

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：34452

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2023

課題番号：20K23304

研究課題名（和文）動脈機能の改善を目的とした運動と骨格筋電気刺激の併用が動脈機能に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effect on the arterial function of combined exercise and electrical muscle stimulation for improving the arterial function

研究代表者

中村 みづき（Nakamura, Mizuki）

大阪行岡医療大学・医療学部・助教

研究者番号：70880269

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、上肢の有酸素性運動と下肢への骨格筋電気刺激（EMS）の併用運動が血管内皮機能に及ぼす影響について、EMSの強度に着目し研究を実施した。その結果、中強度の上肢クランク運動と最大耐性強度（100%）のEMSと中強度の上肢クランク運動と50%強度のEMSを併用させる運動では、両条件ともに運動前と比較して運動終了後に血管内皮機能が向上し、さらに両条件間で血管内皮機能に及ぼす影響に差は認められなかった。このことは、中強度の上肢クランク運動と最大耐性強度の下肢EMSの併用運動が実施困難な低体力者において、EMSの強度を中強度に下げた場合でも血管内皮機能を向上させる可能性を示唆している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下肢を中心とした有酸素性運動はリハビリテーションの現場でも広く用いられているが、医療現場では、疼痛、麻痺により実施困難な場合がある。これまで、中強度の有酸素性運動と最大耐性強度の下肢へのEMSの併用運動が血管内皮機能を高めることを明らかにしたが、より臨床へ適応させるためには運動強度を下げる必要があった。研究の社会的意義は、下肢を中心とした有酸素性運動の実施が困難な者において、中強度の上肢クランク運動と中強度の下肢へのEMSを併用した運動が血管内皮機能および呼吸循環機能を向上させる可能性が示唆され、麻痺、疼痛、低体力者などより多くの対象者へ適応可能な新たな運動療法の一つとなり得る点である。

研究成果の概要（英文）：Arm-cranking exercises combined with electrical muscle stimulation (EMS) of the lower limbs at maximum intensity enhance vascular endothelial function. To bring this procedure into clinical application, we examined the effects of acute arm-cranking exercise combined with lower-extremity EMS at different intensities on vascular endothelial function. The combination of arm-cranking exercise and 50% intensity EMS appears to be a clinically applicable program for improving vascular endothelial function, even with reduced exercise intensity.

研究分野：呼吸循環

キーワード：有酸素性運動 骨格筋電気刺激 血管内皮機能

### 1. 研究開始当初の背景

心疾患は我が国の死亡原因第2位であり、動脈硬化、高血圧を予防・改善することは極めて重要である。ジョギング、自転車こぎ運動などの下肢を中心とした有酸素性運動は血管内皮機能を改善・向上させ動脈硬化、高血圧のリスク低下に貢献するが、実際の臨床現場では股関節・膝関節の変形性関節症、下肢の麻痺を伴うことにより、下肢を中心とした有酸素性運動を十分に実施することが困難な場合がある。これまでに、中強度の上肢の有酸素性運動と最大耐性強度の下肢への骨格筋電気刺激 (electrical muscle stimulation: EMS) の併用運動が上腕動脈の血管内皮機能を向上させることを明らかにした。しかし、運動強度の観点から疾患による身体活動量の低下、廃用により低体力状態の患者も少なくはないため、運動によるリスクを伴う可能性がある。これらのことから、上肢と下肢の併用運動のプログラムを臨床適応させるためには、患者の運動による様々なリスクを考慮しつつも、動脈硬化、高血圧予防・改善を目的とした本プログラムを低強度化する必要性がある。

### 2. 研究の目的

異なる強度の上肢の有酸素性運動と下肢への EMS の併用運動が血管内皮機能に及ぼす影響を検討し、臨床応用を目的とした上肢の有酸素性運動と下肢への EMS を併用させた新たな運動プログラムを確立することを目的とした。

### 3. 研究の方法

#### (1) 対象

健康な成人男性 8 名を対象に、中強度の上肢クランク運動と最大耐性強度の EMS を併用させる条件 (A+100%EMS 条件)、50%強度の EMS を併用させる条件 (A+EMS50%条件)、25%強度の EMS を併用させる条件 (A+25%EMS 条件) をそれぞれランダムに 20 分間実施させた。血管内皮機能を反映する血流依存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD)、血圧、心拍数は、安静時および運動終了 30 分後に測定した (Fig.1)。

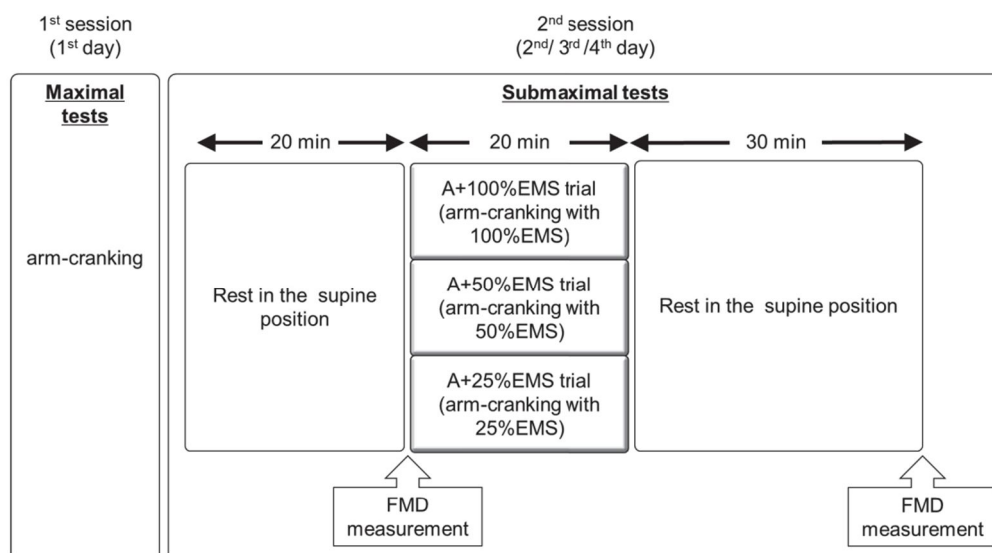


Fig.1 Experimental protocol of test sessions. All subjects performed each test in random order. EMS: electrical muscle stimulation, FMD: flow-mediated dilation

#### (2) 上肢における最大酸素摂取量の測定

中強度の上肢クランク運動の強度を設定するために、全ての被験者に対して、上肢クランク運動による漸増運動負荷試験を実施し、最大酸素摂取量を測定した。被験者は、3分間安静後、6Wの負荷から開始し、1分毎に6Wずつ漸増させた。 $\dot{V}O_2$ の決定には、 $\dot{V}O_2$ の leveling off、予測最大心拍数 (220 - 年齢) 以上、呼吸交換率が 1.1 以上、および Borg scale が 19 以上のうち、2項目が該当することを条件とした。

#### (3) 上腕動脈の血圧、血管径、血流速度、および血流依存性血管拡張反応の測定

本研究では、血管内皮機能を反映する血流依存性血管拡張反応 (flow-mediated dilation: FMD) を血管内皮機能検査装置を用いて、上腕の血圧、上腕動脈の血管径 (diameter: Di)、血流速度 (flow velocity: FV) をそれぞれ測定した。FMD は以下の式を用いて算出された。

$$FMD (\%) = \{(Di_{peak} - Di_{base}) / Di_{base}\} \times 100$$

また、運動による血流速度の影響を考慮するため、最大ずり速度 (peak shear rate: PSR)

を算出し、以下の式を用いて FMD を標準化した。

$$\text{PSR} = (\text{FV peak}) - (\text{FV base}) / \text{Di base}$$

$$\text{nFMD (a.u.)} = \text{FMD (\%)} / \text{PSR}$$

#### (4) 骨格筋電気刺激

本研究では、理学診療用器具低周波治療器を用いて、ベルト電極を腰部（臍上部）、両側大腿部、および両側足関節部（足関節上部）の計5箇所装着し、体幹筋から両側足関節までの範囲を刺激した。周波数は4Hz、パルス幅250 $\mu$ s、指数関数的漸増派とし、刺激強度は最大耐性強度 $\sim$ 25%強度とした。ベルト型電極は、ぬるま湯または水を十分に浸透させた後に装着した。

#### (5) 運動中の $\dot{V}O_2$ およびHR

各条件中には、自動呼吸ガス分析装置を用いて、運動中の酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）を測定し、心拍数（HR）はハートレートモニターを用いて30秒ごとにそれぞれ測定した。

### 4. 研究成果

#### (1) 酸素摂取量および心拍数の変化

各条件中の酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）および心拍数（HR）はFig.2および3に示す通りである。運動中の $\dot{V}O_2$ は、A+100%EMS条件では、運動開始5分と比較して、運動開始20分後に有意な増加が認められ、運動開始5分および10分ではA+25%EMS条件と比較して高い値を示した。HRは、A+25%EMS条件と比較してA+100%EMS条件において、運動開始5分から20分まで高い値を示し、運動開始5分および20分ではA+50%EMS条件と比較しても、有意に高い値を示した。

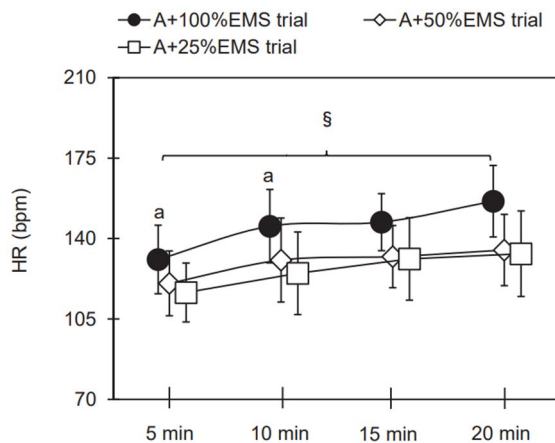


Fig.2 Changes in heart rate (HR) during each trial. Values are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD). <sup>a</sup>p<0.05 vs. A+25%EMS trial, <sup>b</sup>p<0.05 vs. 5min. A: arm-cranking exercise EMS: electrical muscle stimulation

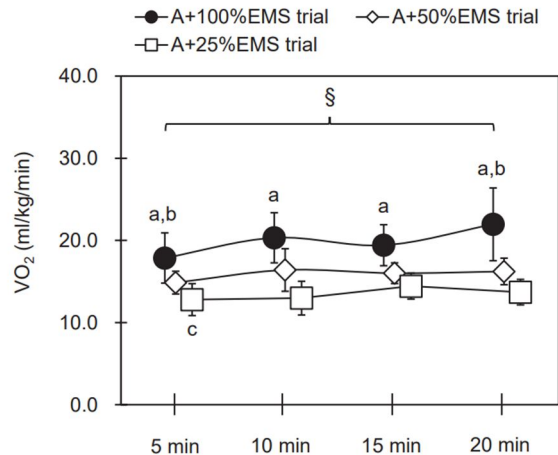


Fig.3 Changes in oxygen uptake ( $\dot{V}O_2$ ) during each trial. Values are presented as mean  $\pm$  standard deviation (SD). <sup>a</sup>p<0.05 vs. A+25%EMS trial, <sup>b</sup>p<0.05 vs. A+50%EMS trial, <sup>c</sup>p<0.05 vs. A+50%EMS trial, <sup>s</sup>p<0.05 vs. 5min.

#### (2) 各条件前後におけるFMDの変化

血管内皮機能を反映する nFMD の変化は Fig.4 に示すとおりである。A+100%EMS 条件および A+50%EMS 条件においては、運動前と比較して運動終了30分後に nFMD が増加し有意な差が認められた。さらに、A+100%EMS 条件および A+50%EMS 条件において条件間に有意な差は認められなかった。A+25%EMS 条件では、運動前後で nFMD に変化は認められなかった。

このことから、下肢の EMS の強度を 50% にした場合でも血管内皮機能を増加させることが明らかとなり、一方で刺激強度を 25% とすると血管内皮機能に及ぼす影響は小さいことが示唆された。

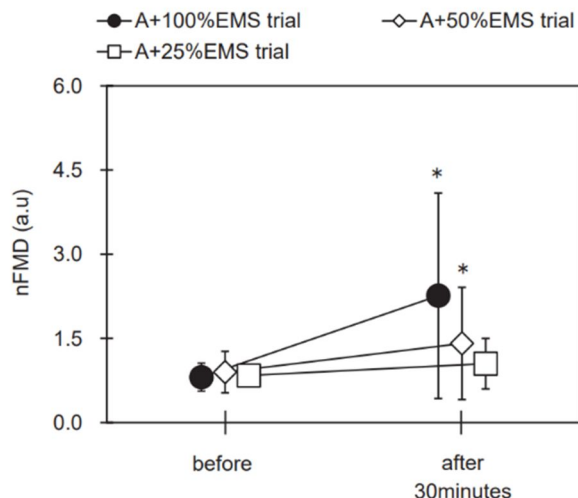


Fig. 4 Changes in normalized flow-mediated dilation (nFMD) before and after each trial. \*p<0.05 vs. before.

本研究は、中強度の上肢の有酸素性運動と異なる強度の下肢への EMS の併用運動が上腕動脈の血管内皮機能に及ぼす影響について検討をした。その結果、A+100%EMS 条件および A+50%EMS 条件において、安静時と比較して運動終了 30 分後に nFMD が高値を示し、有意な差が認められた。また、運動終了 30 分後において両条件間に有意な差は認められなかった。A+25%EMS 条件においては、著明な変化は認められなかった。このことから、中強度の上肢クランク運動と 50%強度の下肢への EMS を併用した運動が血管内皮機能および呼吸循環機能を向上させる可能性が示唆され、麻痺、疼痛、低体力者などより多くの対象者へ適応可能な新たな運動療法の一つとなり得ることが示唆された。

今後は、本プログラムによる下肢の疼痛、麻痺、低体力者など様々な疾患を抱える患者の血管内皮機能に対する有効性を検討することにより、本プログラムをより確立していく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 ISHIKAWA Mizuki、MIURA Hajime、TAMURA Yasuaki、MURAKAMI Ayako	4. 巻 25
2. 論文標題 Effect of Electrical Muscle Stimulation on Vascular Endothelial Function during Prolonged Sitting	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Therapy Research	6. 最初と最後の頁 127 ~ 133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1298/ptr.E10191	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 -

1. 著者名 Tamura Yasuaki、Miura Hajime、Deguchi Kenichi、Hashimoto Yuji、Deguchi Junji、Murakami Ayako、Ishikawa Mizuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Effects of repetition exercise training on vascular endothelial function in healthy men	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 221 ~ 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7600/jpfsm.11.221	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 Miura Hajime、Ishikawa Mizuki、Murakami Ayako、Tamura Yasuaki、Deguchi Kenichi	4. 巻 43
2. 論文標題 Effects of Arm-cranking Training with Electrical Muscle Stimulation on Vessel Function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 34 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1510-9135	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 三浦 哉、西村 里奈、出口 純次、石川 みづき、田村 靖明、村上 亜弥子	4. 巻 49
2. 論文標題 下肢への電気刺激部位の違いが動脈機能に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 理学療法学	6. 最初と最後の頁 348 ~ 353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15063/rigaku.12263	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 Hajime Miura, Mizuki Ishikawa, Ayako Azuma, Yasuaki Tamura, Kenichi Deguchi	4. 巻 43
2. 論文標題 Effects of arm-cranking training with electrical muscle stimulation on vessel function	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 34-40
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 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 Mizuki Nakamura, Hajime Miura, Ayako Murakami, Yasuaki Tamura	4. 巻 14
2. 論文標題 Effects of acute arm-cranking exercise with electrical muscle stimulation at different intensities on vascular endothelial function	5. 発行年 2025年
3. 雑誌名 J Phys Fitness Sports Med	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) なし	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 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石川みづき, 三浦哉, 田村靖明, 村上垂弥子
2. 発表標題 一過性の上肢の有酸素性運動と異なる強度の骨格筋電気刺激が血管内皮機能に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 出口純次, 三浦哉, 田村靖明, 石川みづき, 西村里奈, 松村祐介
2. 発表標題 インターバル運動が筋力発揮調整能の促進に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年 ~ 2023年

1. 発表者名 村上亜弥子, 三浦哉, 石川みづき, 田村靖明, 西村里奈, 出口純次
2. 発表標題 一過性の騒音曝露時におけるトリゴネリン含有サプリメントの摂取が動脈機能に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 西村里奈, 三浦哉, 田村靖明, 石川みづき, 村上亜弥子, 出口純次
2. 発表標題 一過性の自転車こぎ運動と下肢への電気刺激の併用が動脈スティフネスに及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 三浦哉, 西村里奈, 出口純次, 石川みづき, 村上亜弥子, 田村靖明
2. 発表標題 下肢への電気刺激部位の違いが動脈スティフネスに及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年～2023年

1. 発表者名 石川 みづき
2. 発表標題 長時間座位作業中の骨格筋電気刺激が血管内皮機能に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦 哉
2. 発表標題 自転車こぎ運動と下肢への電気刺激の併用が血管内皮機能に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西村 里奈
2. 発表標題 高強度ジャンプエクササイズ後の骨格筋電気刺激が酸化ストレスマーカーに及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出口 純次
2. 発表標題 定期的な有酸素性運動および筋力発揮調整能課題の併用トレーニングが筋力発揮調整機能に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021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
---------	---------