

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700645

研究課題名(和文) 運動後血流制限は運動効果を増強するか？

研究課題名(英文) Does post-exercise blood flow restriction enhance the effects of exercise on skeletal muscle?

研究代表者

班目 春彦 (MADARAME, Haruhiko)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号：40555653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は運動後血流制限による代謝物の蓄積がレジスタンストレーニングによる筋肥大を増強するか否かを明らかにすることであった。若年男性を対象としてトレーニング実験を行った結果、運動後血流制限による増強効果は認められなかった。この結果から、代謝物の蓄積と筋肥大の関係について、以下の可能性が考えられる。(1)代謝物の蓄積と筋肥大の間には因果関係はない。(2)代謝物の蓄積それ自体ではなく、代謝物が蓄積した状態で筋収縮を継続することが増強効果を生じる。ただし、本研究では血流制限の有無に関わらず筋肥大を生じる比較的高い負荷強度を用いたために増強効果が見られなかった可能性も考えられる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate whether metabolite accumulation per se enhances exercise-induced muscle hypertrophy. Young men completed an 8-wk resistance exercise program for knee extensor muscles. In order to accumulate metabolites after the exercise, blood flow restriction was applied after the exercise (post-exercise blood flow restriction, PEBFR). We found no additional effect of PEBFR on muscle hypertrophy. This result suggests the following possibilities: (1) no causal relationship would exist between metabolite accumulation and exercise-induced muscle hypertrophy, or (2) concomitant muscle contraction is essential for metabolite accumulation to cause additional hypertrophy. It should be noted that the result does not rule out the possibility of compensatory effects of metabolite accumulation on exercise-induced muscle hypertrophy, because this study used a moderate-load resistance exercise program which induced significant muscle hypertrophy independent of PEBFR.

研究分野：複合領域

キーワード：レジスタンストレーニング 抵抗負荷運動 筋肥大

1. 研究開始当初の背景

血流制限下でレジスタンストレーニングを行うことにより、低負荷のトレーニングでも筋力の増大や筋肥大を生じることが近年明らかとなっている。そのメカニズムの詳細は未解明であるが、筋内環境の低酸素化、代謝物の筋内への蓄積、ホルモン分泌の増大等が考えられている。例えば、研究代表者はこれまでに、血流制限下の低負荷レジスタンストレーニングが蛋白同化作用を持つホルモンの血中濃度を増大させること (Madarame et al. 2010) や、血中ホルモン濃度の増大が筋肥大効果を増強する可能性 (Madarame et al. 2008) を報告してきた。

一方で、血流制限下の低負荷レジスタンストレーニングの限界や短所も明らかになってきている。例えば、研究代表者の研究 (Madarame et al. 2011) では、最大筋力の増大に比して瞬発的な筋パワーの増大が小さいという結果が得られた。また、中程度以上の負荷を用いた一般的なレジスタンストレーニングよりも筋力増強や筋肥大の効果が小さいこと (Yasuda et al. 2011) や腱に対するトレーニング効果が見られないこと (Kubo et al. 2006) が報告されている。したがって、血流制限下の低負荷レジスタンストレーニングは、何らかの理由で低負荷のトレーニングしか行えない場合のトレーニングとしては利用価値があるものの、中程度以上の負荷を扱える健康人やスポーツ選手のトレーニングとしては主たりえないと考えられる。また、これらの結果はトレーニング効果における力学的刺激の重要性を改めて示すものである。しかし、血流制限下のレジスタンストレーニングは負荷強度を高めていくと血流制限による付加的な効果が見られなくなること (Wernbom et al. 2006) から、血流制限下の運動で大きな力学的刺激を与える処方では現実的でない。

上記のような限界はあるものの、血流制限下のレジスタンストレーニングの特徴であり、そのトレーニング効果の要因と考えられている筋内環境の低酸素化や代謝物の筋内への蓄積はトレーニング処方において利用価値が高いと考えられる。そこで、研究代表者は、一般的な中程度以上の負荷によるレジスタンストレーニングを行った後の安静時に血流制限を行うトレーニング処方 (運動後血流制限) の着想を得た。この方法により、筋に対して十分な力学的刺激が与えられることに加えて代謝物の筋内への蓄積が生じ、トレーニング効果が増強される可能性が考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は運動後血流制限による代謝物の筋内への蓄積が局所的な作用により中程度以上の負荷を用いたレジスタンストレーニングのトレーニング効果を増強する可否かを明らかにすることであった。

3. 研究の方法

レジスタンストレーニングを習慣的に行っていない若年健康常成人男性を被験者として研究を実施した。トレーニング種目には片側性の膝伸展運動を採用した。その理由は、(1) 単関節運動で動作が規定しやすいこと、(2) 膝伸展筋群は筋サイズが大きく運動による代謝物の産生量が多いこと、(3) 筋量の測定・評価が行いやすいこと、の3点である。運動後血流制限には空気圧式のカフ (E20/AG101; Hokanson, Bellevue, WA, USA) を用いた。

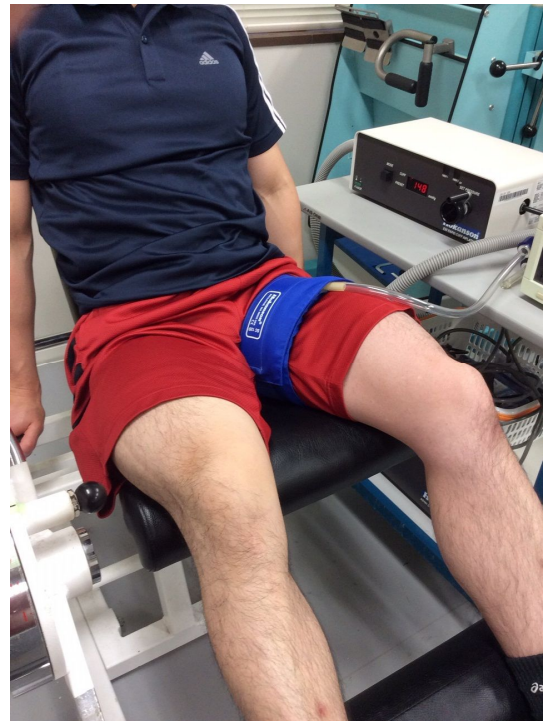


図1 運動後血流制限の実施風景

実験デザインは被験者内計画を用いた。片側を「運動+運動後血流制限脚」、反対側を「運動脚」とした。運動・トレーニングに対する適応を調べる研究においては、群間比較を行う被験者間計画が用いられることも多いが、本研究においては被験者内計画を用いた。代謝物の蓄積は筋肥大に影響を与える可能性がある内分泌系の亢進を生じることが知られている。したがって、群間比較の場合は、仮に運動後血流制限によって筋肥大が増強されたとしても、それが代謝物の蓄積それ自体による局所的な作用の結果なのか、代謝物の蓄積によって亢進した内分泌因子による全身的な作用の結果なのかは明らかにできない。本研究の目的は代謝物の蓄積それ自体による局所的な作用の有無を明らかにすることであり、また、その他の筋肥大に影響する可能性がある栄養摂取等の個人差を除外できることや、比較的少数の被験者で統計的検出力を得られるという利点もあり、本研究では被験者内計画を用いることとした。

各回のトレーニングにおいて被験者は運

動脚と運動 + 運動後血流制限脚のそれぞれについて 3 セットずつ膝伸展運動を行った。反復回数は各セットとも 10 回を目標とした。トレーニング初回の負荷強度は事前に測定した最大筋力の 70%とし、3 セットとも 10 回反復することができた場合は次回のトレーニングで 5%増加させた。

運動 + 運動後血流制限脚の 3 セット目終了直後から血流制限を 5 分間行った。血流制限に用いた圧は 1 週目の 100 mmHg から 6 週目の 150 mmHg まで毎週 10mmHg ずつ増加し、6 週目以降はトレーニング終了まで 150 mmHg とした。

トレーニングは週に 2 回行い、8 週間継続した。さらに、トレーニング期間終了後の 8 週間を脱トレーニング期間とした。8 週間のトレーニング継続期間の前後及び 8 週間の脱トレーニング後の計 3 回、膝伸展筋群の筋厚、最大筋力及び筋持久力を測定した。

筋厚は超音波測定装置 (SL15-4; SuperSonic Imagine, Aix-en-Provence, France) を用いて大腿長の 50%部位と遠位 70%部位の 2 か所について測定を行った。最大筋力についてはトレーニングに用いた重量負荷式の膝伸展用トレーニングマシンにおける最大挙上重量 (1RM) を測定した。筋持久力は 60%1RM の負荷における最大反復回数 (Campos et al. 2002) で評価した。

4. 研究成果

トレーニング及び測定の完遂率は 100%であり、全ての被験者から測定データを取得することができた。8 週間のトレーニング期間中のトレーニング容量 (挙上重量と反復回数の積) について、運動脚と運動 + 運動後血流制限脚の間に差は認められなかった。

8 週間のトレーニングの結果、筋厚、筋力、筋持久力のいずれの項目についてもトレーニングによる有意な増加が生じた。しかし、運動後血流制限の有無による差は認められなかった。したがって、研究開始当初の予測 (運動後血流制限が中程度以上の負荷を用いたレジスタンストレーニングのトレーニング効果を増強する) とは異なる結果となった。

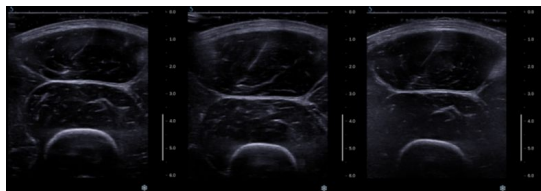


図2 トレーニング前(左), トレーニング後(中), 脱トレーニング後(右)に測定した大腿前面の超音波画像の一例

本研究の結果から、代謝物の蓄積とトレーニング効果の関係について、以下の可能性が考えられる。

(1) 代謝物の蓄積とトレーニング効果の間には因果関係が存在しない可能性。

(2) 代謝物の蓄積はトレーニング効果に影響を与えるが、代謝物の蓄積それ自体ではなく、代謝物が蓄積した状態で筋収縮を継続することがトレーニング効果を生じる可能性。

(3) 代謝物の蓄積によるトレーニング効果の増強は (仮にあったとしても) 局所的に作用するのではなく、内分泌因子を介して全身的に作用する可能性。

ただし、本研究では最大筋力の 70% という運動後血流制限の有無に関わらずトレーニング効果を生じる比較的高い負荷強度を用いたため、運動後血流制限による増強効果が見られなかった可能性も考えられる。したがって、本研究の結果から、低負荷強度のトレーニングにおいて代謝物の蓄積がトレーニング効果を増強する可能性を否定することはできない。本研究において筋厚は平均で約 8% 増加しており、8 週間のトレーニングで生じ得る筋肥大の上限に達していたのかもしれない。

また、70%1RM で 10 回 3 セットのトレーニングは運動後血流制限の有無に関わらず骨格筋に十分な代謝的刺激を与えていた可能性も考えられる。本研究では運動後血流制限の有無による差を見るため、セット間の休憩時間を比較的に長めに取ることで運動中の代謝物の蓄積を抑えることを試みた。また、トレーニング実験とは別個に実施した一過性の応答を調べる実験では、運動後血流制限条件においてのみ代謝受容器反射による反応が観察された。したがって、運動脚と比べて運動 + 運動後血流制限脚において代謝物の蓄積の程度が大きかったことは間違いないと考えられる。しかし、筋内に蓄積した代謝物を直接測定しているわけではないため、運動後血流制限の有無で代謝物の蓄積量に具体的にどの程度の差が生じていたのかは明らかでない。

研究成果の公表については、学会発表を 1 件行ったが、投稿論文は受理されず、補助事業期間中の論文掲載には至らなかった。現在、再投稿に向けて論文の改訂を行っている。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Haruhiko Madarame, Satoshi Nakada, Takahisa Ohta and Naokata Ishii. Does metabolite accumulation per se enhance exercise-induced muscle hypertrophy? 19th Annual Congress of the European College of Sport Science, July 2nd 2014, Amsterdam RAI Convention Center, Amsterdam, the Netherlands

〔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：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

班目 春彦 (MADARAME, Haruhiko)
東京大学・大学院総合文化研究科・助教
研究者番号：40555653

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：