

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16460

研究課題名(和文) 筋サイズと全身持久力を同時改善する新たなトレーニング方法の開発

研究課題名(英文) The development of the training method concurrently increasing muscle size and maximal oxygen uptake

研究代表者

尾崎 隼朗(Ozaki, Hayao)

順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：00748428

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)：3年間の本研究によって、(1) 3日/週程度トレーニングをしている中高齢サイクリストの全身持久力と大腿部筋サイズは一般若年男性と同程度であること、(2) 乳酸性作業閾値に相当する強度で20分間のサイクリング運動によって筋肥大に関連するシグナル伝達経路が活性化されること、(3) 一般成人男性において、「やや強く」の主観的強度による1日30分、週2日、6週間のサイクリングが全身持久力と大腿部筋サイズを増加させることが明らかになった。従って、主観的にややきつと感じる程度の強度で20-30分/日、2-3日/週のトレーニングを継続すれば、全身持久力と大腿部筋サイズを向上できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The results of the three years research were as follows. (1) Middle-aged and older recreational cyclists that train approximately three days a week had comparable quadriceps muscle size and maximal oxygen uptake. (2) Twenty minutes cycling exercise at an exercise intensity equivalent to lactate threshold activated the muscle hypertrophy related intracellular signaling pathways in young men. (3) Maximal oxygen uptake and quadriceps muscle size increased by 6 weeks of 30 minutes cycling exercise, which performed at a perceived exertion of somewhat hard, 2 days per week. Therefore, 20-30 minutes cycling exercise at a perceived exertion of somewhat hard (an exercise intensity equivalent to lactate threshold), 2-3 days per week, can concurrently increase maximal oxygen uptake and quadriceps muscle size.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：トレーニング 自転車運動 骨格筋 呼吸循環機能 最大酸素摂取量 細胞内シグナル伝達 加齢 サイクリスト

1. 研究開始当初の背景

国民の健康増進の総合的な推進を図るための基本的な方針を定めた『健康日本 21』は 2012 年に改正され、第 2 次方針が新たに発表された。さらに 2020 年にオリンピックが東京で開催されることが決定した。こうした健康やスポーツに対する機運が高まる中で、運動習慣の定着のための働きかけを強化することは、国民の健康増進のために非常に重要である。しかし、そのためにはまず、誰もが実施しやすいトレーニング方法の確立が必要であることは言うまでもない。数ある体力要素の中でも、全身持久力や筋サイズ・筋力は特に健康に関連の強い体力要素であり、加齢に伴う全身持久力の低下は心臓血管系の疾病リスクを、筋サイズの低下はインスリン抵抗性の増加や肥満などの発症リスクを上昇させる(Ozaki et al. 2013)。さらに、筋サイズ・筋力の低下は、特に下肢において著しく、それが日常生活における動作パフォーマンスを低下させる原因となっている(尾崎ら. 2008)。また加齢に伴う身体機能の低下を考える場合、単にその低下率だけではなく、加齢現象の起点となる青年期のピーク値も考慮する必要があり、青年期においてこれら両機能を高水準に保つことは加齢に伴う機能低下に起因する疾病リスクの発生を遅延させる可能性がある(安部&尾崎. 2013)。従って、あらゆる世代において、これら両機能を維持・向上させる方法論を確立することは、スポーツ健康科学上の重要な研究課題である。

一般に『筋サイズ・筋力』の向上のためには『筋力トレーニング』、また『全身持久力』の向上のためには『有酸素運動』の実施が推奨されている(Ozaki et al. 2013)。従って、これらを同時に向上させるためには、通常、両トレーニングを行うことになる。そのために、必然的に膨大な時間の投資が必要になることが、実施上の大きな問題点の一つである。さらにつらいトレーニングに耐えうるモチベーションの欠如などの問題から、『筋力トレーニング』の日本人における実施率は非常に低水準である(笹川スポーツ財団. 2012)。一方で、移動手段としての身体活動を考慮すれば、ウォーキングやサイクリングなどの有酸素運動を実施したことの少ない者は皆無であり、有酸素運動は多くの人にとってより親しみがある。従って、有酸素運動、つまり 1 つの運動によって両機能が同時に改善されれば、一般的なガイドラインに従った場合に比べて運動時間が約半分になる上に、日常生活における移動手段をトレーニングに置き換えることも可能となる。しかしながら、これまで『有酸素運動のみを実施した場合に筋は肥大しない』と明確な根拠なく信じられてきたために、有酸素運動が筋サイズ・筋力に与える影響については十分に検討がなされていないかった。

そこで、申請者らはこれまでに、有酸素運動が筋肥大・筋力増加に及ぼす影響について明らかにしてきた(Ozaki et al. 2013, 2014)。例えば高齢者を対象とした場合、ウォーキングを約半年以上継続すれば筋肥大が認められ、より速い速度で実施すれば筋力増加も引き起こされる可能性があること(Ozaki et al. 2013)、またウォーキングでも下肢への血流制限を加えると高齢者だけでなく若年者でも数週間で筋肥大・筋力増加を引き起こせることを明らかにしてきた(Ozaki et al. 2011, 2013)。しかし、血流制限を実施するためには特殊な装置が必要である。一方で、最近、申請者らはサイクリング運動の筋肥大効果について総説論文にまとめ、サイクリング運動ではウォーキングよりも短期間で、かつ若年者・高齢者でともに筋肥大・筋力増加が認められる可能性があることを明らかとした(Ozaki et al. 2014)。つまり、有酸素運動の中でも特に、サイクリング運動は、あらゆる世代において、1 つの運動で筋肥大・筋力増加と全身持久力の向上を同時に引き起こせる、時間効率が良く実施可能性の高いトレーニング方法であるといえる。

しかし、サイクリング運動による筋肥大や筋力増強効果は、申請者らによって国際的にも初めて体系的にまとめられたものであり、これらに必要な具体的なトレーニング条件については十分に明らかにはされていない。従って、申請者らのこれまでの研究成果を一般国民に還元するためには、今後、具体的な運動ガイドラインの作成が必要である。そこで、本研究ではまず、サイクリング運動による筋肥大・筋力増加と全身持久力の向上に最低限必要なトレーニング条件を明らかにすることを目指した。なお、『トレーニング時間』に関しては、筋肥大には 5 分以上、全身持久力の向上には 20 分以上が必要であることから、これら両方の向上に必要な時間は『20 分』程度であると推測される。そこで、本研究ではその他に必要なトレーニング条件(強度・頻度・期間)を明らかとする。

2. 研究の目的

一般国民向けのサイクリング運動のガイドラインを作成するための第一歩として、本研究の目的は、サイクリング運動によって全身持久力と筋サイズ・筋力を同時に改善するために最低限必要なトレーニング条件を明らかにすることであった。

3. 研究の方法

平成 27 年度：『トレーニング頻度』に注目した横断的研究

1 年目の研究の目的は、運動習慣のない男性と中高齢サイクリストとの間で、下肢の筋サイズ・筋力や最大酸素摂取量を比較すると

ともに、サイクリストにおいて、これらの形態的・機能的指標とトレーニング頻度との関係を検討することであった。中高齢男性アマチュアサイクリスト8名(年齢: 48-62歳, トレーニング年数: 12 ± 4 年)と運動習慣のない若年男性9名(年齢: 25-30歳)を対象とした。サイクリストに関しては、サイクリング以外に定期的な運動を実施していない者を対象とした。最大酸素摂取量はエルゴメータを用いた漸増負荷テストに評価した。テストの負荷は1.0kから開始し、1分ごとに0.3kp増加させた。ペダルの回転数は60rpmに設定し、その回転数が維持できなくなるまで運動を継続させた。筋厚は超音波Bモード法により大腿部前面・後面(大腿長の50%の部位)、下腿部前面・後面(下腿長の近位から30%の部位)の計4ヶ所を計測した。筋力はBIODEX system4を用いて膝伸展・屈曲動作の等尺性・等速性最大筋力を評価した。身体機能の評価として、10m歩行テストと30秒間椅子立ち上がりテストを実施した。

平成28年度:『トレーニング強度』について注目した筋生検を伴う一過性の研究

2年目の研究の目的は、サイクリング運動の強度の違いが筋肥大に関連する細胞内シグナル伝達経路の活性化に与える影響について明らかにすることであった。若年男性6名(年齢: 28 ± 1 歳, BMI: 22.4 ± 0.7 kg/m², V02max: 45.3 ± 1.6 mL/kg/min)は、事前の負荷テストにより決定した乳酸性作業閾値もしくは血中乳酸蓄積開始点に相当する強度での20分間のサイクリング運動を約1ヶ月の期間を空けてそれぞれ実施し、運動前、運動30分後(Ex30)、60分後(Ex60)に筋サンプルを採取された。さらに、20分間の運動の前後で、超音波Bモード法により大腿部前面の筋厚の変化を評価した。

平成29年度:『トレーニング期間』に注目したトレーニング研究

3年目の研究の目的は、1・2年目の研究のエビデンスに基づき、全身持久力の向上と筋肥大のための自転車運動のプロトコルを開発することであった。「ややきつい」の主観的強度による1日30分、週2回、6週間のサイクリングが一般成人男子の有酸素能力および下肢筋量に及ぼす影響を検討した。一般に、主観的に「ややきつい」と感じる程度の運動は、おおそ乳酸性作業閾値程度の強度であると考えられる。最終的な実用性を考慮して、上記のような強度設定を行った。被験者は日頃規則的な身体活動を行っていない一般成人男子14名とし、彼らを6週間にわたってサイクリングを行うトレーニング群(n=7, 39 ± 10 歳)とトレーニングを行わないコントロール群とに分けた。両群とも6週間のトレーニング期間の前後に、筋厚の評価

を超音波Bモード法により実施した。大腿長の50%の部位において、大腿部前面と後面の筋厚を測定した。さらにトレーニング群においてのみ、有酸素能力評価のための最大運動負荷テストを実施した。サイクリングは、クロスバイクあるいはロードバイクを用いて、平坦路を基調とした公道上を走行することによって行った。

4. 研究成果

1年目の研究結果は下記の通りである。まず中高齢アマチュアサイクリストの1日当たりの走行距離距離と1週間当たりの平均トレーニング日数は、各々、 50.7 ± 6.7 kmと 2.8 ± 0.6 日/週であった。最大酸素摂取量、大腿部前面筋厚、下腿部後面筋厚、10m歩行時間、30秒間に椅子から立ち上がった回数は、中高齢男性アマチュアサイクリストと運動習慣のない若年男性との間で差は認められなかったが、等尺性および等速性膝伸展・屈曲筋力のみ、運動習慣のない若年男性で有意に高い値を示した。中高齢男性アマチュアサイクリストのV02max ($r=0.708$, $p<0.05$)及び大腿部前面筋厚($r=0.803$, $p<0.05$)と週当たりのトレーニング頻度との間には、有意な正の相関関係が認められたが、1日当たりのトレーニング距離とは関係性がなかった。また、大腿部前面筋厚にはV02maxとの間に正の相関傾向($r=0.696$, $p=0.055$)が認められたが、等尺性膝伸展筋力との間にはそのような傾向は示されなかった。さらに、30秒間に椅子から立ち上がった回数は体重当たりの等尺性膝伸展($r=0.890$, $p<0.01$)・屈曲($r=0.945$, $p<0.01$)筋力と有意な相関関係にあった。結論として、中高齢男性アマチュアサイクリストのV02maxと大腿部前面筋厚値はトレーニング頻度と正に相関し、その水準は運動習慣のない若年男性に匹敵するが、膝伸展・屈曲筋力は運動習慣のない若年男性よりも劣る。さらに、3日/週程度トレーニングを実施している中高齢アマチュアサイクリストでは最大酸素摂取量や大腿部前面の筋厚が運動習慣のない若年男性と同程度であることが示唆された。

2年目の結果は下記の通りである。超音波Bモード法で評価した大腿部前面の筋厚は、乳酸性作業閾値および血中乳酸蓄積開始点に相当する強度のいずれの条件においても運動直後に有意(Time effect: $p<0.01$)に増加した。S6K1(【乳酸性作業閾値条件】Ex30: 3.3 ± 0.9 倍、Ex60: 12.2 ± 5.3 倍/【血中乳酸蓄積開始点条件】Ex30: 5.0 ± 1.9 倍、Ex60: 10.2 ± 3.0 倍)及びERK1/2(【乳酸性作業閾値条件】Ex30: 1.5 ± 0.2 倍、Ex60: 4.7 ± 1.3 倍/【血中乳酸蓄積開始点条件】: Ex30: 3.3 ± 0.7 倍、Ex60: 4.1 ± 1.0 倍)のリン酸化は両条件で運動後に有意(Time effect: $p<0.05$)に増加した。乳酸性作業閾値に相当する強度

以上で 20 分間のサイクリング運動によって、その強度にかかわらず、筋肥大に関連する mTOR 及び MAPK シグナル伝達経路が活性化される可能性が示唆された。

3 年目の結果は下記の通りである。トレーニング群ではサイクリングによって最大運動負荷テストの運動持続時間、最大酸素摂取量および最大換気量が有意に増加し、最大下負荷に対する血中乳酸濃度が有意に低下した。また、トレーニング群でのみ大腿部前面と後面を合計した筋厚値が有意に増加した。これらの事実から、「やや強く」の主観的強度による 1 日 30 分、週 2 日のサイクリングを 6 週間継続すれば、一般成人男子の呼吸循環機能および筋サイズを増加させることが示唆され、筋肥大と全身持久力の向上のための自転車運動プロトコルの開発に成功した。

3 年間の研究結果を総合的に判断すると、呼吸循環機能(最大酸素摂取量)に加えて、骨格筋のサイズを向上させるためには、乳酸性作業閾値に相当する強度(主観的にややきついと感ずる程度の強度)で 20-30 分/日、2-3 日/週のトレーニングを継続することが最低限必要であると考えられる。

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 5 件)

Steele James, Butler Andrew, Comerford Zoe, Dyer Jason, Lloyd Nathan, Ward Joshua, Fisher James, Gentil Paulo, Scott Christopher, Ozaki Hayao. Similar acute physiological responses from effort and duration matched leg press and recumbent cycling tasks. PeerJ. 28(6):e4403, 2018

Ozaki Hayao, Abe Takashi, Machida Shuichi, Naito Hisashi. Progressive training model for muscle hypertrophy and strength gain. Advances in Exercise and Sports Physiology. 23(1): 1-7, 2017

Ozaki Hayao, Loenneke JP, Buckner SL, Abe Takashi. Muscle growth across a variety of exercise modalities and intensities: Contributions of mechanical and metabolic stimuli. Medical Hypotheses. 88: 22-26, 2016

[学会発表](計 11 件)

James Steele, Rebecca Conway, Sarah Weber, Jordan Niblock, James Fisher, Paulo Gentil, Christopher Scott, Hayao Ozaki. Energy expenditure,

physiological, and perceptual responses to a brief and simple bodyweight resistance training protocol in previously sedentary adults. The 7th International Society for Physical Activity and Health Congress, London, England, 2018, October

尾崎 隼朗, 北田友治, 棗寿喜, 町田修一, 内藤久士, 形本静夫. 日本トップレベルの高齢サイクリストの体力特性とその 3 年間の推移. NSCA ジャパン S&C カンファレンス 2017, 兵庫, 2017 年 12 月 10 日

尾崎 隼朗, 北田友治, 棗寿喜, 町田修一, 内藤久士, 形本静夫. 中高齢サイクリストの最大酸素摂取量と大腿部前面筋厚はトレーニング頻度に依存する. 第 71 回日本体力医学会大会, 盛岡, 2016 年 9 月

Ozaki Hayao, Tomoharu Kitada, Shuichi Machida, Hisashi Naito, Shizuo Katamoto. Cycling inhibits age-related decreases in muscle thickness of the lower extremities and maximum oxygen uptake. 2015 ASICS Sports Medicine Australia Conference, Gold Coast, Australia, 2015, October.

尾崎 隼朗, 棗寿喜, 柿木亮, 小林裕幸, 町田修一, 内藤久士. サイクリング運動の強度の違いが細胞内シグナル伝達経路の活性化に及ぼす影響. 第 23 回日本運動生理学会大会, 東京, 2015 年 7 月

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

なし

6 . 研究組織

(1)研究代表者

尾崎 隼朗 (OZAKI, Hayao)
順天堂大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号：00748428

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()