

令和元年6月22日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K16564

研究課題名(和文)筋電気刺激と血流制限を組み合わせた新たなトレーニング方法の開発

研究課題名(英文) Identification of electrostimulation and blood flow restriction protocols for skeletal muscle hypertrophy

研究代表者

梶 寿喜 (NATSUME, TOSHIHARU)

順天堂大学・スポーツ健康科学研究科・特任助教

研究者番号：90761841

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はパンプアップと筋疲労を指標として筋電気刺激と血流制限を組み合わせたトレーニングの至適条件を明らかにすることを目的とした。その結果、筋電気刺激(30Hz, 500 $\mu$ s)に大腿部が阻血にいたる制限圧の50%の圧を加えた際にパンプアップと筋疲労が効果的に生じることが明らかになった。また、実際にトレーニングを行ったところ、これ迄のプロトコルより高い筋肥大を引き起こすことが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋電気刺激と血流制限を組み合わせたトレーニング方法は低体力者でも実施することが可能である。しかしながら効果的に筋肥大や筋力増加を導く至適条件については明らかでない。本研究によって筋力や筋量を増加する至適な実施条件が明らかとなれば疾患や傷害を有する人を対象としたトレーニングの実用化に大きく貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of present study was to reveal appropriate neuromuscular electrical stimulation (NMES) and blood flow restriction (BFR) protocols for muscle hypertrophy. We considered these protocols from the point of view of muscle swelling and muscle fatigue immediately after these treatments. According to the results, NMES (frequency, 20Hz; Pulse duration, 500 $\mu$ s; duty cycle, 4 s on: 8 s off) effectively caused muscle swelling and muscle fatigue when combined with 50% of resting arterial occlusion pressure, compared with other conditions. Moreover, the protocol induced muscle hypertrophy after 2 weeks of training than previous NMES with BFR training protocol.

研究分野：運動生理学 トレーニング科学

キーワード：筋疲労 パンプアップ 筋厚 筋肥大 筋力

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

骨格筋量および筋力の低下は、生活の質や日常生活動作を低下させる危険因子であるため、これらを維持・増加することは健康増進のための重要な課題である。一般に、筋量や筋力を維持・増加するためには、高負荷レジスタンス運動が推奨されている。しかしながら、悪性新生物(肺癌)や慢性炎症(COPD)などによって呼吸器系の機能不全を有する低体力者や整形外科的疾患があるリハビリテーション患者などは、呼吸困難や関節炎の症状を呈している場合があり、高負荷レジスタンス運動を誰もが実施できるわけではない。

近年では、筋肥大や筋力増加を引き起こす方法の一つとして、筋電気刺激法が利用される機会が増加している。筋電気刺激法とは皮膚に貼った電極パッドを介して流れる電流により不随意に骨格筋を収縮させる方法であり、呼吸循環器系や関節にかかる負担を軽減した状態でトレーニングを実施することが可能である。しかしながら、筋電気刺激を利用したトレーニングにおける大きな問題点は、痛みを伴うために、電流を流すことによって誘発できる筋力の程度は最大筋力の12-95%と個人差が非常に大きく、誰もが筋電気刺激法による恩恵を受けられる高強度で実施できるわけではない(Natsume et al. 2015)。また、筋電気刺激法によって筋肥大や筋力増加を生じさせるためには、高強度の筋電気刺激が必要であることに加えて、従来のレジスタンス運動と同程度の期間(2ヶ月)もしくはより長期間実施する必要がある(Gondin et al. 2005)。

生理学的な観点から、筋肥大を導くためには、筋収縮の力学的ストレスによる機械的負荷と水素イオンやリン酸イオン等の代謝産物蓄積による代謝的負荷が重要であるとされている(Ozaki et al. 2015)。筋電気刺激法において機械的負荷を増加するためには電流量を増加させる必要があるが、そもそも筋電気刺激法では発生する痛みによって機械的負荷を上げることは困難である。従って、トレーニング効果を得るためには何かしらの方法で代謝的負荷を高める必要がある。そこで申請者は、刺激筋への血流制限に着目してこの問題を解決することを試みている。血流制限とは活動筋への静脈還流血を制限することによって筋内に血液を貯留させた状態を作り出す方法である。先行研究によって、最大筋力の10-20%程度の力発揮を生じる運動であっても、血流制限を加えることによって高強度レジスタンス運動に匹敵するトレーニング効果を短期間(数週間)で獲得できる(Abe et al. 2012)。実際に我々は最大筋力の5-10%程度の力発揮をする筋電気刺激に血流制限を併用することによって2週間で筋肥大や筋力増加が生じることを明らかにしている(Natsume et al. 2015)。従って、筋電気刺激に血流制限を組み合わせたトレーニングは、従来の筋電気刺激法の問題点を解決するトレーニング方法の一つであるといえる。しかしながら、そのトレーニング効果を最大化する電気刺激および血流制限の至適条件(より高い効果をより効率的に得られる条件)は明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

代謝的負荷の増加は筋肥大を導く為に重要な要素である。その間接的な指標の一つにポンプアップ現象(水素イオンやリン酸イオン等の代謝産物蓄積による浸透圧の変化が引き起こす血漿成分の筋組織への移動)があり、ポンプアップ現象は最終的に筋肥大に不可欠な細胞内シグナル伝達経路を活性化することが考えられている(Ozaki et al. 2015)。また、代謝的負荷の増加が要因のひとつとなって生じる筋疲労(発揮筋力の低下)の程度も筋肥大効果を大きく左右する可能性が示唆されている(Ozaki et al. 2015)。従って本研究ではポンプアップと筋疲労の程度に着目して筋肥大効果を最大化するための筋電気刺激と血流制限の至適条件について明らかにすることを目的として研究を遂行した。具体的には、

- (1) 刺激条件の違いが骨格筋のポンプアップおよび筋疲労に与える影響を検証した。
- (2) 血流制限圧の違いが骨格筋のポンプアップおよび筋疲労に与える影響を検証した。
- (3) 筋肥大や筋力増加を導くより効率的なトレーニング時間について検証した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 研究課題 1

筋電気刺激の刺激条件の違いが骨格筋のポンプアップおよび筋疲労に与える影響を明らかにする為に以下の検証を行った。

#### 対象および実験デザイン

運動習慣のない成人男性6名を対象とした。筋電気刺激は刺激条件(周波数, 20Hz; パルス幅, 500  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off)、刺激条件(周波数, 50Hz; パルス幅, 200  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off)、刺激条件(周波数, 100Hz; パルス幅, 100  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off)を無作為に実施した。全ての刺激条件は膝関節角度を75度(膝関節完全伸展=0度)に固定した状態で大腿四頭筋に1分間の休息をはさんで5分×4セット実施した。また、次の筋電気刺激を実施するまでには少なくとも1週間の期間を設けて前に実施した電気刺激の影響を最小限に抑えるように配慮した。

刺激条件の違いがポンプアップに与える影響を評価する為、電気刺激を実施する前後に超音波診断装置を使用して大腿部前面の筋厚を計測した。また、筋疲労への影響を評価する為、電気刺激を実施する前後に筋機能測定装置を使用して膝伸展筋力を測定した。

## (2) 研究課題 2

筋電気刺激と組み合わせた際に筋ポンプアップ現象と筋疲労を最も効果的に引き起こす血流制限圧を明らかにする為に以下の検証を行った。

### 対象および実験デザイン

運動習慣のない成人男性 6 名を対象とした。対象者の大腿基部にカフを装着し、内踝後方にある後頸骨動脈上に脈波計を貼付した状態で筋電気刺激を大腿部前面に実施した。筋電気刺激の刺激条件は研究課題 1 において最も効率よくポンプアップ現象と筋疲労を導いた刺激条件 (周波数, 20Hz; パルス幅, 500  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off) を採用した。血流制限は、大腿基部にタニケットを装着して加圧をおこない阻血に至る血流制限圧を 100% とした際に、脈波が 30%、40%、50%、60% 制限される条件を無作為に実施した。次の血流制限条件を実施するまでには 1 週間の期間を空けた。血流制限圧の違いがポンプアップ現象に与える影響を評価するために、血流制限を実施する前後に超音波診断装置を使用して大腿部前面の筋厚を計測した。また、血流制限圧の違いが筋疲労に与える影響を評価するために、血流制限を実施する前後に筋機能測定装置を使用して膝伸展筋力を計測した。さらに血流制限による痛みや主観的運動強度の指標として CR10 および RPE を血流制限後に記録した。

## (3) 研究課題 3

これ迄に我々は、筋電気刺激と血流制限を併用することで、筋肥大に重要である筋疲労(発揮筋力の低下)とポンプアップが 5 分という短時間で生じることを確認している(未発表)。従って、5 分間のトレーニング(5 分  $\times$  1 セット)でこれまで実施していた 20 分間(5 分  $\times$  4 セット)のトレーニングと同程度のトレーニング効果を獲得できるかもしれない。従って、研究課題 3 では研究課題 1 と研究課題 2 から得られた筋疲労とポンプアップを効果的に導く筋電気刺激と血流制限の条件を用いて筋肥大および筋力増加を導くトレーニング時間について明らかにする為に以下の検証を行った。

### 対象および実験デザイン

運動習慣のない成人男性 7 名を対象とした。片脚をそれぞれ 5 分間 (5 分  $\times$  1 セット) のトレーニングを実施する条件と 20 分間 (5 分  $\times$  4 セット) のトレーニングを実施する条件に無作為に振り分けた。筋電気刺激は研究課題 1 において最も効率よくポンプアップ現象と筋疲労を導いた刺激条件 (周波数, 20Hz; パルス幅, 500  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off) を大腿部前面に実施した。また、血流制限は腿基部にタニケットを装着して、阻血にいたる血流制限圧の 50% の圧を加えた。トレーニングは 2 回/日  $\cdot$  5 日/週の頻度で 2 週間おこなった。トレーニング期間の前後に、筋肥大の指標として大腿部前面の筋厚を超音波 B モードによって評価した。また、膝伸展時の最大筋力を筋機能測定装置によって評価した。血流制限および電気刺激によって感じる痛みや主観的運動強度の指標として CR10 および RPE を血流制限後に記録した。

## 4. 研究成果

### (1) 研究課題 1

筋電気刺激後に生じたポンプアップ(大腿部前面の筋厚の変化)は条件 1 (周波数, 20Hz; パルス幅, 500  $\mu$ s; Duty cycle, 8s on: 4s off) が条件 2 および条件 3 よりも高値を示した ( $p < 0.05$ ) (条件 1, 7%; 条件 2, 3%; 条件 3, 4%)。また、筋疲労(刺激後に生じた発揮筋力の低下)も条件 1 (条件 1, 10%; 条件 2, 5%; 条件 3, 6%) が条件 2 および条件 3 よりも高値を示した ( $p < 0.05$ )。

以上の結果から、刺激条件 1 は他の刺激条件よりも効果的にポンプアップおよび筋疲労を導くことが明らかになった。従って、条件 1 の刺激条件は血流制限と組み合わせて実施する際に筋肥大に重要な要素であるポンプアップおよび筋疲労を効率よく導く可能性がある。

### (2) 研究課題 2

血流制限後に生じた大腿部前面の筋厚の変化は、40% および 50% の制限圧で他の条件と比較して高値を示した ( $p < 0.05$ ) しかしながら、大腿部前面の筋厚の変化は 40% の制限圧と 50% の制限圧間には有意な差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。血流制限後の膝伸展筋力は、50% および 60% の制限圧で他の条件と比較して高値を示した ( $p < 0.05$ )。しかしながら、膝伸展筋力は 50% の制限圧と 60% の制限圧の間には有意な差は認められなかった ( $p > 0.05$ )。RPE および CR10 は血流制限圧が低くなればなるほど低値を示した ( $p < 0.05$ )。

以上の結果から、50% の血流制限圧は筋電気刺激と組み合わせた際に他の条件と比較して血流制限に伴う痛みや主観的運動強度を軽減した状態で最も効果的に筋のポンプアップ現象と筋疲労を同時に導くことが明らかになった。

### (3) 研究課題 3

大腿部前面の筋厚と膝伸展の最大筋力はいずれのトレーニング条件でもトレーニング後に有意に増加した ( $P < 0.05$ )。しかしながら、20 分間のトレーニングを実施した脚では 5 分間のトレ

ーニングを実施した脚よりも有意に増加が認められた( $p < 0.05$ )。痛みと主観的運動強度の指標である RPE および CR10 は 5 分間のトレーニングを実施した脚よりも 20 分間のトレーニングを実施した脚において高値を示した。しかしながら、痛みと主観的運動強度はトレーニングを繰り返すことによって徐々に低下した( $p < 0.05$ )。

以上の結果から、筋電気刺激と血流制限を組み合わせたトレーニングでは 1 回当たりのトレーニング時間が長い方が効果的に筋肥大と筋力増加を導くことが可能であることが明らかになった。また、本研究で作成したプロトコルは以前に我々が報告したプロトコル(NATSUME et al, 2015)より筋肥大を導いた(5.0% vs. 3.9%)ことからパンプアップと筋疲労の程度を考慮することは筋電気刺激と血流制限のトレーニング効果を最適化する上で重要な因子であることが推察される。しかしながら、筋電気刺激と血流制限を組み合わせたトレーニングを実用化するためには更に筋肥大と筋力増加を効果的に導くトレーニング条件について検証する必要がある。

## 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 7 件)

Natsume T, Yoshihara T, Naito H. Electromyostimulation with blood flow restriction enhances activation of mTOR and MAPK signaling pathways in rat gastrocnemius muscles. *Appl Physiol Nutr Metab.* 44(6), 637-644, 2019. DOI: 10.1139/apnm-2018-0384.

Natsume T, Ozaki H, Kakigi R, Kobayashi H, Naito H. Effects of training intensity in electromyostimulation on human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol.* 118(7), 1339-1347, 2018. DOI: 10.1007/s00421-018-3866-3.

Natsume T, Ozaki H, Saito A, Naito H. Neuromuscular electrical stimulation with blood flow restriction increases serum growth hormone concentration. *Gazz Med Ital.* 177(11), 599-605, 2018. DOI: 10.23736/S0393-3660.17.03657-9.

[学会発表](計 17 件)

Natsume T, Yoshihara T, Naito H. Electromyostimulation with blood flow restriction enhances activation of mTOR and MAPK signaling pathways in rat gastrocnemius muscles. *Experimental Biology*, San Diego, CA, USA, 2018 年 3 月.

栗寿喜、尾崎隼朗、柿木亮、小林裕幸、内藤久士. 筋電気刺激の刺激強度の違いが筋肥大に及ぼす影響. 第 72 回日本体力医学会大会、愛媛、2017 年 9 月.

Natsume T, Ozaki H, Watanabe K, Kubota A, Naito H. Muscle movements combined with blood flow restriction can induce muscle hypertrophy. *ACSM'S 63rd Annual meeting*, Boston, MA, USA, 2016 年 5 月.

## 6 . 研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 内藤久士

ローマ字氏名: (NAITO, Hisashi)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。