

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K17553

研究課題名（和文）運動トレーニングはなぜレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防するのか

研究課題名（英文）Why does exercise training prevent endothelial dysfunction after acute resistance exercise?

研究代表者

森嶋 琢真（Morishima, Takuma）

中京大学・教養教育研究院・准教授

研究者番号：60771706

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：運動習慣を有する鍛錬者は一過性のレジスタンス運動後に血管内皮機能が低下しない。本研究は、上記の生理学的メカニズムを明らかにすることを目的として行われた。

研究成果の概要として、（1）運動習慣を有しない一般成人であっても、サプリメントの摂取によって一酸化窒素（血管拡張物質）の生理学的利用能を一時的に高めると、一過性のレジスタンス運動後に血管内皮機能が低下しないこと、（2）一過性のレジスタンス運動に伴う血管内皮由来物質の応答に、運動習慣の有無の差はみられないこと、（3）運動習慣を有するもの運動習慣を有しない一般成人とは異なり、一過性のレジスタンス運動後に微細血管の機能が上昇することが挙げられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、なぜ運動トレーニングは一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防するのか、その生理学的メカニズムの一端を示した点において学術的価値が高い。また、社会的意義としては、「一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防する」というこれまでとは異なる視点での運動トレーニングの効果を示した点が挙げられる。

研究成果の概要（英文）：Highly trained individuals with a habit of high-intensity exercise do not experience a decline in endothelial function following acute resistance exercise. This study was conducted to elucidate the physiological mechanisms underlying this phenomenon. The summary of the research findings includes the following points.

(1) Even in sedentary individuals, temporarily enhancing the nitric oxide (a vasodilator) bioavailability by supplementation prevents the endothelial dysfunction following acute resistance exercise. (2) There is no difference in the response of endothelial-derived substances to acute resistance exercise between those with and without an exercise habit. (3) Unlike sedentary individuals, individuals with a habit of exercise experience an improvement in microvascular function after acute resistance exercise.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：レジスタンス運動 血管内皮機能 FMD 一酸化窒素 エンドセリン-1 運動トレーニング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運動習慣のない一般成人の場合、一過性の高強度レジスタンス運動後に血管内皮機能が低下すること、これは運動習慣のある鍛錬者では生じないことは研究開始当初から知られていた。一方、なぜ鍛錬者ではこのような現象が生じるのか、そのメカニズムは十分に明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

運動トレーニングはなぜレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防するのかを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

【研究課題 1】

研究の背景：

鍛錬者における一酸化窒素 (NO) の高い生物学的利用能は、運動トレーニングがレジスタンス運動に伴う血管内皮機能の低下を予防する主要なメカニズムの 1 つである可能性がある。仮にこのことが正ければ、運動トレーニングを継続していない一般成人であっても、何らかの方法で一時的に NO の高い生物学的利用能を獲得した状況を作り出すと、レジスタンス運動をしても血管内皮機能は低下しない、という仮説が成り立つ。そこで研究課題 1 では、一般成人を対象に、NO の生物学的利用能を高めることで知られる硝酸塩サプリメント (ビートルートジュース) を摂取した後におけるレジスタンス運動が血管内皮機能に及ぼす影響を検討した。

方法：

運動習慣のない健康な成人男性 16 名を対象とし、(1) プラセボ条件 (2) 硝酸塩サプリメント条件を設け異なる日に実施した。対象者は各条件での飲料 (プラセボまたは硝酸塩サプリメント) を摂取後、レジスタンス運動 (レッグエクステンション) を行った。具体的な内容は、最大挙上重量の 70% に相当する負荷で 10 回の反復を 60 秒間の休息を挟んで 5 セット行うものであった。セット間の休息中には、収縮時および拡張期血圧を測定した。レジスタンス運動の前後には上腕動脈の血流依存性血管拡張反応 (Flow-mediated dilation: FMD) および血圧を測定した。

結果：

いずれの測定ポイントにおいても、血圧の応答に条件間で差は認められなかった。一方、プラセボ条件では運動後に FMD が低下した (血管内皮機能が悪化した) が、硝酸塩サプリメント条件では同様の応答はみられなかった。

結論：

運動習慣のない一般成人であっても、NO の生物学的利用能を高めるとレジスタンス運動後に血管内皮機能が低下しないことが示唆された。このことは、運動トレーニングが持つレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下予防効果には、NO の生物学的利用能が関わっている可能性があることを示している。

【研究課題 2】

研究の背景：研究課題 1 の結果から、鍛錬者が一過性のレジスタンス運動後に血管内皮機能が低下しないのは、高い NO の生物学的利用能が関連している可能性が示された。一方で、実際に鍛錬者を対象として、一過性のレジスタンス運動に伴う血管内皮細胞由来生理活性物質の応答を検討し、運動習慣のない対象者と比較した研究は存在しない。また、一酸化窒素 (NO) の生物学的利用能と深い関わりがある微小血管の機能が一過性のレジスタンス運動後にどのように変化するかは明らかになっていない。そこで研究課題 2 では、運動習慣のない一般成人と、運動を継続している鍛錬者を対象に、一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能と各種生理応答を比較した。

方法：

運動習慣のない一般成人男性 12 名 (コントロール群) と、レジスタンス運動を少なくとも 2 年以上継続している成人男性 12 名 (運動継続群) を対象に、一過性のレジスタンス運動を実施した。具体的な内容は、研究課題 1 と同様、最大挙上重量の 70% に相当する負荷で 10 回の反復を 60 秒間の休息を挟んで 5 セット行うものであった。レジスタンス運動の前後において、上腕動脈の血流依存性血管拡張反応 (Flow-mediated dilation: FMD) および血圧を測定した。また、採血を実施し、採取した血液成分から血管の収縮に関わる Endothelin-1 と拡張に関わる NOx、

交感神経活動に関わるカテコラミン（エピネフリン、ノルエピネフリン、ドーパミン）を測定した。

結果：

コントロール群は一過性のレジスタンス運動後に FMD が有意に低下した（血管内皮機能が悪化した）。一方で、運動継続群には同様の低下が認められず、FMD の値は維持された。血圧、Endothelin-1、NOx、エピネフリン、ノルエピネフリン、ドーパミンの応答に群間で差は認められなかった。一方、微小血管の機能を反映する FMD 測定中の反応性充血は、運動継続群でのみ一過性のレジスタンス運動後に有意に増加した。つまり、微小血管の機能は一過性のレジスタンス運動後に運動継続群でのみ有意に改善した。

結論：運動トレーニングが持つ一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下予防効果には、運動後における微小血管機能の亢進が関与している可能性があることが明らかになった。

4．研究成果

一連の研究結果から、運動トレーニングが一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防する生理学的背景には、NO の生物学的利用能や微小血管の機能が関与している可能性が示された。一方で、一過性のレジスタンス運動に伴う血管内皮細胞由来物質の応答や交感神経系の応答（血圧やカテコラミン）には運動習慣の有無の差異はみられないことから、これらはメカニズムに関与しないことが明らかになった。

これらの研究成果は、なぜ運動トレーニングは一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防するのか、その生理学的メカニズムの一端を示した点において学術的価値が高い。また、社会的意義としては、「一過性のレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を予防する」というこれまでとは異なる視点での運動トレーニングの効果を示した点が挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Takuma Morishima and Nobukazu Kasai	4. 巻 -
2. 論文標題 Circulating catecholamines, endothelin-1, and nitric oxide releases do not explain the preserved FMD following acute resistance exercise in strength-trained men	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s00421-024-05468-5	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 -
1. 著者名 Yosuke Tsuchiya, Takuma Morishima, Eisuke Ochi	4. 巻 21
2. 論文標題 Slow-speed low-intensity but not normal-speed high-intensity resistance exercise maintains endothelial function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Research Quarterly for Exercise and Sport	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/02701367.2021.2022586	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 -
1. 著者名 Takuma Morishima, Motoyuki Iemitsu, Shumpei Fujie, Eisuke Ochi	4. 巻 133
2. 論文標題 Prior beetroot juice ingestion offsets endothelial dysfunction following prolonged sitting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 69-74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1152/jappphysiol.00200.2022	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 -
1. 著者名 Takuma Morishima and Eisuke Ochi	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of combined aerobic and resistance exercise on serum Klotho secretion in healthy young men -a pilot study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Current Research in Physiology	6. 最初と最後の頁 246-250
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.crphys.2022.06.001	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 -

1. 著者名 Takuma Morishima and Eisuke Ochi	4. 巻 9
2. 論文標題 Impact of a single bout of resistance exercise on serum Klotho in healthy young men	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physiological Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.15087	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 -

[学会発表] 計5件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Takuma Morishima and Nobukazu Kasai
2. 発表標題 Preserved endothelial function in response to acute resistance exercise in strength-trained men is independent of catecholamine and endothelin-1 releases
3. 学会等名 The 28th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日田晴登、出口舞、盛田綾香、森嶋琢真
2. 発表標題 前日の高脂肪食摂取が翌日の主観的心理指標および筋パワー発揮に及ぼす影響
3. 学会等名 第28回日本体力医学会東海地方会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 出口舞、日田晴登、盛田綾香、森嶋琢真
2. 発表標題 前日の高脂肪食摂取が翌日の血圧や血管硬化度、エネルギー代謝に与える影響
3. 学会等名 第28回日本体力医学会東海地方会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 森嶋琢真、家光素行、藤江隼平、越智英輔
2. 発表標題 ビートルートジュースの摂取は長時間の座位行動後における血管内皮機能の低下を予防する
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森嶋琢真
2. 発表標題 長時間の座位行動が血管内皮機能に及ぼす悪影響とその対抗策の提案
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔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