

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19990

研究課題名(和文)極めて短時間で全身持久力から骨格筋の量・機能の向上をもたらす新たな運動様式の開発

研究課題名(英文)Development of High-Intensity Interval Training: Towards the minimal dose of high-intensity interval training for inducing various physiological and performance adaptations.

研究代表者

山岸 卓樹 (Yamagishi, Takaki)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学・研究部・契約研究員

研究者番号：10794696

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：本該助成事業では、間欠的高強度運動(HIIT)に対する生理学的応答を全身・末梢レベルで詳細に検証し主に次のことを明らかにした。・全身・末梢レベルの有酸素性エネルギー代謝の増大および大腿8筋の活動レベルの有意な増加は僅か30秒(2x15秒スプリント)の高強度運動により達成される。・10秒以上のスプリントを反復した場合、2本目以降は有酸素性エネルギー代謝および骨格筋の代謝応答が鈍化する。これらの結果は、HIITにおけるスプリントの実施本数と生理学的適応が必ずしも比例しないことを示した先行研究の知見を裏付けるものであり、HIITのさらなる時間効率性の改善に繋がることが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

先行研究によりスプリントの時間や実施本数を一定程度減少させてもトレーニング適応が損なわれないことが示されていたが、その生理学的機序については知見が限られていた。本研究により、10秒以上のスプリントを反復した際に全身・局所のエネルギー代謝の増大が2セット目以降は鈍化することを明らかにし、先行研究の知見を裏付けたことは学術的意義が高いといえる。さらに、本研究は僅か計30秒(2x15秒)のスプリントが有酸素性エネルギー代謝および下肢筋群の代謝応答の増大をもたらすことを示した。運動実施の障壁として「運動時間の確保」は最も頻繁に挙げられる理由だが、本研究の成果は現代人の運動参加を促す一助となり得る。

研究成果の概要(英文)：This research project aimed to determine the dose-response relationship of sprint and physiological responses at whole-body and peripheral levels. It has been shown that only 30 s of all-out sprints (2 sets of 15-s sprint) significantly increased pulmonary oxygen uptake and oxygen extraction at vastus lateralis and rectus femoris. Furthermore, significant increases in the recruitment of thigh muscles were also confirmed with two 15-s all-out sprints by functional magnetic resonance imaging. In addition, this study also showed that there was a blunted response of oxidative metabolism (as determined by pulmonary oxygen uptake and tissue oxygenation index at thigh muscles) with sprint repetitions, that is, no further increases in those parameters when all-out sprints (>10s) were repeated two to three times. The current results would explain previous research findings that showed increases in sprint repetitions do not necessarily augment physiological adaptations (maximal oxygen uptake).

研究分野：スポーツ・運動生理学

キーワード：間欠的高強度運動 スプリント時間・本数と生理学的応答の関係性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、高強度インターバルトレーニング(以下、HIIT)はアスリートのみならず幅広い年齢層や体力レベルを有する人々において、健康増進や疾病予防を目的に実施されている[1]。HIITとは、血中乳酸濃度 4 mmol に相当する運動強度 (OBLA; onset of blood lactate accumulation) 以上の運動を短時間の休憩を挟みながら反復するトレーニングの総称である[2]。とりわけ、HIITの中でも 30 秒以内の全力スプリントを反復する「スプリントインターバルトレーニング」は、実質運動時間 2-3 分と極めて少ない運動時間ながら伝統的な持久性トレーニングと同等以上に生理学的適応を引き起こすことが複数の研究により示されている[3, 4]。さらに、研究代表者らは運動時間を半減させた 15 秒スプリントの反復が上述の 30 秒プロトコルと同等以上に生理学的適応や持久性パフォーマンスの向上をもたらすことを明らかにし、スプリントインターバルトレーニングの汎用性をさらに高めた[5]。

(2) スプリントインターバルトレーニングに関する研究では、1 セッションあたりスプリントを 4-6 セット反復することが多いが[3-5]、そのセット数に確固たる科学的根拠は存在しない。一方で、Vollaard et al.はメタ分析によりセッションあたりのスプリント数と生理学的適応(最大酸素摂取量[ $\dot{V}O_{2max}$ ]の増加率)には相関がないことを明らかにしている[6]。さらに、最近の研究では、僅か 2x20 秒スプリントにより  $\dot{V}O_{2max}$  が改善されることが示されている[7, 8]。したがって、スプリント時間やスプリント数を一定程度減少させても適応が損なわれないことが明らかになりつつあるが、その生理学的背景についてはまだ不明な点が多い。さらに、スプリントインターバルトレーニングに関する大多数の研究が  $\dot{V}O_{2max}$  や糖代謝の改善など、生理学的・代謝的適応に着目してきたが、同トレーニングが骨格筋の量や筋力・パワー発揮能力に及ぼす影響に関しては、現在のところ限られた知見しか存在していない[9, 10]。

### 2. 研究の目的

(1) 先行研究において、セッションあたりのスプリント数と  $\dot{V}O_{2max}$  の増加率の間に相関関係が認められない[6]、また、スプリント時間を半減させても生理学的適応が損なわれない[5, 11, 12]ことが示されているが、スプリント時間と本数の関係性やその組み合わせ効果については十分に検討されていない。さらに、スプリントインターバルトレーニングが骨格筋の量や筋力・筋パワー発揮能力に及ぼす影響については不明点も多い。そこで、本研究では異なるスプリントプロトコルに対する一過性の生理学的応答を全身・末梢レベルにおいて詳細に検討することで、全身持久力( $\dot{V}O_{2max}$ )から筋力・筋パワー発揮能力を改善し得る最少量のスプリント時間・スプリント数の解明を図る。

(2) 研究(1)で明らかにされた最少量のスプリント時間・スプリント数を用いて 8 週間のトレーニング研究を実施する。8 週間のトレーニング介入の前後で  $\dot{V}O_{2max}$ 、持久性パフォーマンス、下肢筋横断面積、下肢の筋力・筋パワー発揮能力を測定し、極めて短時間で  $\dot{V}O_{2max}$  から骨格筋の量および筋力・筋パワー発揮能力までを向上し得るトレーニング手法の開発を目指す。

### 3. 研究の方法

(1) 先行研究の知見を基に次の 2 つのスプリントプロトコルに対する一過性の生理学的応答を検証した。a) 2x20 秒スプリント/スプリント間休憩 160 秒、b) 4x10 秒スプリント/スプリント間休憩 80 秒(総スプリント時間およびスプリント:休憩比はそれぞれ 40 秒、1:8 とし、プロトコル間で統一した)。取得した生理学的データは、スプリント中の酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )、心拍数、大腿部 2 筋(大腿直筋・外側広筋)の組織酸素化指標(TOI)、大腿部 8 筋(大腿直筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋、大内転筋、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)におけるスプリント前後の MRI T2 緩和時間の変動とした。

(2) 当初の計画では、上述の研究(1)で明らかにしたスプリント時間・スプリント数を基に介入研究を実施する予定であったが、新型コロナウイルスの発生および長期に及んだ行動規制、さらに研究代表者の所属先の変更等により、大幅な予定の変更を余儀なくされた。結果として、上述(1)の実験で得られた結果を基に 15 秒スプリントを 180 秒の休憩を挟み 3 セット繰り返した際の生理学的応答を、スプリント中の  $\dot{V}O_2$ 、心拍数、大腿部 2 筋(大腿直筋・外側広筋)の TOI、下肢 6 筋(大殿筋・大腿直筋・外側広筋・内側広筋・大腿二頭筋長頭・半腱様筋)の積分筋電図(iEMG)および大腿部 8 筋(大腿直筋、外側広筋、内側広筋、中間広筋、大内転筋、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)における MRI T2 緩和時間の変動により検証した。

### 4. 研究成果

#### 研究(1)

14 名の一般健康男性を対象に 2 つの異なる運動課題 a) SIT20: 2x20 秒スプリント(スプリント

間休憩：160秒)、b) SIT10: 4x10秒スプリント(スプリント間休憩：80秒)に対する一過性応答を検証した結果、以下のことが明らかになった。

両プロトコルで $\dot{V}O_2$ 、心拍数は同様に増加したことから、総スプリント時間(40秒)およびスプリント：休憩比(1:8)を揃えた場合、スプリント時間やスプリントの本数(2x20秒 or 4x10秒)は全身レベルの有酸素性エネルギー代謝には影響を及ぼさない。

両プロトコルは大腿部8筋の全筋においてMRI T2値を有意に増加させたが、その変化率は両プロトコル間で差がなかった。一方で、各プロトコル内で検討したところ、SIT20では内側広筋が他の6筋(外側広筋、中間広筋、大内転筋、大腿二頭筋長頭、半膜様筋)と比較し有意に増加したことから、(両プロトコル間で統計学的有意差はないものの)ロング(20秒)スプリントにより特に内側広筋が活動を高めることが示された。

大腿直筋・外側広筋におけるTOI(組織酸素化指標;骨格筋の酸素の取り込み率の指標)の変化量は両筋ともSIT20で有意に大きかった。また、SIT10においてスプリントの反復に伴い両筋ともTOIの変化量が有意に増加したものの、2本目以降は応答が鈍化した(スプリント1>スプリント2,3,4;スプリント2-4間で有意差なし)。同様にスプリント時の $\dot{V}O_2$ も2本目以降は有意な増加が認められなかった。

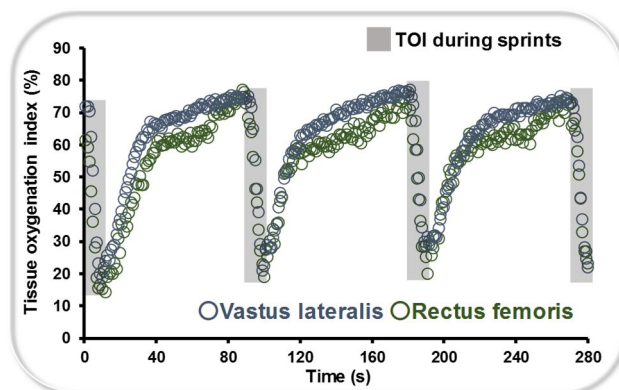


図1: 4x10秒スプリント時の組織酸素化指標(TOI)の変化例  
Vastus lateralis: 外側広筋; Rectus femoris: 大腿直筋

- 本研究により、全身・末梢レベルの有酸素性エネルギー代謝( $\dot{V}O_2$ 、TOI)の増大および大腿8筋のMRI T2値の有意な増加は僅か40秒の間欠の高強度運動で達成されることが示された。一方で、SIT10において2本目以降にスプリント時の $\dot{V}O_2$ 、TOIが有意に増加しなかったことは、スプリントの実施本数(トレーニング量)と $\dot{V}O_{2max}$ の増加率(生理学的適応)が比例しないことを示したメタ分析の結果[6]を間接的に説明し得るものである。

## 研究(2)

研究(1)により全カスプリントにおいて骨格筋の酸素の取り込みは15秒以内に完了する、10秒以上の全カスプリントを反復する場合、2本目以降は全身・局所の有酸素性エネルギー代謝( $\dot{V}O_2$ 、TOI)は増大しない(応答が鈍る)。スプリントの総仕事量と骨格筋の動員レベル(MRI T2値)は必ずしも一致しないことが明らかとなった。これらの結果を踏まえて、研究(2)では、3x15秒スプリント(スプリント間休憩180秒)に対する一過性応答を10名の一般健康男性を対象に検証した結果、以下のことが明らかになった。

大腿前面の広筋群(外側広筋・内側広筋)はスプリント数の増加に伴い有意にT2値が増加した一方で(スプリント2<スプリント3)、大腿直筋および大腿後面の筋群(大腿二頭筋長頭、半膜様筋、半腱様筋)においては2本目以降は増加しなかった(スプリント2<スプリント3)。

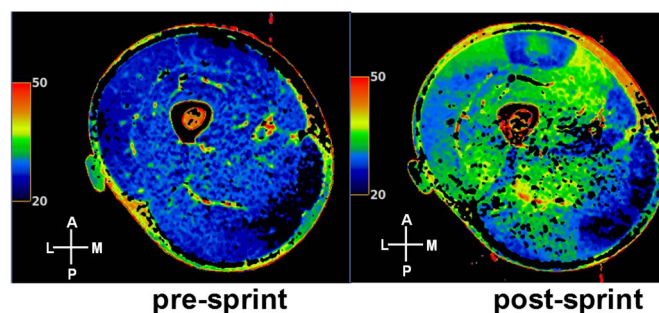


図2: スプリント直前(左)、直後(右)のMRI T2強調画像例

T2値がスプリント3本を通して増加した広筋群(外側広筋・内側広筋)では、表面筋電図(iEMG)も同様に3本を通して維持された(有意に変化しなかった)一方で、T2値が2本目以降に増加しなかったその他の筋群ではスプリントの反復に伴いiEMGが有意に低下した(スプリント1>スプリント2>スプリント3)。

スプリント時の酸素の取り込み率(TOI)は大腿直筋(二関節筋)において外側広筋(単関節筋)よりも3セットを通して有意に高かった。また、研究(1)と同様にスプリントの反

復に伴い両筋ともに応答が鈍化した。

- MRI T2 値は骨格筋の代謝応答を、表面筋電図は神経筋活動をそれぞれ反映していることから、スプリントの反復に伴い iEMG の低下が見られた筋において T2 値が 2 本目以降に増加しなかったことは、神経系疲労により代謝応答(活動レベル)が鈍化したことを示唆している。また、自転車スプリントは前屈み(股関節屈曲位)で実施するため、(股関節屈曲と膝関節伸展に作用する)大腿直筋において、(膝関節伸展のみに作用する)外側広筋よりも酸素をより多く消費していたと推察できる[13]。本研究の結果から、15 秒の全力スプリントを 2 本以上実施した場合、広筋群以外ではスプリント数の増加が必ずしもより大きな生理学的刺激に繋がらないことが示された。

#### <引用文献>

1. Gibala, M.J., et al., *Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease*. J Physiol, 2012. **590**(5): p. 1077-84.
2. Buchheit, M. and P.B. Laursen, *High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis*. Sports Med, 2013. **43**(5): p. 313-38.
3. Burgomaster, K.A., et al., *Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans*. J Physiol, 2008. **586**(1): p. 151-60.
4. Gibala, M.J., et al., *Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance*. J Physiol, 2006. **575**(Pt 3): p. 901-11.
5. Yamagishi, T. and J. Babraj, *Effects of reduced-volume of sprint interval training and the time course of physiological and performance adaptations*. Scand J Med Sci Sports, 2017. **27**(12): p. 1662-1672.
6. Vollaard, N.B.J., R.S. Metcalfe, and S. Williams, *Effect of Number of Sprints in an SIT Session on Change in  $\dot{V}O_{2max}$ : A Meta-analysis*. Med Sci Sports Exerc, 2017. **49**(6): p. 1147-1156.
7. Nalçakan, G.R., et al., *Decreasing sprint duration from 20 to 10 s during reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT) attenuates the increase in maximal aerobic capacity but has no effect on affective and perceptual responses*. Appl Physiol Nutr Metab, 2018. **43**(4): p. 338-344.
8. Vollaard, N.B.J. and R.S. Metcalfe, *Research into the Health Benefits of Sprint Interval Training Should Focus on Protocols with Fewer and Shorter Sprints*. Sports Med, 2017. **47**(12): p. 2443-2451.
9. Miyamoto-Mikami, E., et al., *Gene expression profile of muscle adaptation to high-intensity intermittent exercise training in young men*. Sci Rep, 2018. **8**(1): p. 16811.
10. Astorino, T.A., et al., *Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function,  $VO_{2max}$ , and muscular force*. J Strength Cond Res, 2012. **26**(1): p. 138-45.
11. Hazell, T.J., et al., *10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance*. Eur J Appl Physiol, 2010. **110**(1): p. 153-60.
12. Zelt, J.G., et al., *Reducing the volume of sprint interval training does not diminish maximal and submaximal performance gains in healthy men*. Eur J Appl Physiol, 2014. **114**(11): p. 2427-36.
13. Saito, A., et al., *Riding posture affects quadriceps femoris oxygenation during an incremental cycle exercise in cycle-based athletes*. Physiol Rep, 2018. **6**(16): p. e13832.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yamagishi T, Iwata S, Otsuka S, Ichinose H, Kurumisawa K, Kawakami Y
2. 発表標題 Influence of sprint duration on muscle activation and peripheral tissue oxygenation
3. 学会等名 25th Annual Congress of the European College of Sport Science (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
---------	---------