

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：12601  
研究種目：基盤研究(C)（一般）  
研究期間：2019～2022  
課題番号：19K11463  
研究課題名（和文）瞬発的筋力トレーニングに対する神経系および骨格筋エネルギー代謝の適応機序の解明  
  
研究課題名（英文）A study on adaptation mechanisms of nervous system and skeletal muscle energy metabolism to explosive type strength training  
  
研究代表者  
小林 雄志（Kobayashi, Yuji）  
  
東京大学・大学総合教育研究センター・助教  
  
研究者番号：50549491  
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）：瞬発的筋力トレーニングにおいては、神経系の刺激のほか、エネルギー代謝も重要なトレーニング刺激となるものと予想される。本研究では、瞬発的筋力トレーニングの実施や中断によって、瞬発的筋力にどのような影響が生じるかを測定し、神経系やエネルギー代謝への適応の状況について検討にすることを目的とした。健康な成人男性を被検者として、瞬発的筋力トレーニングを実施し、トレーニング期間前、トレーニング期間終了後に筋力等の各種測定を行った。その結果、トレーニング期間終了後における瞬発的筋力と筋持久力の低下について、相互に関連していることが示唆され、エネルギー代謝に対する適応の関与なども推察された。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

瞬発的筋力の評価指標として用いられている力発揮初期の立ち上がり率(Rate of Force Development: RFD)は、瞬発的な運動を伴うスポーツ競技のパフォーマンス以外に、バランスを崩した際のリカバリーにも関係するなど、高齢者等の一般人にとっても重要な体力評価指標である。近年、RFDの向上を目的とする瞬発的筋力トレーニングが広く行われているものの、その効果や仕組みは不明な部分が多く、特に神経系やエネルギー代謝の要因について検討することにより、それらの情報は効果的なトレーニング方法を開発する際の重要な検討材料になるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In explosive-type strength training, besides neural stimulation, energy metabolism is also expected to be an essential training stimulus. This study aimed to measure the effects of implementing and interrupting explosive strength training on explosive muscle strength and examine the adaptive responses of the nervous system and energy metabolism. Healthy adult males were recruited as participants, and various measurements including muscle strength were conducted before and after the training period. The results suggested a mutual relationship between the decline in explosive muscle strength and muscle endurance after the training period, and also indicated the involvement of adaptations in energy metabolism.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：瞬発的筋力 エネルギー代謝 神経系の適応 RFD RTD デイトレーニング

## 様式 C - 19 , F - 19 - 1 , Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年のトレーニング科学研究では、瞬発的筋力の評価指標として力発揮初期の立ち上がり率 (Rate of Force Development: RFD) が注目されている。RFD は瞬発的な運動を伴うスポーツ競技のパフォーマンスに影響を及ぼすのみならず、バランスを崩した際のリカバリーにも関係し (Thelen et al., 1996)、高齢者において、転倒経験者の瞬発的筋力は転倒未経験者に比べて低いという報告 (Bento et al., 2010) もあるため、高齢者等の一般人にとっても重要な体力評価指標であるといえる。

2010 年代以降、瞬発的な筋力発揮を伴う筋力トレーニング (瞬発的筋力トレーニング: Explosive type strength training) により瞬発的筋力を短期間で向上させる報告が相次いだ。これらの研究では、トレーニング時の高い筋活動レベルが刺激となり、この瞬発的筋力の向上に寄与することが示唆されている (Tillin et al., 2012, Kobayashi et al., 2013)。これら神経系要因に加え、瞬発的筋力発揮時には多量に消費された ATP の再合成のためにグリコーゲン (Gly) 等の無酸素性エネルギー基質を瞬時に利用しなければならず、こうしたエネルギー代謝も重要なトレーニング刺激となるものと予想される。短期スプリントトレーニングによって、磁気共鳴分光法 (Magnetic Resonance Spectroscopy: MRS) を用いて測定した筋中クレアチンリン酸やグリコーゲンが有意に増加するという報告 (Kasai et al., 2017) もあり、全力での筋力発揮を繰り返す瞬発的筋力トレーニングにおいても同様の適応が生じ、瞬発的筋力の向上に寄与している可能性もある。しかしながら、瞬発的筋力トレーニング時の筋エネルギー代謝動態は不明であり、瞬発的筋力トレーニングをエネルギー代謝の観点から検討した研究も見当たらないのが現状である。

### 2. 研究の目的

上記の背景より、瞬発的筋力トレーニングの実施や中断によって、瞬発的筋力にどのような影響が生じるかを測定し、それらの結果から神経系やエネルギー代謝への適応の状況について検討にすることを目的とした。

### 3. 研究の方法

本研究では、瞬発的筋力トレーニングについての研究で頻繁に用いられているプロトコル (Tillin et al., 2012, Kobayashi et al., 2013) に類似するトレーニングを用いて、その影響を評価することとした。また、運動形態としては瞬発的なベンチプレス・ベンチスロー等、様々な方法を検討したが、一般の被検者でも実施可能な膝伸展運動を用いることとし、1 秒以内の全力での瞬発的筋力発揮を 5 秒ごとに 10 回行う運動を 1 セットとして、この運動を数セット行う、というプロトコルでトレーニングを実施した (図 1)。

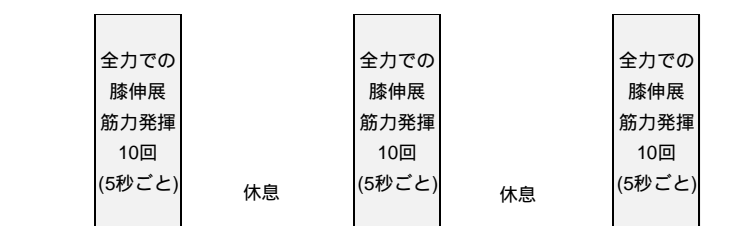


図 1. トレーニングプロトコルの例

健常な成人男性数名を被検者として、上記のトレーニングを 4~8 週間・週 2 回実施し、トレーニング期間前、トレーニング期間終了後、その 2 週間および 4 週間後 (脱トレーニング期間後) に、筋力等の各種測定 (Pre・Post1・Post2・Post3 測定) を行った (図 2)。

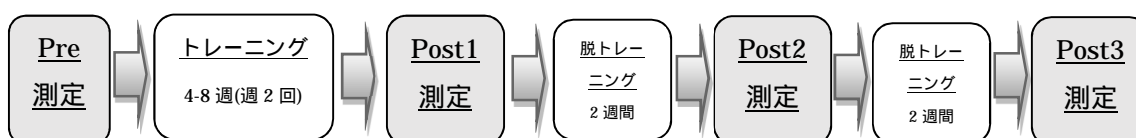


図 2. トレーニング実験の流れ

## Pre・Post1・Post2・Post3 測定の実施内容

### ・最大筋力測定

等尺性膝伸展筋力計を用いて、最大随意収縮(MVC)による等尺性膝関節伸展トルクを測定した。被検者は、筋力計に着座したのち、伸縮性のないストラップを用いて、腰部および足関節上部を固定された。被検者には十分なウォーミングアップの後、最大筋力の測定として、等尺性膝関節伸展運動を 3 秒間、全力で行わせた。試行は 3 回とし、試行間には 1 分以上の休憩を設けた。

### ・瞬発的筋力測定

最大筋力測定に引き続き、同じ筋力計・設定にて、瞬発的筋力測定を行った。試技内容は、反動を用いず、できるだけ強くかつ速く行う 1 秒間の全力での等尺性膝関節伸展運動とし、この運動を 5~10 秒程度の休息を挟みながら 5 回行わせるものとした。なお、実施に際し、リアルタイムで時間 - トルク波形を観察し、筋力発揮前のマイナス方向のトルクがないかどうかを確認することで、反動を用いていないかどうかを判定した。反動を用いていると確認された場合は、その分、試技を追加して実施することとした。

### ・筋持久力測定

最大筋力測定および瞬発的筋力測定と同じ筋力計・設定にて、筋力発揮の持続時間および低下率の計測を行い、これを筋持久力の指標とした。

### ・ジャンプ能力測定

筋力計による筋力測定に加え、動的な瞬発的筋力発揮の評価のために、各種ジャンプ測定を行った。ジャンプの種類は、スクワットジャンプ (SJ) およびカウンタームーブメントジャンプ (CMJ) とした。測定にはマットスイッチ (FMT-3M50100) を使い、各ジャンプの跳躍高を滞空時間により算出した。SJ については、膝関節屈曲角 90°の状態から、反動をつけず上方へ跳躍するように指示した。CMJ については、立位姿勢から反動動作を用いて上方へと跳躍するように指示した。なお、各ジャンプ試技について、「全力で高く跳ぶこと」、「着地時に不自然に膝を曲げない(まっすぐ着地すること)」の 2 点を指示した。各種ジャンプは 3 試技ずつ行わせ、最大跳躍高を分析の対象とした。

## 4. 研究成果

Post1 測定における最大筋力は Pre 測定時の値に比べ、増加を示した。また、Post2、Post3 測定における最大筋力についても Pre 測定時の値に比べ、高い値を示した。瞬発的筋力に関して、筋力発揮時の時間 - トルク波形の傾きの最大値 (mRTD) については最大筋力と同様に、Pre 測定時の値に比べ、Post1、Post2、Post3 測定では高い値を示す傾向にあった。しかしながら、筋力発揮開始から 200ms における時間 - トルク波形の傾き (RTD<sub>200</sub>) については、Post1 測定における値は Pre 測定における値に比べ増加していたものの、Post2、Post3 については Pre 測定時の値との差はほとんど認められず、2 週間以上のディトレーニングで瞬発的筋力はトレーニング前と同程度まで低下する可能性が示唆された。筋持久力およびジャンプ測定の値に関しても、RTD<sub>200</sub> と同様の傾向を示し、Post1 測定にて増加するものの、Post2、Post3 については Pre 測定時の値と同程度まで低下する傾向が認められた。これらの結果から、本研究と同様の瞬発的筋力トレーニングを実施した場合の RTD<sub>200</sub> に対する適応については、筋持久力との関連が示唆され、エネルギー代謝の適応の関与が推察された。なお、筋エネルギー代謝の実測等に関しては、研究代表者および研究分担者の所属変更の関係で 3T-MRI 等の最新の機器を用いた計測が困難な状況にあり、また、コロナ禍により被検者の確保も最小限に留まったが、研究全体を通して、今後の研究につながる実践的なデータを取得することができた。本研究にて捉えられた現象を足掛かりに、瞬発的筋力発揮を伴う運動を用いたトレーニングのエネルギー代謝に関する適応メカニズムに関して、より詳細な測定が実施され、その解明が進展していくことを期待する。

### < 引用文献 >

- Thelen et al., Effects of age on rapid ankle torque development. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 51(5), M226-232, 1996
- Bento et al., Peak torque and rate of torque development in elderly with and without fall history. *Clin Biomech.* 25(5), 450-454, 2010
- Tillin et al. Short-term training for explosive strength causes neural and mechanical adaptations. *Exp Physiol.* 97(5), 630-641, 2012
- Kobayashi et al. Effect of explosive-type strength training and short-term detraining on rate of torque development during isometric knee extension. *Br J Sports Med.* 47(17), e4, 2013
- Kasai et al., Impact of 5 days of sprint training in hypoxia on performance and muscle energy substances. *Int J Sports Med.* 38(13), 983-991, 2017

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 小林 雄志、赤木 亮太、牧下 英世、後藤田 中、江間 諒一	4. 巻 39
2. 論文標題 実験科目における非同期型口頭試問の実践と課題	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 280～292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14926/jsise.39.280	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小林 雄志、赤木 亮太、森岡 明美	4. 巻 18
2. 論文標題 大学体育授業を英語で実施する能力を向上させるためのeラーニング教材開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 大学体育スポーツ学研究	6. 最初と最後の頁 142～151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20723/jpeshe.18.0_142	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 鈴木 久雄、安田 智洋、野口 京子、正 美智子、野上 玲子、松井 弘志、武田 紘平、宮崎 正己、水上 雅子、塩嶋 理恵、中山 恭一、小林 雄志、秋原 悠、小幡 博基、伊藤 武彦、太田 暁美、高丸 功、倉崎 信子、枝松 千尋、菅 正樹、住本 純、設楽 佳世	4. 巻 18
2. 論文標題 コロナ禍における「岡大プログラム」の有効性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 大学体育スポーツ学研究	6. 最初と最後の頁 49～55
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20723/jpeshe.18.0_49	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 小林 雄志	4. 巻 37
2. 論文標題 大学教養体育におけるFDの動向	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 198～205
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14926/jsise.37.198	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 KOBAYASHI Yuji、AKAGI Ryota、HIRAYAMA Kuniaki、MATSUBAYASHI Takeo	4. 巻 181
2. 論文標題 Estimation of load-maximizing power output using bench press and bench throw tests	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche	6. 最初と最後の頁 402 ~ 408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23736/S0393-3660.20.04551-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 小林雄志
2. 発表標題 オンラインコミュニケーションツール (Slack・Slido等) の体験および大学体育授業への活用方法の検討
3. 学会等名 WEBワークショップ：アフターコロナの大学体育 オンラインツールの体験と活用方法の検討 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林雄志
2. 発表標題 オンラインホワイトボード Jamboardの使い方
3. 学会等名 WEBワークショップ：アフターコロナの大学体育 オンラインツールの体験と活用方法の検討 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林雄志
2. 発表標題 カリキュラム事例報告「するスポーツ演習」
3. 学会等名 大学教養体育研究会webセミナー「オンライン体育実技のティーチングティップス」 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木 智也, 後藤田 中, 久門 岳弘, 神田 亮, 小林 雄志, 米谷 雄介, 林 敏浩, 八重樫 理人, 平沢 友貴, 赤木 亮太
2. 発表標題 代償動作改善の映像支援に向けた骨格推定アルゴリズムを用いた代替動作検出の事前評価
3. 学会等名 令和元年度 電気関係学会四国支部連合大会
4. 発表年 2019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
研究分担者	有光 琢磨 (Arimitsu Takuma)  (00616021)	八戸学院大学・健康医療学部・講師  (31105)	
研究分担者	小笠原 理紀 (Ogasawara Riki)  (10634602)	名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授  (13903)	
研究分担者	江間 諒一 (Ema Ryoichi)  (10768196)	静岡産業大学・経営学部(磐田)・准教授  (33805)	
研究分担者	後藤田 中 (Gotoda Naka)  (40633095)	香川大学・創造工学部・准教授  (16201)	

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
---------	---------