

筋肥大や筋力・パワー増強を目的としたレジスタンス運動が運動後の筋機能に及ぼす影響  
～短縮性局面と伸張性局面の収縮時間に着目して～

柴田啓介<sup>1)</sup>, 瀧澤一騎<sup>2)</sup>, 水野眞佐夫<sup>3)</sup>

- 1) 北海道大学大学院教育学院
- 2) 一般社団法人身体開発研究機構
- 3) 北海道大学大学院教育学研究院

## 1. 緒言

筋肥大や筋力・パワー増強を狙ってレジスタンストレーニングが行われる。レジスタンストレーニングのプログラムを決定する変数の1つに1回の反復にかかる時間(速度)がある。これまでに、意図的に収縮時間を長くして反復したレジスタンス運動に関する研究が主に低負荷(e.g. 50%1RM)で行われてきた(Goto et al., 2008, 2009)。低負荷であっても、張力発揮時間を延ばすことでホルモン分泌が促進され(Goto et al., 2008, 2009)、結果として高負荷でのトレーニングと同等の筋肥大、ひいては筋力増強効果が得られたとの報告が見られる(Tanimoto & Ishii, 2006)。一方で、筋肥大や筋力・パワー増強を目的としたレジスタンストレーニングの負荷としては67%1RM以上の高負荷が適切とされている(Baechle & Earle, 2008)。

1回の反復にかかる時間が長いほど、疲労困憊まで反復する場合の反復回数は低下する。1回の反復にかかる時間が同じ場合に、伸張性収縮の時間を長くした方が短縮性収縮の時間を長くした場合と比較して疲労困憊まで反復する場合の反復回数が多くなる(Goto et al., 2009)。原因として、伸張性収縮の方が短縮性収縮と比較して最大筋力が高いことが挙げられる(Hollander et al., 2007)。先述のGoto et al. (2009)において短縮性収縮または伸張性収縮の時間を長くした研究は、低負荷(50%1RM)で行われている。高負荷でのトレーニングにおいても、意図的に短縮性局面もしくは伸張性局面の収縮時間を長くすることで張力発揮時間を延ばすことが出来れば、より一層の筋肥大効果、ひいては筋力・パワー増強効果が期待できるかもしれない。しかしながら、高負荷でのレジスタンス運動において、通常速度(e.g. 2秒挙上/2秒降下)と、短縮性局面もしくは伸張性局面の収縮時間を意図的に伸ばした場合の反復回数および総挙上重量、張力発揮時間に及ぼす影響を検討した研究は見当たらない。

レジスタンス運動後には筋損傷が生じる。損傷の程度は総挙上重量(Uchida et al., 2009; Charro et al., 2012)、反復速度(Chapman et al., 2008)などに影響を受ける。よって、1回の反復にかかる時間が短い条件(通常速度条件)において、短縮性局面もしくは伸張性局面にかかる時間を長くした場合と比較して反復回数が多くなることで総挙上重量が高まれば、損傷の程度も大きくなるかもしれない。先述のGoto et al. (2009)では、膝伸展運動において高負荷・通常速度条件(80%1RM, 1秒挙上 / 1秒降下)および2つの低負荷・低速度条件(50%1RM, 1秒挙上 / 5秒降下, 5秒挙上 / 1秒降下)が筋損傷に及ぼす影響を比較し、運動直後に等尺性最大筋力がいずれの条件においても30%程度低下したものの、条件間に差がなかったと報告している。しかしながら、これまでに高負荷でのレジスタンス運動を通常速度で実施した場合と短縮性局面または伸張性局面の収縮時間を意図的に伸ばした場合の筋のダメージに及ぼす影響は検討されていない。筋肥大や筋力・パワー増強を目的とした高負荷でのレジスタンス運動後の筋のダメージを調査することはトレーニングの頻度や競技者のコンディショニングを考慮する上で有益な情

報となりえる。

本研究では筋肥大や筋力・パワー増強を目的とした高負荷でのレジスタンス運動において、短縮性局面と伸張性局面の収縮時間の違いが運動中のパフォーマンスおよび運動後のダメージに及ぼす影響について検討することを目的とした。運動種目はスクワットとし、通常速度条件、短縮性局面の収縮時間が長い条件、伸張性局面の収縮時間が長い条件の3つの条件を実施した。

## 2. 方法

### 2-1. 被験者

被験者はレジスタンストレーニング経験を有する男子学生8名とした(20.5 ± 1.1 歳, 173.4 ± 3.7 cm, 63.6 ± 3.8 kg, スクワット最大挙上重量(1RM): 105.6 ± 11.5 kg)。被験者には書面および口頭により本研究の内容及び主旨を十分に説明し、同意書への署名を得たうえで被験者として採用した。本研究は、本学教育学研究院の倫理委員会の承認を得て実施した。

### 2-2. 実験デザイン

被験者は4回の実験に参加した。初回はスクワット1RM測定を実施した。2回目は全員が短縮性局面2秒・伸張性局面2秒(C2/E2)条件を行った。3回目と4回目は短縮性局面2秒・伸張性局面4秒(C2/E4)条件と短縮性局面4秒・伸張性局面2秒(C4/E2)条件をランダムな順序で実施した。

各条件間は3日間以上の間隔を空けて実施した。全ての条件は午前8:00~11:00の間に実施し、各被験者は同じ時刻に実験をスタートした。

1RM測定および各条件の最初は5分間の安静を保持し、その後自転車エルゴを用いて50Wで5分間(60回転/分)のウォームアップを実施した。

トレーニング種目はパラレルスクワットとし、75%1RMの負荷で3セット、各セット疲労困憊まで反復した。セット間のインターバルは3分間とした。スクワット運動中は60rpmに設定したメトロノームの音を鳴らすとともに、同一験者がカウントして規定のテンポに従うよう留意した。

本研究で設定したテンポは、トレーニング現場で一般的に用いられているテンポを採用した。

### 2-3. 測定項目

#### 2-3-1. 反復回数, 総挙上重量, 張力発揮時間

各セットにおける疲労困憊までの反復回数を記録した。被験者が既定のリズムについていけなくなったとき、もしくはバーベルを挙上できなくなったときを疲労困憊とした。総挙上重量は、挙上重量と反復回数の積で算出した。張力発揮時間は、反復回数と1回の反復にかける収縮時間の積で算出した。

#### 2-3-2. 心拍数

心拍計(polar A300, polar, Finland)を用いてスクワット運動中の心拍数を測定した。

#### 2-3-3. 主観的強度

各セットの直後に被験者が主観的強度を回答した。主観的強度の測定にはBorg Scaleを使用した。

#### 2-3-4. 膝伸展運動の最大筋力 (MVC)

トレーニング前後および翌日に膝伸展運動の MVC を測定した。測定には多関節筋力測定装置 (Power Processor, VINE, 東京) を用いた。被験者を椅子に座らせ、ベルトで上半身および腰部、両脚大腿部を固定した。被験者の利き足(全員右足)の足首に測定装置から伸びたワイヤーをストラップを用いて装着し、膝関節角度が 90 度となるようワイヤーの長さを調節した。被験者に胸の前で腕を交差させた姿勢で 3 秒間の全力発揮を 2 回実施させ、高値を MVC として採用した。

#### 2-3-5. 筋痛

運動前と翌日に、無負荷でパラレルスクワットの姿勢をとらせた際の大腿部前面の筋痛を Visual Analogue Scale (VAS) を用いて測定した。紙面上に 10 cm の直線を引き、直線の左端を「全く痛みが無い状態」、右端を「最大の痛みを感じている状態」とし、現在の痛みが直線のどの位置にあたるかを被験者に記録させた。

#### 2-4. 統計

スクワット運動の各セットにおける反復回数, RPE, 運動前後の乳酸値, MVC, 筋痛の条件間での比較に、反復測定の実験設計分散分析 (反復回数, 乳酸値: 3 条件×4 時点, MVC; 3 条件×3 時点, 筋痛: 3 条件×2 時点) を行った。交互作用が認められた場合、単純主効果の有無を確認した後、tukey 法により多重比較を行った。時間および条件の主効果が認められた場合、一元配置分散分析を実施した。主効果が認められた場合、Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。3 条件間での総挙上重量, 張力発揮時間, RPE の平均値および各セット中のピーク心拍数の平均値の比較に、繰り返しのある一元配置分散分析を行った。主効果が認められた場合、Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。データは全て平均値±標準偏差で示した。有意水準は 5%未満とした。

### 3. 結果

#### 3-1. 反復回数, 総挙上重量, 張力発揮時間

図 1 にスクワットの際の反復回数を示した。時間の主効果 ( $p < 0.01$ ) および条件の主効果 ( $p < 0.05$ ) が認められた。セットが増すごとに反復回数は低下した。また、C2/E2 が C2/E4 および C4/E2 と比較して有意に多かった ( $p < 0.01$ )。C2/E4 と C4/E2 の間に有意差は認められなかった。

総挙上重量は、C2/E2 ( $2,490 \pm 436$  kg) が C2/E4 ( $1,851 \pm 468$  kg) および C4/E2 ( $2,066 \pm 520$  kg) と比較して有意に多かった ( $p < 0.01$ )。

張力発揮時間は、C4/E2 ( $157.5 \pm 35.7$  秒) が C2/E2 ( $127.5 \pm 24.0$  秒) と比較して有意に長かった ( $p < 0.05$ )。C2/E2 と C2/E4 ( $141.8 \pm 36.0$  秒), C2/E4 と C4/E2 の間に有意差は認められなかった。

#### 3-2. 心拍数

ピーク心拍数の平均値は、C4/E2 条件 ( $160.5 \pm 9.5$  bpm) が C2/E4 条件 ( $152.3 \pm 16.0$  bpm) と比較して有意に高かった ( $p < 0.05$ )。C2/E2 ( $158.9 \pm 12.6$  bpm) と C2/E4, C2/E2 と C4/E2 間に有意差は認められなかった。

### 3-2. RPE

RPE の平均値に、3 条件間で有意差は認められなかった (C2/E2: 18.0 ± 0.4, C2/E4: 18.2 ± 0.4, C4/E2: 18.1 ± 0.6).

### 3-3. 乳酸値

図 2 に乳酸値の結果を示した。時間の主効果 ( $p < 0.01$ ) が認められ、交互作用および条件の主効果は認められなかった。

### 3-4. MVC

図 3 に MVC の結果を示した。時間の主効果 ( $p < 0.01$ ) が認められ、交互作用および条件の主効果は認められなかった。MVC はスクワット運動直後に有意に低下し ( $p < 0.01$ )、翌日も pre と比較して低値であった ( $p < 0.05$ )。低下率は、直後が 17%、翌日には 4%と小さかった。

### 3-5. 筋痛

図 4 に筋痛の結果を示した。時間の主効果が認められ、交互作用および条件の主効果は認められなかった。翌日の筋痛の平均値は 3.2 ± 2.2 cm であった。

## 4. 考察

本研究では、高負荷でのスクワット運動において短縮性局面と伸張性局面の収縮時間の違いが反復回数、総挙上重量、張力発揮時間、運動後の筋のダメージに及ぼす影響を検討した。その結果、反復回数と総挙上重量は C2/E2 が C2/E4 および C4/E2 と比較して多かった。C2/E4 と C4/E2 の間には差が見られなかった。張力発揮時間は C4/E2 が C2/E2 と比較して有意に長かった。RPE および乳酸値は 3 条件間で同等であったが、心拍数は C2/E4 が C4/E2 と比較して高値であった。筋のダメージの指標として測定した MVC と筋痛において、条件間で差は認められなかった。また、MVC の低下率、筋痛度合いともに小さかった。

C2/E4 と C4/E2 が C2/E2 と比較して反復回数と総挙上重量が少なかったのは、1 回の反復にかかる時間が長かったためである。1 回の反復にかかる時間が長い方が疲労困憊まで反復する際の反復回数が少なくなることが示されている (Sakamoto & Sinclair, 2006)。また、先行研究において 1 回の反復にかかる時間が同じでも短縮性局面と伸張性局面にかかる時間が異なる場合、反復回数と総挙上重量に違いが出ることを示されている (Goto et al., 2009)。すなわち、伸張性局面に長い時間 (5 秒) をかける条件と比較して、短縮性局面に長い時間 (5 秒) をかける条件で反復回数と総挙上重量が高値となったとされている。その原因として、伸張性収縮の方が短縮性収縮よりも高い力発揮が可能であるため、伸張性収縮に長い時間をかけた条件の方が 1 回の反復の間にかかる負荷が相対的に低かったと考えられる。本研究においても C2/E4 と C4/E2 は 1 回の反復にかかる時間が同じで、短縮性局面と伸張性局面にかかる時間が異なっていた。しかしながら、Goto et al. (2009) とは異なり短縮性局面と伸張性局面の時間の違い (C2/E4 vs. C4/E2) が反復回数および総挙上重量、さらには張力発揮時間にも違いを与えなかった。本研究と先行研究 (Goto et al., 2009) の違いとして、運動種目 (Goto et al. (2009) では膝伸展運動、本研究ではスクワット運動) および収縮時間の比 (Goto et al. (2009) では 1:5、本研究では 2:4) が関連しているものと考えられる。

主観的強度および乳酸値は条件間で差は認められなかった。従って、被験者は 1 回の反復にか

ける収縮時間に関係なく同等程度の努力度合いで疲労困憊に至っていたと考えられる。一方、ピーク心拍数は C4/E2 が C2/E4 と比較して高値であった。Hollander et al. (2003) では、負荷の絶対値が等しい短縮性収縮のみと伸張性収縮のみのレジスタンス運動を実施し、短縮性収縮のみの条件の方が主観的強度、乳酸値、心拍数が高値となることが示されている。本研究では、C2/E4 と C4/E2 の間で心拍数にのみ有意な違いが認められた。Hollander et al. (2003) と本研究との違いは、Hollander et al. (2003) で行われた運動は短縮性運動のみまたは伸張性運動のみを規定の回数実施したのに対して、本研究では両方の筋活動を疲労困憊まで繰り返したことにある。C2/E4 は C4/E2 と比較して低い心拍数で疲労困憊に至っていたことから、主働筋である脚の筋により強い負荷がかかっていたかもしれない。本研究では RPE は全身を対象に調査したが、今後脚の筋を対象とした主観的強度を調査していく必要もあるだろう。

運動後の筋のダメージは 3 条件間で同等程度であったと考えられる。MVC および筋痛に条件間で差が認められなかったためである。筋のダメージは主に伸張性筋活動後に起きるとされている。先行研究において、伸張性筋活動の速度の違いが筋のダメージに及ぼす影響を調査した研究によれば、反復回数が 30 回程度ではダメージに差が出ないことが示されている (Chapman et al., 2008)。本研究において、C2//E2 と C4/E2 における伸張性筋活動の速度は C2/E4 と比較して速かったといえる。しかしながら、各条件の合計反復回数は C2/E2 が  $34.7 \pm 6.7$  回、C2/E4 が  $24.6 \pm 5.1$  回、C4/E2 が  $28.0 \pm 5.3$  回と、30 回前後であった。また、MVC の低下率はスクワット運動直後が約 16%、翌日が約 4%と、先行研究 (Goto et al., 2009: 運動直後に MVC が 30%程度低下) と比較して小さかった。Goto et al. (2009) と本研究の違いは、Goto et al. (2009) が単関節運動 (レッグエクステンション) であったのに対して本研究は多関節運動 (スクワット) であった。Soares et al. (2015) によれば、多関節運動の方が単関節運動と比較して筋のダメージが小さくなる。従って、Goto et al. (2009) と比較したときの本研究の結果は妥当なものと言える。10cm の VAS を用いて測定した運動翌日の筋痛は、3 条件の平均が  $3.2 \pm 2.2$  cm であった。MVC および筋痛の結果から、本研究で行った 3 条件のスクワット運動が運動後の筋のダメージに及ぼす影響は小さかったと考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、筋肥大や筋力・パワー増強を目的とした高負荷 (75%1RM) のスクワット運動において短縮性局面と伸張性局面にかける時間の違いが反復回数および運動後のダメージに及ぼす影響を検討した。その結果、1 回の反復にかける時間が短い方が反復回数と総挙上重量が高値となるものの、短縮性局面と伸張性局面にかける収縮時間が筋のダメージに及ぼす影響は小さく、またダメージの程度も小さいことが示唆された。

## 引用文献

- Baechle TR, Earle RW. Resistance Training. In: Baechle TR, Earle RW, eds. *Essentials of Strength Training and Conditioning*. Champaign, IL: Human Kinetics;2008:381–412.
- Chapman, D. W., Newton, M., McGuigan, M., & Nosaka, K. (2008). Effect of lengthening contraction velocity on muscle damage of the elbow flexors. *Medicine and science in sports and exercise*, 40(5), 926-933.
- Charro, M. A., Aoki, M. S., Nosaka, K., Foschini, D., Figueira Jr, A., & Bacurau, R. F. (2012). Comparison between multiple sets and half-pyramid resistance exercise bouts for

- muscle damage profile. *European Journal of Sport Science*, 12(3), 249-254.
- Goto, K., Takahashi, K., Yamamoto, M., & Takamatsu, K. (2008). Hormone and recovery responses to resistance exercise with slow movement. *The journal of physiological sciences*, 58(1), 7-14.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., Kraemer, R. R., Honda, Y., & Takamatsu, K. (2009). Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *European journal of applied physiology*, 106(5), 731-739.
- Hollander, D. B., Durand, R. J., Trynicki, J. L., Larock, D. E. B. O. R. A. H., Castracane, V. D., Hebert, E. P., & Kraemer, R. R. (2003). RPE, pain, and physiological adjustment to concentric and eccentric contractions. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(6), 1017-1025.
- Hollander, D. B., Kraemer, R. R., Kilpatrick, M. W., Ramadan, Z. G., Reeves, G. V., Francois, M., ... & Tryniecki, J. L. (2007). Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(1), 37-40.
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 523-527.
- Soares, S., Ferreira-Junior, J. B., Pereira, M. C., Cleto, V. A., Castanheira, R. P., Cadore, E. L., ... & Bottaro, M. (2015). Dissociated Time Course of Muscle Damage Recovery Between Single-and Multi-Joint Exercises in Highly Resistance-Trained Men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(9), 2594-2599.
- Tanimoto, M., & Ishii, N. (2006). Effects of low-intensity resistance exercise with slow movement and tonic force generation on muscular function in young men. *Journal of Applied Physiology*, 100(4), 1150-1157.
- Uchida, M. C., Nosaka, K., Ugrinowitsch, C., Yamashita, A., Martins Jr, E., Moriscot, A. S., & Aoki, M. S. (2009). Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *Journal of sports sciences*, 27(5), 499-507.

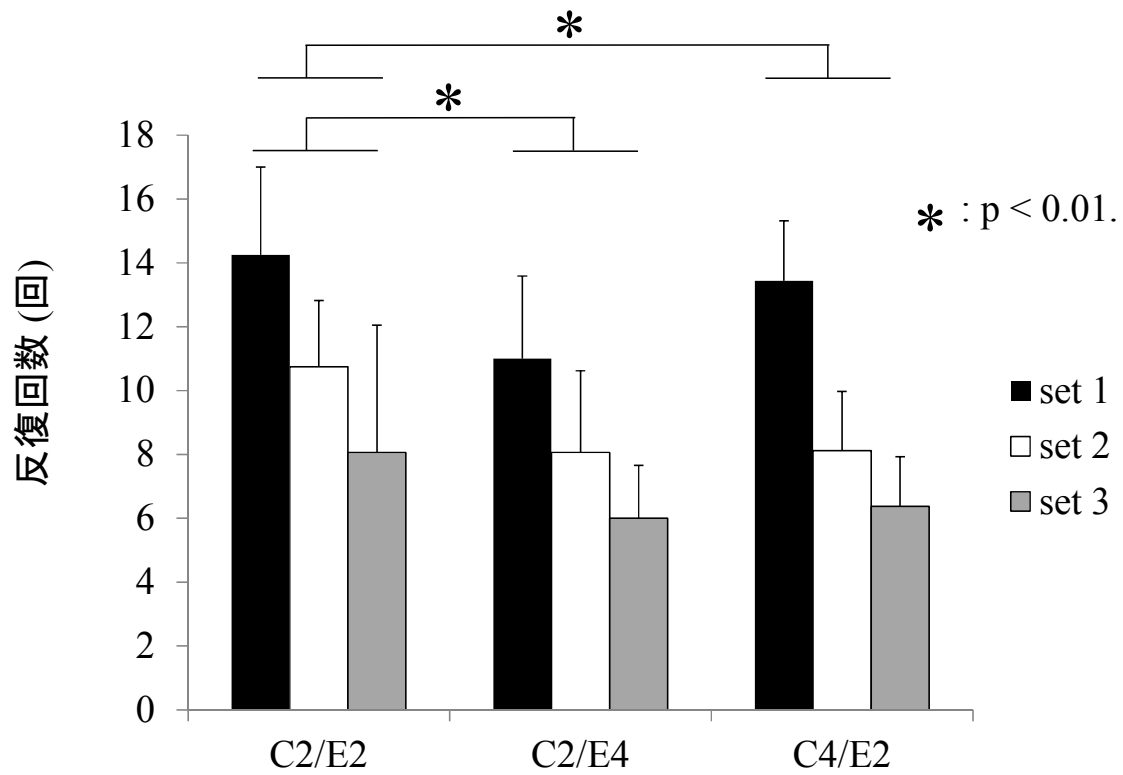


図 1. スクワット運動の反復回数

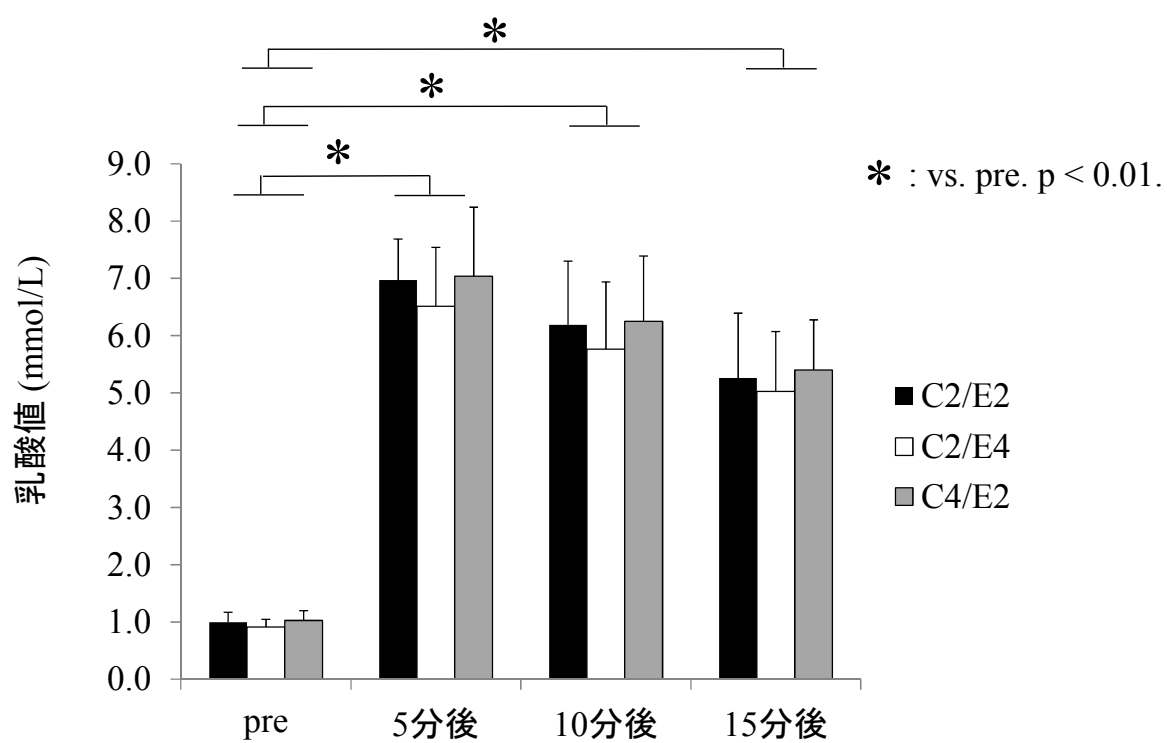


図 2. 運動前および運動 5,10,15 分後の乳酸値



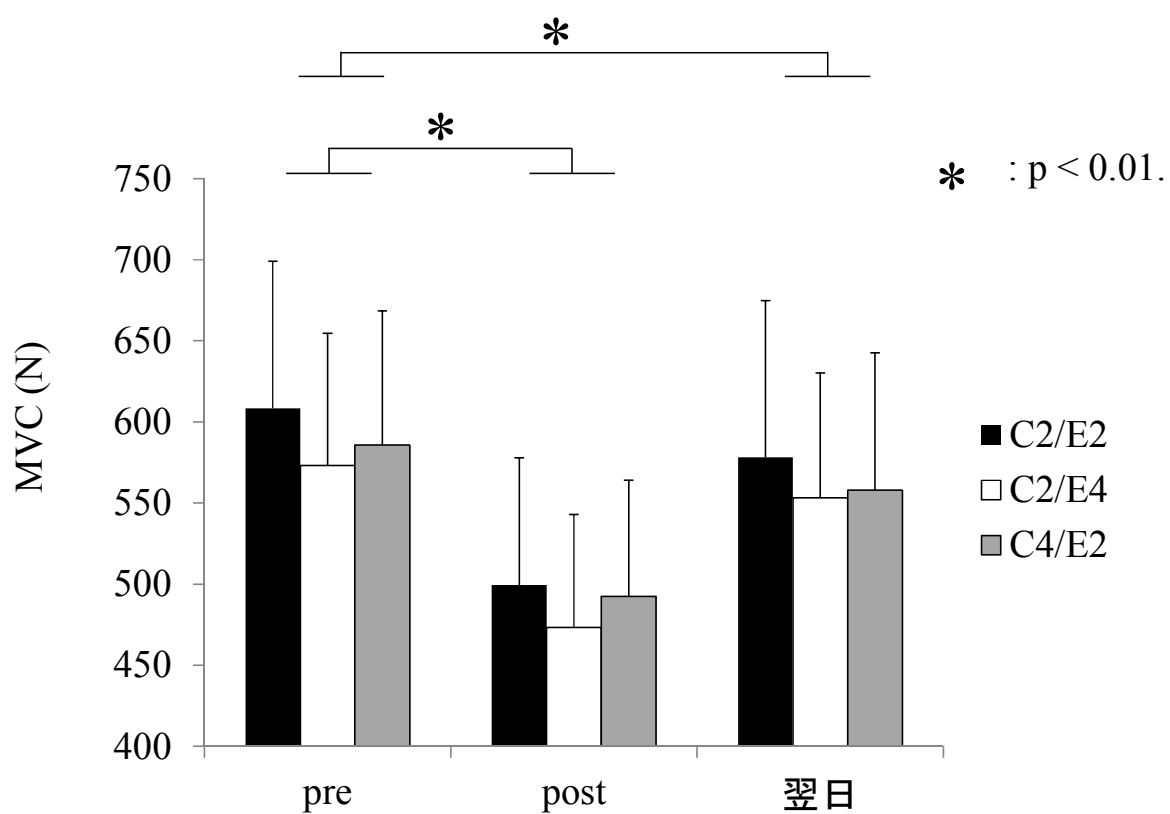


図 3. 運動前後および翌日の MVC

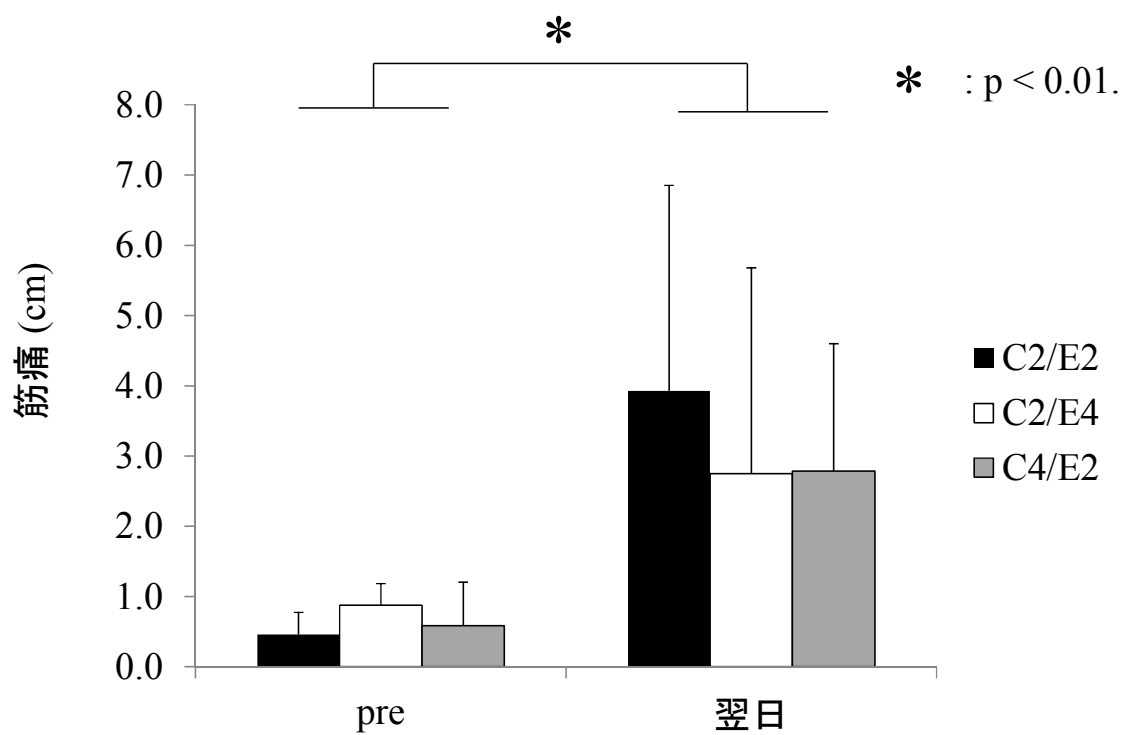


図 4. 運動前および翌日の筋痛