時に引き起こすことと、さらには動脈コンプライアンスと動脈粘性の間には負の相関関係が認められた。本研究の結果は、筋力トレーニングに伴う動脈硬化に動脈粘性の増大が関与する可能性を示唆するものである。

【引用文献】

- Armentano R, Megnien JL, Simon A, Bellenfant F, Barra J, Levenson J (1995) Effects of hypertension on viscoelasticity of carotid and femoral arteries in humans. Hypertension 26 (1):48-54**
- Armentano RL, Barra JG, Santana DB, Pessana FM, Graf S, Craiem D, Brandani LM, Baglivo HP, Sanchez RA (2006) Smart damping modulation of carotid wall energetics in human hypertension: effects of angiotensin-converting enzyme inhibition. Hypertension 47 (3):384-390**
- Carter JR, Ray CA, Downs EM, Cooke WH (2003) Strength training reduces arterial blood pressure but not sympathetic neural activity in young normotensive subjects. J Appl Physiol 94 (6):2212-2216**
- Kawano H, Tanimoto M, Yamamoto K, Sanada K, Gando Y, Tabata I, Higuchi M, Miyachi M (2008) Resistance training in men is associated with increased arterial stiffness and blood pressure but does not adversely affect endothelial function as measured by arterial reactivity to the cold pressor test. Exp Physiol 93 (2):296-302**
- Kawano H, Yamamoto K, Gando Y, Tanimoto M, Murakami H, Ohmori Y, Sanada K, Tabata I, Higuchi M, Miyachi M (2013) Lack of age-related increase in carotid artery wall viscosity in cardiorespiratory fit men. J Hypertens 31 (12):2370-2379. doi:10.1097/HJH.0b013e328364cbba**
- Miyachi M (2012) Effects of resistance training on arterial stiffness: a meta-analysis. Br J Sports Med. doi:10.1136/bjsports-2012-090488**
- Rakobowchuk M, McGowan CL, de Groot PC, Hartman JW, Phillips SM, MacDonald MJ (2005) Endothelial function of young healthy males following whole body resistance training. J Appl Physiol 98 (6):2185-2190**

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Watanabe D, Gando Y, Murakami H, Kawano H, Yamamoto K, Morishita A, Miyatake N, Miyachi M	4. 巻 13(1)
2. 論文標題 Longitudinal trajectory of vascular age indices and cardiovascular risk factors: a repeatedmeasures analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5401
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-32443-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 河野寛, 小池杏樹, 熊田恵, 橋本香澄, 藤井美穂, 藤田千波, 前田結衣, 松尾文菜	4. 巻 23
2. 論文標題 一過性のラジオ体操が柔軟性, 体温, 血中乳酸濃度および動脈硬化度に及ぼす影響 - ラジオ体操第一および第二の比較 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 初等教育論集	6. 最初と最後の頁 109-118
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kawano H, Asaka M, Yamamoto K, Gando Y, Konishi M, Sakamoto S, Miyachi M, Higuchi M.	4. 巻 121
2. 論文標題 Greater Arterial Wall Viscosity in Endurance-trained Men	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 2219-2228
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-021-04686-5.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Kawano H, Asaka M, Yamamoto K, Gando Y, Konishi M, Sakamoto S, Miyachi M, Higuchi M.	4. 巻 In press
2. 論文標題 Greater Arterial Wall Viscosity in Endurance-trained Men	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eur J Appl Physiol	6. 最初と最後の頁 In press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-021-04686-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 河野寛, 榑木達也, 川野景都, 手塚七海, 成島愛謝, 松井琳奈, 松本彩花	4. 巻 22
2. 論文標題 青竹踏みが柔軟性および動脈スティフネスに及ぼす影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 初等教育論集	6. 最初と最後の頁 55-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河野寛, 勝又梨湖, 櫻井天音, 實川玲羅, 藤井勇仁, 村沢響, 温泉川颯, 吉田桐也	4. 巻 21
2. 論文標題 部位の異なる一過性のストレッチングが動脈スティフネスに及ぼす影響 上半身と下半身の違いについて	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 初等教育論集	6. 最初と最後の頁 59-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------