

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16497

研究課題名(和文) 虚血プレコンディショニングによる運動能力増加の効果基盤の解明と長期介入効果の検討

研究課題名(英文) Acute and long-term effects of ischemic preconditioning on endurance performance

研究代表者

菅 唯志 (Suga, Tadashi)

立命館大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：30708673

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、一過性運動に先駆けて、運動肢に短時間の虚血・再灌流を複数回繰り返す虚血プレコンディショニング(IPC)を施行することで、全身性ならびに局所持久能が増加することを明らかにした。さらに、IPCを施行することで、運動中の骨格筋酸素化動態が促進されることから、IPCによる運動持久能の増加は、骨格筋ミトコンドリア機能の活性化に関連する可能性を示唆した。また、本研究は、IPCと非運動肢にIPCを施行する遠隔IPC(RIPC)が運動持久能の増加に及ぼす異なる生理基盤を介している可能性を見出し、長期介入によって運動持久能を高めるためには、RIPCよりもIPCが有効であることを示唆する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：The present study determined that ischemic preconditioning (IPC), which is directly applied to exercising muscle, could enhance exercise endurance during both the whole-body and local exercises. Furthermore, the present study found that the enhanced exercise performance might due to increased skeletal muscle function, via potentially accelerating local oxygen dynamics. In addition, the present study determined that remote IPC (RIPC), which is indirectly applied to non-exercising muscle, could enhance endurance performance during whole-body exercise. However, the present study found that the enhanced exercise performance might due to increased pulmonary oxygen dynamics, but not local oxygen dynamics. Furthermore, RIPC could not enhance exercise endurance during local exercise. Therefore, the present study suggest that IPC, rather than RIPC, may be effective for long-term beneficial effect on exercise performance because of increased skeletal muscle function.

研究分野：応用健康科学

キーワード：骨格筋 ミトコンドリア機能 酸素消費動態 一酸化窒素

1. 研究開始当初の背景

虚血プレコンディショニング (IPC) は、あらかじめ臓器障害が起こらない程度の短時間の非致死性虚血を施行することで、その後の長時間にわたる致死性虚血に対して臓器保護作用をもたらす予防的処置として有効性が解明されてきた。また、IPC は、直接的に臓器 (例えば心臓) に施行しなくても遠隔臓器 (例えば骨格筋) に施行することで同等の効果が生じることも明らかにされており、これを遠隔 IPC (RIPC) と呼称されている。

近年、ヒトにおいて RIPC の臨床試験が行われ、心臓手術に先立って RIPC を施行することによって術後の臓器炎症や予後を改善することが報告され、その臨床的有効性が示されている (Thielmann et al. *Lancet*, 2013)。さらに、最近、スポーツ科学分野でも IPC の効果が検証され、有酸素運動能力の増加に効果があることが示された (例えば Crisafulli et al. *J Appl Physiol*, 2012)。また、IPC を施行しても運動中の心血管応答に変化が生じないことが明らかにされていることから、IPC による有酸素運動能力の増加は、局所骨格筋の適応に依存する可能性が推察される。

2. 研究の目的

本研究は、IPC による一過性の運動能力増加の効果基盤の解明と長期介入効果を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するため、以下の研究課題を設定した。

- (1) 多段階全身性運動中の運動持続時間と全身ならびに局所酸素消費動態におよぼす IPC の効果の検証
- (2) 局所筋持久性運動中の運動持続時間と全身ならびに局所酸素消費動態におよぼす IPC の効果の検証
- (3) 多段階全身性運動中の運動持続時間と全身ならびに局所酸素消費動態におよぼす RIPC の効果の検証
- (4) 局所筋持久性運動中の運動持続時間と全身ならびに局所酸素消費動態におよぼす RIPC の効果の検証

4. 研究成果

本研究の成果として、IPC を施行することにより、全身性ならびに局所筋持久性運動中の運動持続時間が増加することを明らかにした (Kido, Suga et al. *Physiol Rep* 3, 2015; Tanaka, Suga et al. *Int J Sports Med* 37, 2016)。さらに、IPC を施行することにより、運動中の骨格筋酸素化動態が促進されることから、IPC によって生じた運動持久能の増加は、骨格筋ミトコンドリア機能の活性化に関連する可能性を示唆した。

また、IPC と同様に RIPC を施行しても全身性運動中の運動持続時間が増加すること

を明らかにした (Kido, Suga et al. in review)。しかしながら、RIPC を施行した場合は、IPC を施行した場合に認められた骨格筋酸素化動態の促進でなく、全身性の酸素消費動態の促進が認められた。さらに、RIPC は、局所筋持久性運動中の運動持続時間および骨格筋酸素化動態におよぼす効果を認めなかった (投稿準備中)。したがって、運動持久能におよぼす IPC と RIPC の有益な効果は、異なる生理的機序によって生じる可能性が示唆された。また、RIPC は、骨格筋持久能の増加に有効ではない可能性が示唆されたことをふまえて、長期介入によって運動能力および骨格筋ミトコンドリア機能を高めるためには、RIPC よりも IPC が有効である可能性が推察された。

5. 主な発表論文等

(雑誌論文) (計 12 件)

- 1) Morimoto A, Suga T*, Tottori N, Wachi M, Misaki J, Tsuchikane R, Isaka T. Association between hand muscle thickness and whole-body skeletal muscle mass in healthy adults; A pilot study *J Phys Ther Sci*, 2017, 査読有. *Corresponding author
- 2) Wachi M, Suga T*, Higuchi T, Misaki J, Tsuchikane R, Tanaka D, Miyake Y, Kanazawa N, Isaka T. Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscles size in athletes; a study focused on baseball batters. *J Phys Ther Sci*, 2017, 査読有. *Corresponding author
- 3) Tanaka T, Suga T*, Otsuka M, Misaki J, Miyake Y, Kudo S, Nagano A, Isaka T. Relationship between the length of the forefoot bones and performance in male sprinters. *Scand J Med Sci Sports*, 2017, 査読有. DOI: 10.1111/sms.12857. *Corresponding author
- 4) Yokota T, Kinugawa S, Hirabayashi K, Suga T, Takada S, Omokawa M, Kadoguchi T, Takahashi M, Fukushima A, Matsushima S, Yamato M, Okita K, Tsutsui H. Pioglitazone improves whole-body aerobic capacity and skeletal muscle energy metabolism in patients with metabolic syndrome. *J Diabetes Investig*. 2017, 査読有. DOI: 10.1111/jdi.12606.
- 5) Tsuchikane R, Higuchi T, Suga T, Wachi M, Misaki J, Tanaka D, Miyake Y, Isaka T. Relationships between bat swing speed and muscle thickness and asymmetry in collegiate baseball players. *Sports* 5, 33, 2017, 査読有. DOI: 10.3390/sports5020033
- 6) Wachi M, Suga T*, Higuchi T, Misaki J,

- Tsuchikane R, Tanaka D, Miyake Y, Isaka T. Applicability of ultrasonography for evaluating trunk muscle size: a pilot study. *J Phys Ther Sci* 29, 245-249, 2017, 査読有. DOI: 10.1589/jpts.29.245.
*Corresponding author
- 7) Miyake Y, Suga T*, Otsuka M, Tanaka T, Misaki J, Kudo S, Nagano A, Isaka T. The knee extensor moment arm is associated with performance in male sprinters. *Eur J Appl Physiol* 117, 533-539, 2017, 査読有. DOI: 10.1007/s00421-017-3557-5.
*Corresponding author
- 8) Tsukamoto H, Takenaka S, Suga T*, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. Effect of exercise intensity and duration on postexercise executive function. *Med Sci Sports Exerc* 49, 774-784, 2017, 査読有. DOI: 10.1249/MSS.0000000000001155.
*Corresponding author
- 9) Tsukamoto H, Suga T*, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Ogoh S, Hashimoto T. Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males. *Physiol Behav* 160, 26-34, 2016, 査読有. DOI: 10.1016/j.physbeh.2016.03.029
- 10) Tanaka D, Suga T*, Tanaka T, Kido K, Honjo T, Fujita S, Hamaoka T, Isaka T. Ischemic preconditioning enhances muscle endurance during sustained isometric exercise. *Int J Sports Med* 37, 614-618, 2016, 査読有. DOI: 10.1055/s-0035-1565141.
*Corresponding author
- 11) Tsukamoto H, Suga T*, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiol Behav* 155, 224-230, 2016, 査読有. DOI: 10.1016/j.physbeh.2015.12.021.
*Corresponding author
- 12) Kido K, Suga T*, Tanaka D, Honjo T, Homma T, Fujita S, Hamaoka T, Isaka T. Ischemic preconditioning accelerates muscle deoxygenation dynamics and enhances exercise endurance during the work-to-work test. *Physiol Rep* 3, e12395, 2015, 査

読有. DOI: 10.14814/phy2.12395.

*Corresponding author

〔学会発表〕(計 34 件)

- 1) 森本晃央, 菅 唯志, 鳥取伸彬, 和智道生, 御前 純, 土金 諒, 小山田悠希, 伊坂忠夫. 手掌筋厚と全身筋量の関連: 健常若年者を対象としたパイロット研究. 京都滋賀体育学会第 146 回大会 (2017 年 3 月 5 日, 京都府京都市, 龍谷大学深草学舎)
- 2) 小山田悠希, 菅 唯志, 和智道生, 御前純, 土金 諒, 堀 美幸, 樋口貴俊, 伊坂忠夫. 野球競技者における体幹筋の左右非対称性は投打の同側競技者に比較して逆側競技者において抑制される. 京都滋賀体育学会第 146 回大会 (2017 年 3 月 5 日, 京都府京都市, 龍谷大学深草学舎)
- 3) 富田大智, 菅 唯志, 田中貴大, 上野弘聖, 三宅悠斗, 大塚光雄, 長野明紀, 伊坂忠夫. 400m 走競技選手における足趾骨長と競技パフォーマンスの関連. 京都滋賀体育学会第 146 回大会 (2017 年 3 月 5 日, 京都府京都市, 龍谷大学深草学舎)
- 4) Takumi Yokokawa, Tadashi Suga, Kohei Kido, Satoshi Ato, Tatsuya Hayashi, Satoshi Fujita, Tadao Isaka. Chronic exercise regulates the expression of mitochondrial sirtuins in murine skeletal muscle. *International Sports Science Network Forum in Nagano 2016* (2016 年 11 月 10 日, 長野県松本市, ホテルブエナビスタ)
- 5) 三宅悠斗, 菅 唯志, 伊坂忠夫. 膝関節伸筋群の疲労がゴルフスウィングに与える影響. 第 29 回日本トレーニング科学会大会 (2016 年 10 月 29 日, 神奈川県横浜市, 桐蔭横浜大学)
- 6) 田中大智, 菅 唯志, 伊坂忠夫. 遠隔虚血プレコンディショニングが骨格筋持久力におよぼす影響. 第 29 回日本トレーニング科学会大会 (2016 年 10 月 29 日, 神奈川県横浜市, 桐蔭横浜大学)
- 7) 土金 諒, 樋口貴俊, 菅 唯志, 田中大智, 三宅悠斗, 伊坂忠夫. 中学生期野球選手におけるバットスイング速度と体幹筋厚の関連. 第 29 回日本トレーニング科学会大会 (2016 年 10 月 29 日, 神奈川県横浜市, 桐蔭横浜大学)
- 8) 鳥取伸彬, 菅 唯志, 伊坂忠夫, 藤田 聡. 児童期スプリンターにおける疾走能力と体幹および下肢の筋横断面積の関係. 第 29 回日本トレーニング科学会大会 (2016 年 10 月 29 日, 神奈川県横浜市, 桐蔭横浜大学)
- 9) 鳥取伸彬, 菅 唯志, 三宅龍樹, 三宅悠斗, 藤田聡. 児童期スプリンターにおけ

- る疾走能力と膝関節伸展・屈曲筋量および筋力の関連．第 71 回日本体力医学会大会(2016年9月24日,岩手県盛岡市,盛岡市民文化ホール・いわて県民情報交流センター)
- 10) 森理紗子,横川拓海,木戸康平,阿藤聡,三宅龍樹,菅 唯志,伊坂忠夫,藤田聡．慢性運動および不活動が骨格筋におけるGPR56の発現量に及ぼす影響の検討．第 71 回日本体力医学会大会(2016年9月24日,岩手県盛岡市,盛岡市民文化ホール・いわて県民情報交流センター)
 - 11) 堀 美幸,菅 唯志,和智道生,御前 純,土金 諒,小山田悠希,長野明紀,伊坂忠夫．関節モーメントアームと固有筋力．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月14日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 12) 和智道生,菅 唯志,樋口貴俊,御前 純,土金 諒,三宅悠斗,田中大智,小山田悠希,伊坂忠夫．野球選手における体幹筋の発育特性に関する横断的研究．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月14日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 13) 小山田悠希,菅 唯志,和智道生,樋口貴俊,御前 純,土金 諒,三宅悠斗,田中大智,伊坂忠夫．野球競技選手における体幹筋の左右差に局在性は存在するか? 第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月14日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 14) 三宅悠斗,菅 唯志,泉本洋香,土金 諒,伊坂忠夫．膝関節伸展筋の疲労とゴルフスウィングパフォーマンスの関連．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月14日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 15) 田中大智,菅 唯志,浜岡隆文,伊坂忠夫．近赤外分光装置を用いた酸化ヘモグロビン・ミオグロビン動態から捉える骨格筋ミトコンドリア機能:一過性運動からの検証．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月13日),滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 16) 土金 諒,樋口貴俊,菅 唯志,和智道生,御前 純,田中大智,三宅悠斗,伊坂忠夫．野球選手におけるバットスイング速度と体幹筋厚の関連:高校野球選手と大学野球選手の比較．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月13日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 17) 上野弘雅,菅 唯志,三宅悠斗,高尾憲司,長野明紀,伊坂忠夫．長距離選手と短距離選手におけるアキレス腱と膝蓋腱の種目特異的腱肥大．第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月12日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 18) Yusuke Izui, Tadashi Suga, Toshiyuki Kurihara, Tadao Isaka, Masahiro Fujimoto, Akinori Nagano. The relationship between the physical characteristics and the dynamic of running jump take-off in high jumpers. 第 24 回日本バイメカニクス学会大会(2016年9月12日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 19) Tsukamoto H, Suga T, Ishibashi A, Takenaka S, Goto K, Ebi K, Isaka T, Hashimoto T. A combination of acute dynamic exercise and flavanol-rich cocoa consumption additively improve executive function in human. The 21st annual Congress of the European College of Sport Science (July 6, 2016, Vienna, Austria)
 - 20) Takenaka S, Tsukamoto H, Suga T, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. Role of acute moderate-intensity dynamic exercise duration on post-exercise executive function. American college of sports medicine's 63rd Annual Meeting (June 2, 2016, Boston, USA).
 - 21) Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Tanaka D, Takeuchi T, Hamaoka T, Isaka T, Ogoh S, Hashimoto T. The impact of exercise-induced lactate on executive function after high-intensity interval exercise in humans. American college of sports medicine's 63rd Annual Meeting (June 2, 2016, Boston, USA)
 - 22) 奥谷 仁,菅 唯志,若宮美咲,伊坂忠夫,長野明紀．110m ハードル選手の大腰筋の形態的特徴．第 28 回日本トレーニング科学会大会(2015年11月15日,鹿児島県鹿屋市,鹿屋体育大学)
 - 23) 三宅悠斗,菅 唯志,大塚光雄,田中貴大,御前 純,工藤将馬,長野明紀．短距離走選手における下腿三頭筋の筋形態とパフォーマンスの関係．スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015(2015年10月30日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
 - 24) 御前 純,樋口貴俊,菅 唯志,和智道生,土金 諒,田中大智,伊坂忠夫．大学野球選手におけるバットスイング停止能力と体幹筋厚の関連．第 70 回日本体力医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアパローム)
 - 25) 土金 諒,樋口貴俊,菅 唯志,和智道生,御前 純,田中大智,伊坂忠夫．大学野球選手におけるバットスイング速度と体幹筋厚の関連．第 70 回日本体力

- 医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 26) 田中大智,菅 唯志,塚本敏人,武中沙葵,浜岡隆文,橋本健志,伊坂忠夫.運動後認知機能亢進に及ぼす運動と音楽の併用効果の検討.第70回日本体力医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 27) 田中貴大,菅 唯志,大塚光雄,御前 純,三宅悠斗,長野明紀,伊坂忠夫.短距離走選手における足趾筋の特異的発達.第70回日本体力医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 28) 上野弘聖,菅 唯志,高尾憲司,田中貴大,御前 純,長野明紀.伊坂忠夫.長距離走選手におけるアキレス腱長とランニングエコノミーの関係.第70回日本体力医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 29) 三宅悠斗,菅 唯志,大塚光雄,田中貴大,御前 純,長野明紀,伊坂忠夫.短距離走選手のスプリントパフォーマンスと膝関節モーメントアーム長の関連.第70回日本体力医学会大会(2015年9月20日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 30) 武中沙葵,塚本敏人,菅 唯志,田中大智,浜岡隆文,伊坂忠夫,橋本健志.運動後の実行機能亢進を持続させるための最適な運動実施時間の検討.第70回日本体力医学会大会(2015年9月19日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 31) 塚本敏人,菅 唯志,武中沙葵,田中大智,伊坂忠夫,小河繁彦,橋本健志.高強度間欠的運動による乳酸産生量と実行機能亢進の関係性.第70回日本体力医学会大会(2015年9月18日,和歌山県和歌山市,和歌山県民会館・ホテルアバローム)
- 32) 塚本敏人,菅 唯志,石橋 彩,武中沙葵,後藤一成,海老久美子,伊坂忠夫,橋本健志.運動前のココア飲料摂取が高次脳機能に与える影響.第2回日本スポーツ栄養学会(2015年7月5日,滋賀県草津市,立命館大学びわこ・くさつキャンパス)
- 33) Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Takeuchi T, Tanaka D, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. Local resistance exercise improves cognitive executive function in a dose-dependent manner. XXVIIth International Symposium on Cerebral Blood Flow, Metabolism and Function (June 28, 2015, Vancouver, Canada)
- 34) Tsukamoto H, Suga T, Takenaka S, Takeuchi T, Tanaka D, Hamaoka T, Isaka T, Hashimoto T. The effect of high-intensity interval exercise and moderate-intensity continuous exercise on executive function in post-exercise recovery. 20th annual Congress of the European College of Sport Science (June 24, 2015, Malmö, Sweden)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅 唯志 (SUGA, Tadashi)

立命館大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号: 30708673