

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：33921

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750317

研究課題名(和文) 発揮筋力を調整した一過性有酸素性運動の作業筋負荷が遺伝子発現を高める可能性の検討

研究課題名(英文) Potential for gene expression by acute aerobic exercise with locally force of muscle

研究代表者

平野 雅巳(Hirano, Masami)

愛知淑徳大学・健康医療科学部・助教

研究者番号：30580229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、発揮筋力を調節した一過性有酸素性運動の作業筋負担がPGC-1 の発現に影響を及ぼすかを検討した。その結果、乳酸閾値に相当する同一酸素摂取量の自転車エルゴメーター運動において、ペダル回転数が35rpmの高い発揮筋力の運動と75rpmの低い発揮筋力の運動では、運動終了1時間後のPGC-1 の発現量に有意な差を認めなかった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to examine the potential for gene expression by combining force and velocity of muscle contraction at acute aerobic exercise. One hour after the acute aerobic exercises at lactate threshold intensity, the expression of PGC-1 did not significantly differ between the low pedal cadence (35 rpm) with high muscle force and high pedal cadence(75rpm) with low muscle force.

研究分野：運動生理学

キーワード：乳酸閾値 PGC-1 呼吸循環応答 ペダル回転数

1. 研究開始当初の背景

(1) PGC-1 (peroxisome-proliferator-activated receptor-c coactivator-1) は、毛細血管の増殖やミトコンドリアの増殖および機能向上に刺激を与えるキーとなる遺伝子の一つである。PGC-1 の発現は、低酸素性の刺激が加わることや乳酸閾値 (LT: Lactate threshold) 強度以上の有酸素性運動による刺激が加わることと関係している。

(2) 有酸素性運動中の骨格筋酸素動態は、絶対的運動強度の増加によって酸素化ヘモグロビン/ミオグロビン (OxyHb/Mb) が低下する。自転車エルゴメーター運動において、ペダル回転数を調整することによって発揮筋力を変えたとき、高い発揮筋力を伴う運動条件では、LT 強度のような中等強度でも高強度運動時と同様に OxyHb/Mb が低値を示すことが報告されている。

(3) LT 強度に相当する同一仕事率の 2 週間の有酸素性トレーニングにおいて、自転車ペダル回転数が 35rpm と 75rpm のように運動時の発揮筋力の違いが 50rpm で測定した LT 仕事率の適応に影響することを報告している。つまり、中等強度の有酸素性運動において、筋収縮力や収縮速度は、トレーニングによる刺激として適応に影響を及ぼす可能性がある。

2. 研究の目的

中等度の同一強度において高い発揮筋力を伴う有酸素性運動では、高いメカニカルストレスと低酸素性の刺激によって PGC-1 発現量が高まり、毛細血管とミトコンドリアの増加に影響すると仮説を立てた。そこで、本研究は、自転車運動における LT 強度の一過性運動における発揮筋力と遺伝子発現量の関係を検討した。

3. 研究の方法

(1) 対象者は、若年成人男性 11 名とした。有酸素性作業能 (VO₂max, LT) は、自転車エルゴメーター (Corival, Lode) を用いて、ペダル回転数 50rpm で多段階式およびランブ式漸増運動負荷試験 (ML-3600、フクダ電子) により疲労困憊まで実施した。運動中の呼気ガス分析 (ARCO-2000、Arcosystem)、乳酸濃度分析 (LactatePro、アークレイ) により、VO₂max と LT 強度を決定した (実験 1)。LT 強度および 75%LT、125%LT 強度に相当する仕事率において、35、50、75rpm のペダル回転数で各 4 分間の固定負荷運動を 2 分間の休息を挟んで行った (図 1)。運動中の全身性および末梢負荷は、呼気ガス分析 (ARCO-2000、Arcosystem)、乳酸濃度分析 (LactatePro、アークレイ)、外側広筋の筋酸素動態 (BOM-L1TRW、Omegawave) の測定を実施した。

なお、ペダル回転数は、75%LT 強度時にランダムに実施し、100%と 125%LT 強度時は 75%LT 強度のときと同じ順序で行った (実験 2)。

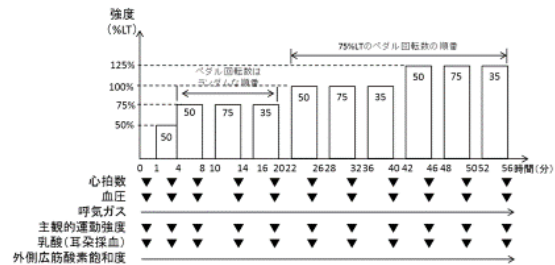


図 1.異なるペダル回転数の固定負荷試験。

(2) 対象者は、若年成人男性 8 名とした。LT 強度に相当する同一酸素摂取量の運動強度にて、ペダル回転数が 35rpm の高発揮筋力条件と 75rpm の低発揮筋力条件の自転車エルゴメーター運動を各 60 分実施した。また、座位安静状態を 60 分間保持する非運動条件を設定した。運動中は、5 分毎に酸素摂取量をモニタリングし、目標酸素摂取量に合わせるように負荷の調整を行った。運動前と運動中に上腕静脈から採血を実施した。また、運動終了 60 分後に外側広筋から Fine needle biopsy 法 (飛奈ら, (2009)) を用いて骨格筋を採取し、敏速に計量した後、-80 で瞬間凍結して保管した (n=6)。なお、条件間は 1 週間の間隔をあげ、ランダムな順序で実施した。

(3) 骨格筋は、リアルタイム PCR 法 (StepOne, Thermo Fisher Scientific) を用いて、PGC-1 および α -アクチンの発現量を定量した。また、血液サンプルは、安静時および運動 30 分、60 分において成長ホルモンを外部委託 (SRL 社) にて分析した。

4. 研究成果

(1) 酸素摂取量は、全運動強度の各ペダル回転数間に差を認めなかった。外側広筋の組織酸素飽和度 (StO₂) も同様にペダル回転数間に差を認めなかった (表 1)。LT 強度を基準とした絶対強度順に分類した際、上位群は、75rpm の StO₂ より 35rpm の方が低値を示した。一方、下位群は、ペダル回転数間に差を認めなかった (図 2)。すなわち、LT に相当する

表 1. 各%LT強度の異なるペダル回転数における呼吸代謝応答と抹消酸素動態。

項目	ペダル回転数	75%LT強度	100%LT強度	125%LT強度
%VO ₂ max (%)	35rpm	32.9±7.8	40.6±9.4	49.5±10.4
	50rpm	32.0±5.0	42.4±7.8	47.9±10.7
VO ₂ (ml/min)	35rpm	997±269	1242±392	1509±427
	50rpm	966±193	1234±326	1451±389
RER	35rpm	1.062±2.18	1.285±3.05	1.498±3.98
	50rpm	0.87±0.04	0.89±0.03	0.90±0.04
	75rpm	0.88±0.03	0.89±0.03	0.91±0.02
StO ₂ (%)	35rpm	0.89±0.04	0.92±0.03	0.94±0.03
	50rpm	38.0±6.0	37.8±7.1	36.1±7.7
	75rpm	38.6±5.4	38.3±6.0	37.1±7.7
		38.1±4.7	38.8±5.6	37.5±6.6

n=11. **: p<0.01

(Mean±SD)

相対的同一強度においても絶対強度が高い場合は、末梢酸素動態がペダル回転数に伴う発揮筋力に影響を受けることが示唆された。

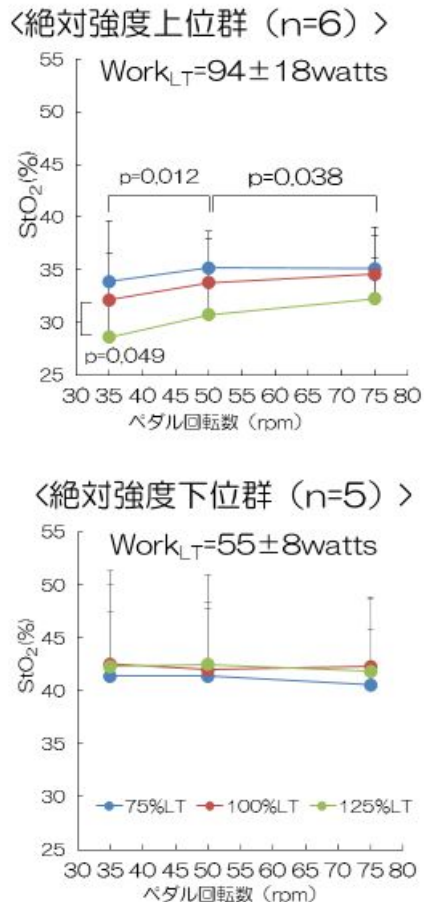


図 2. 異なるペダル回転数における絶対的運動強度別の末梢酸素動態。

(2) 呼吸循環応答について、相対的最大酸素摂取量 ($\%V_{O_2max}$) とともに運動条件と時間との間に交互作用を認めず、高発揮筋力条件 ($42.6 \pm 8.1\%$) と低発揮筋力条件 ($43.1 \pm 9.5\%$) との間に差を認めなかった。呼吸交換比 (RER) は、低発揮筋力条件 (0.89 ± 0.04) より高発揮筋力条件 (0.86 ± 0.04) の方が有意に

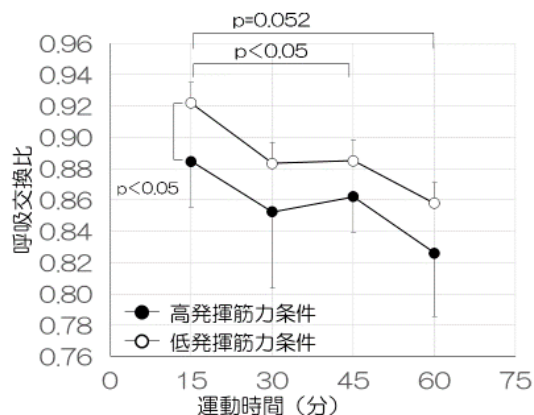


図 3. 発揮筋力が異なる有酸素性運動中の呼吸交換比の変化

低値を示し、運動開始 15 分後よりも 45 分後および 60 分後が有意に低下した (図 3)。血中乳酸濃度は、運動条件と時間との間に交互作用を認め、低発揮筋力条件の運動開始 30 分後 (1.6 ± 0.8 mmol/L) より 60 分後 (1.2 ± 0.5 mmol/L) に有意に低下した。

(3) 運動 1 時間後の PGC-1 遺伝子は、非運動条件に対して高発揮筋力条件が 1.9 ± 2.5 倍、低発揮筋力条件が 0.8 ± 0.7 倍と運動条件間に有意な差を認めなかった (図 4)。

成長ホルモンは、二元配置の分散分析の結果、時間に対して有意差を認められたが、その後の検定では Bonferroni 法では差を認めなかった。

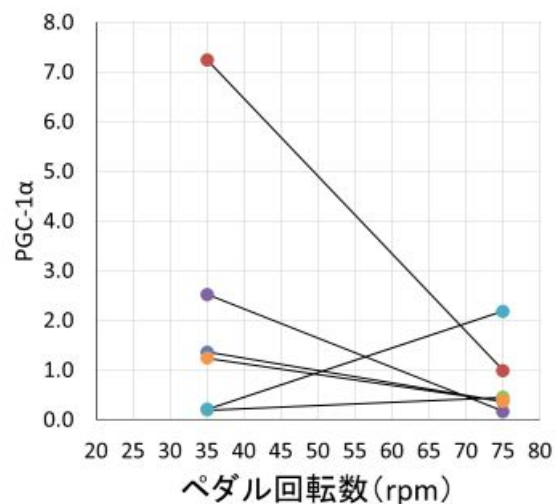


図 4. 非運動条件に対する運動終了 1 時間後の PGC-1 発現量と運動時のペダル回転数との関係。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Masami Hirano, Munehiro Shindo, Saki Mishima, Kazuhiro Morimura, Yoshiyasu Higuchi, Yosuke Yamada, Yasuki Higaki, Akira Kionaga, Effects of 2 weeks of low-intensity cycle training with different pedaling rates on the work rate at lactate threshold. *Eur J Appl Physiol* 査読有, 115 (5), 2015 年, 1005-13.
DOI: 10.1007/s00421-014-3081-9

〔学会発表〕(計 2 件)

平野 雅巳, 松原 建史, 樋口 慶亮, 進藤 宗洋, 清永 明, 檜垣 靖樹, 3 つの中等強度自転車運動時におけるペダル回

転数の違いが末梢酸素動態に及ぼす影響．第 70 回日本体力医学会大会，2015 年 9 月 20 日，和歌山県民文化会館・ホテルアバローム紀の国（和歌山県和歌山市）

平野 雅巳，松原 建史，森村 和浩，飛奈 卓郎，須藤 みず紀，檜垣 靖樹，進藤 宗洋，清永 明，乳酸閾値強度トレーニングにおける特異的なペダル負荷と骨格筋毛細血管変化との関連．第 69 回日本体力医学会大会 2014 年 9 月 19 日，長崎大学文教キャンパス（長崎県長崎市）．

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

平野 雅巳 (HIRANO, Masami)

愛知淑徳大学・健康医療科学部・助教

研究者番号：30580229

(2)研究分担者

(3)連携研究者

(4)研究協力者

松原 建史 (Matsubara, Takeshi)

株式会社 健康科学研究所