

## 筋運動後における血管内皮機能の低下を予防・回復させる運動プログラムの開発

森嶋, 琢真 / MORISHIMA, Takuma

---

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

科学研究費助成事業 研究成果報告書

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

8

(発行年 / Year)

2021-06-01

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：32675

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17834

研究課題名(和文)筋運動後における血管内皮機能の低下を予防・回復させる運動プログラムの開発

研究課題名(英文) Novel strategies to prevent and restore the resistance exercise-induced endothelial dysfunction

研究代表者

森嶋 琢真 (Morishima, Takuma)

法政大学・スポーツ研究センター・講師

研究者番号：60771706

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：筋運動(いわゆる筋トレ)は、血管の収縮や拡張を調節する因子である血管内皮機能を一時的に低下させる。本研究は、この筋運動後における血管内皮機能の低下を予防・回復させる方法の開発を目的として行われた。

研究成果の概要として、1) 高強度・低反復回数の筋運動では血管内皮機能が低下しないこと、2) 筋運動前の有酸素性運動では血管内皮機能の低下を予防できないこと、3) 筋運動後における有酸素性運動は低下した血管内皮機能を速やかに回復させること、4) 女性は筋運動後に血管内皮機能が低下しないこと、5) 4) のメカニズムには運動中の血圧応答が関与することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、筋運動後に生じる血管内皮機能の低下を予防・回復させる方法を、その生理的メカニズムと共に明らかにした点において学術的意義が高い。また、社会的意義としては、誰もが安心・安全に筋運動を行うための運動プログラムを開発する上での重要な知見になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Resistance exercise leads to a transient impairment in endothelial function that is an independent risk factor of cardiovascular diseases. The purpose of this study was to elucidate the novel strategies to prevent and restore the resistance exercise-induced endothelial dysfunction. As results, we found that 1) high-intensity resistance exercise with low repetitions maintains endothelial function, 2) prior aerobic exercise does not prevent endothelial dysfunction following resistance exercise, 3) short-term aerobic exercise restores endothelial dysfunction after resistance exercise, 4) women do not impair endothelial function following resistance exercise, 5) the mechanism of 4) involves the difference blood pressure responses to resistance exercise between men and women.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：筋運動 有酸素性運動 血管内皮機能 血圧 性差

## 1. 研究開始当初の背景

筋運動後に血管内皮機能が一時的に低下するという現象は以前から知られていた。一方、筋運動後になぜ血管内皮機能が低下するのか、そのメカニズムは十分に明らかになっていなかった。さらには、この低下を予防・回復させる方法は不明であった。すなわち、研究開始当初は、筋運動後に血管内皮機能が低下することが分かりながらも、何ら対策が行われずに運動が行われていた。

## 2. 研究の目的

筋運動後に生じる血管内皮機能の低下を予防・回復させる方法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】

方法：健康な男性 13 名を対象に、1) 中負荷・中反復条件；2) 低負荷・高反復条件；3) 高負荷・低反復条件を設け異なる日に実施した。ベースラインにおいて血圧および血流依存性血管拡張反応 (Flow-mediated dilation: FMD、血管内皮機能の指標) を測定した後、対象者はレッグエクステンションの筋運動を各条件の方法に沿って行った。中負荷・中反復条件では、1RM 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 セット行った。低負荷・高反復回数条件では 1RM の 30 % に相当する負荷で 40 回の反復を 60 秒間の休息を挟んで 5 セット行った。高負荷・低反復条件では 1RM の 85 % に相当する負荷で 3 回の反復を 180 秒間の休息を挟んで 5 セット行った。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。筋運動後には血圧および FMD を再度測定した。

結果：筋運動中の血圧応答は中負荷・中反復条件および低負荷・高反復条件が高負荷・低反復条件に比較して有意に高値を示した。また、中負荷・中反復条件および低負荷・高反復条件後には FMD が有意に低下した (血管内皮機能が悪化した) が、高負荷・低反復条件では FMD は変化しなかった (血管内皮機能が保たれた)。

結論：上述の結果から、高負荷・低反復回数の筋運動では血管内皮機能が低下しないこと、そのメカニズムには筋運動に対する血圧上昇の程度が関連することが明らかになった。

### 【研究課題 2】

方法：17 名の健康な男性を対象者とし、1) 筋運動のみを行う条件 (R 条件)、2) 筋運動後にサイクリングを行う条件 (R + C 条件) を設け異なる日に実施した。ベースラインでの上腕動脈の FMD の測定後、対象者は筋運動を実施した。両条件において、筋運動後、対象者は FMD 測定のために仰臥位で安静を維持した (直後の FMD 測定)。R 条件では、この仰臥位を 60 分間にわたって続けた。一方で、R + C 条件では直後の FMD 測定後、10 分間のサイクリング運動を行った。サ

イクリング後、対象者は再び仰臥位になった。その後、両条件で筋運動 30 分後および 60 分後に FMD を測定した。

結果：R 条件では、筋運動後における血流量および Shear rate (血管内におけるずり応力を反映) の増加は 60 分間の仰臥位安静ののちに消失した。一方で、R + C 条件ではサイクリングによって血流量および Shear rate の上昇は維持された。両条件とも、筋運動直後において上腕動脈の FMD は有意に低下した。この低下は R 条件では 60 分間続いた。しかし、R + C 条件ではその後のサイクリングによって FMD が有意に回復した。

結論：上述の結果から、筋運動後における血管内皮機能の低下は低～中強度のサイクリングによって回復することが明らかになった。

### 【研究課題 3】

方法：12 名の健康な男性を対象とし、1) 筋運動のみを行う条件 (R 条件)、2) 筋運動前にサイクリングを行う条件 (C + R 条件) を設け異なる日に実施した。ベースラインでの上腕動脈の FMD の測定後、R 条件では 45 分間仰臥位での安静を、C + R 条件では 45 分間のサイクリング運動を実施した。45 分間の安静またはサイクリング運動後、対象者は筋運動を実施した。その後、両条件で対象者は仰臥位で安静となり、筋運動直後、30 分後および 60 分後に FMD を測定した。結果：上腕動脈における FMD の応答について、両条件間に有意な交互作用は認められなかった。両条件で筋運動後に FMD が低下し、R 条件では筋運動 30 分後および 60 分後にベースラインに比較して FMD の有意な低下が認められた。

結論：上述の結果から、事前のサイクリングは筋運動後における血管内皮機能の低下を予防しないことが明らかになった。

### 【研究課題 4】

#### 研究課題 4-1

方法：健康な男女 29 名を対象とし、相対的に同一強度 (最大筋力の 65%) での筋運動の前後において上腕動脈の FMD および血圧を測定した (血圧は運動中も測定)。なお、すべての女性は前卵胞期に実験を実施した。

結果：筋運動中の収縮期血圧は男性が女性に比較して有意に高値を示した。また、男性は筋運動後に FMD が有意に低下したが、女性では変化がみられなかった。

結論：研究課題 4-1 の結果から、相対的に同一強度で筋運動をした場合、男性のみで血管内皮機能が悪化する事が明らかになった。また、この血管内皮機能の男女差には筋運動中における血圧応答の差異が関連している可能性が示された。

そこで研究課題 4-2 では、男性における筋運動中の血圧上昇が血管内皮機能の変化に及ぼす影響を検討する事を目的とした。

#### 研究課題 4-2

方法：研究課題 4-1 に参加した男性 16 名を対象に、筋運動中の血圧応答を研究課題 4-1 における女性の血圧応答と同様まで下げた場合の血管内皮機能の変化を検討した。血圧応答を男女間で合わせるため、筋運動の強度を最大筋力の 25%まで下げた。その前後において上腕動脈の FMD および血圧を測定した。

結果：筋運動中の収縮期血圧は男女間で有意差はみられなかった。また、男性は筋運動後にも関わらず FMD が低下せず、男女間で有意差は認められなかった。

結論：以上の結果から研究課題 4 では、筋運動をした場合、血管内皮機能の悪化は男性のみでみ

られる事、その機序には筋運動中の急激な血圧上昇が関連す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、1) 高強度・低反復回数の筋運動では血管内皮機能が低下しないこと、2) 筋運動前の有酸素性運動では血管内皮機能の低下を予防できないこと、3) 筋運動後における有酸素性運動は低下した血管内皮機能を速やかに回復させること、4) 女性は筋運動後に血管内皮機能が低下しないこと、5) 4) のメカニズムには運動中の血圧応答が関与することが明らかになった。

これらの研究成果は、筋運動後に生じる血管内皮機能の低下を予防・回復させる方法を、その生理的メカニズムと共に明らかにした点において学術的意義が高い。また、社会的意義としては、誰もが安心・安全に筋運動を行うための運動プログラムを開発する上での重要な知見になると考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9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, Motoyuki Iemitsu, and Eisuke Ochi.	4. 巻 29
2. 論文標題 Short-term cycling restores endothelial dysfunction after resistance exercise.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine Science in Sports.	6. 最初と最後の頁 1115-1120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.13434	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, Masahira Toyoda, and Eisuke Ochi.	4. 巻 119
2. 論文標題 Prior cycling exercise does not prevent endothelial dysfunction after resistance exercise.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology.	6. 最初と最後の頁 1663-1669
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-019-04154-1	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, Jaume Padilla, and Eisuke Ochi.	4. 巻 45
2. 論文標題 Eight weeks of fish oil supplementation does not prevent sitting-induced leg endothelial dysfunction.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism.	6. 最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1139/apnm-2019-0138	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, Yosuke Tsuchiya, Katsunori Tsuji, and Eisuke Ochi.	4. 巻 52
2. 論文標題 Sitting-induced endothelial dysfunction is prevented in endurance-trained individuals.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Medicine and Science in Sports and Exercise.	6. 最初と最後の頁 1770-1775
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000002302	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, Yosuke Tsuchiya, Motoyuki Iemitsu, and Eisuke Ochi.	4. 巻 315
2. 論文標題 High-intensity resistance exercise with low repetitions maintains endothelial function.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology.	6. 最初と最後の頁 681-686
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpheart.00281.2018	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 Eisuke Ochi, Kenichi Yanagimoto, Takuma Morishima, and Yosuke Tsuchiya.	4. 巻 38
2. 論文標題 Eicosapentaenoic acid-rich fish oil supplementation inhibits the decrease in concentric work output and muscle swelling of the elbow flexors.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American College of Nutrition.	6. 最初と最後の頁 125-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/ajpheart.00281.2018	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, Mamoru Ito, Yosuke Tsuchiya, Hisashi Ueda and Eisuke Ochi.	4. 巻 179
2. 論文標題 Physical characteristics and fitness in elite collegiate baseball players in Japan: Comparison of pitchers vs. fielders.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Gazzetta Medica Italiana. Archivio per le scienze mediche.	6. 最初と最後の頁 136-142
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0393-3660.19.04048-8	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, Jaume Padilla, Yosuke Tsuchiya, and Eisuke Ochi.	4. 巻 129
2. 論文標題 Maintenance of endothelial function following acute resistance exercise in females is associated with a tempered blood pressure response.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology.	6. 最初と最後の頁 792-799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.00378.2020	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, Yosuke Tsuchiya, Hisashi Ueda, and Eisuke Ochi.	4. 巻 8
2. 論文標題 Muscular endurance and muscle metabolic responses to 8 weeks of omega-3 polyunsaturated fatty acids supplementation.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiological Reports.	6. 最初と最後の頁 e14546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.14546	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 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Takuma Morishima, Motoyuki Iemitsu, and Eisuke Ochi.
2. 発表標題 Short-term cycling restores endothelial dysfunction after resistance exercise.
3. 学会等名 66th Annual Meeting of American College of Sports Medicine. (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森嶋琢真、家光素行.
2. 発表標題 短時間のサイクリングはレジスタンス運動後における血管内皮機能の低下を回復させる.
3. 学会等名 第27回日本運動生理学会大会.
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森嶋琢真、土屋陽祐、植田央、街勝憲、越智英輔.
2. 発表標題 持久性アスリートは長時間の座位後に血管内皮機能が低下しない.
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会.
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Takuma Morishima, Yosuke Tsuchiya, Motoyuki Iemitsu, and Eisuke Ochi.
2. 発表標題 High-intensity resistance exercise with low repetitions maintains endothelial function.
3. 学会等名 Euro Physiology. (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takuma Morishima, Yosuke Tsuchiya, Katsunori Tsuji, and Eisuke Ochi.
2. 発表標題 Sitting-induced endothelial dysfunction is prevented in endurance-trained individuals.
3. 学会等名 67th Annual Meeting of American College of Sports Medicine. (国際学会)
4. 発表年 2020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