

ウェイトトレーニング初心者の筋力回復過程におよぼす 他のトレーニング経験の影響 —上肢のウェイトトレーニングを対象として—

李 忠林¹⁾ 野口 雄慶^{2,3)} 山田 孝禎⁴⁾

The effect of other training experience in weight training beginners on muscle recovery process: studies on weight training of the upper limb

Zhonglin LI¹⁾ Takanori NOGUCHI^{2,3)} Takayoshi YAMADA⁴⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of other training experience in weight training beginners on muscle recovery process after an upper-limb weight training. We recruited 19 participants (trained, n = 10; untrained, n = 9) who were instructed to perform concentration curls from the elbow extension to flexion positions, and the achievement rate of exercise load conditions was investigated. A dumbbell with a weight equivalent to 85% of the repetition maximum was used. Muscle strength exertion values were measured pre-exercise, immediately after exercise, and 24, 48, 72, and 96 h after exercise. The relative values of muscle strength were significantly higher in the training group than in the non-training group. In addition, immediately after exercise and after 24 h after exercise, it was significantly lower than 48–96 h after exercise. The results of this study revealed that the recovery time of muscle strength after exercise in untrained participants was higher than that in trained participants.

Key words : trained, untrained, muscle weakness, muscle strength, muscle recovery

キーワード : 鍛錬者, 非鍛錬者, 筋力低下, 筋力, 筋力回復

1. 緒言

一般的に、トレーニングの頻度はエクササイズ
の目的とエクササイズの疲労回復速度に応じて具体的
に設計しなければならない(尾懸ら, 2019). 特

に、ウェイトトレーニングでは筋肉が破壊されてから
回復するまでにかかる時間は48～72時間程度と
されている(Bompa, 1994; Tsuchiya et al., 2020) こ
とから、ガイドラインとして、十分な回復を得るた

1) 福井工業大学大学院 工学研究科 社会システム学専攻
(〒910-8505 福井市学園 3-6-1)

2) 福井工業大学 スポーツ健康科学部 (〒910-8505 福井市学
園 3-6-1)

3) ウェルネス&スポーツサイエンスセンター (〒910-8505 福
井市学園 3-6-1)

4) 福井大学 学術研究院教育・人文社会系部門 (〒910-8507
福井県福井市文京 3-9-1)

1) Department of Social System Engineering, Graduate
school of Engineering, Fukui University of Technology (3-6-1,
Gakuen, Fukui, Fukui, 910-8505, Japan)

2) Faculty of Sports and Health Sciences, Fukui University of
Technology (3-6-1, Gakuen, Fukui, Fukui, 910-8505, Japan)

3) FUT Wellness & Sports Science Center (3-6-1, Gakuen,
Fukui, Fukui, 910-8505, Japan)

4) Faculty of Education, Humanities and Social Sciences,
University of Fukui (3-9-1Bunkyou, Fukui, Fukui, 910-8507,
Japan)

連絡先 野口雄慶

福井工業大学スポーツ健康科学部

〒910-8505 福井市学園 3-6-1

E-mail t-noguchi@fukui-ut.ac.jp

めに、同じ筋群を強調するようなエクササイズ間の休息日は、少なくとも1日以上あけ、3日未満は空けない程度の頻度でトレーニングセッションを計画すべきであることが述べられている (Aura and Vitasalo, 1989; Bosco and Komi, 1979; Guyton and Hall, 1995; Newton et al., 1997).

このような基本的ガイドラインでは、ウェイトトレーニングの上級者 (以下、上級者) は、週に3~4回の頻度でウェイトトレーニングを計画することが推奨されている (Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018). 一方、ウェイトトレーニングステータスが初心者 (以下、初心者) の場合は、上級者と同様の回復期間でウェイトトレーニングを実施することはせず、ウェイトトレーニング間の休息時間を多くとるため、均等な間隔を置いて週2回あるいは3回のセッションを設定する (Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018). つまり、初心者の場合は72時間程度の回復期間を設けることが推奨されている。そして、十分な回復期間を保ちながら、段階的にウェイトトレーニング頻度を増やし (Newton et al., 1997), 上級者と同様のウェイトトレーニング頻度へと移行していくことが推奨されている。このようなウェイトトレーニングのガイドラインについては、数年ごとにアップデートされ、更新された情報が提示されるものの、一般人の筋力を強化するためのウェイトトレーニングに関しては週2回以上の実施という基本的な内容についてほとんど変更がないまま現在に至る (門間, 2021).

しかしながら、初心者の中にも、一般的なトレーニング経験がある人 (ウェイトトレーニングは行っていないが、競技特有のトレーニングを継続的に実施している: 例 クラブ活動など) (以下、鍛錬者) とトレーニング経験が無い人 (ウェイトトレーニングは実施しておらず、また、その他にも継続的に実施している運動がない) (以下、非鍛錬者) が含まれている。つまり、ガイドラインに従えば共にウェイトトレーニングのステータスは低い初心者の状態となることから、トレーニング頻度も同じ基準で設定することになる。しかしながら、ウェイトトレーニング以外の運動を実施している鍛錬者が、特にその普段から使用している部位がウェイトトレーニングでターゲットとする部位と同じである場合と、初心者よりも更にトレーニングに慣れていない、つまり、トレーニング経験が無い、または長期間トレーニングを行っていない非鍛錬者の筋の回復期間が同程度としてよいかの詳細については十分に明らかにされていない。鍛錬者と非鍛錬者のような対象では、筋

痛や筋疲労の回復状況も異なることが推測され、同様のウェイトトレーニング計画の実施では十分な効果が得られない、あるいは過度のトレーニング負荷を与えてしまう可能性があると考えられる。

非鍛錬者は、不慣れな運動や久しぶりの運動を行った際に遅発性筋痛 (delayed onset muscle soreness: DOMS) を発生しやすいといわれており (野坂, 2002), 普段行わないウェイトトレーニングなどを実施するとDOMSが生じると考えられる。DOMSが発生した際には、筋力低下も伴うことが明らかにされている (Nosaka et al., 2002; 尾縣ら, 2015). つまり、非鍛錬者特有のトレーニング後の筋痛や筋力低下の症状を示すことから、非鍛錬者がトレーニングを開始しようとする際には、いわゆるガイドラインの初心者よりも更に慎重に2回目のウェイトトレーニングまでの回復期間をどの程度設けるかを検討する必要がある。

通常、ウェイトトレーニングを実施するときにはガイドラインに示された回復期間を参考に、自分自身が感じる疲労感の軽減度合によってトレーニング再開の時期を判断するが、筋力低下の程度との関連性を検討しておかないと十分回復していない状態でウェイトトレーニングをすることは安全面でも問題である。非鍛錬者は特にトレーニングに慣れていないため、1回目で目標設定をしたウェイトトレーニング内容に対して、筋力の回復が十分でない状態で2回目のウェイトトレーニングを実施すると、設定された負荷に耐えうるだけの筋力発揮ができず (目標値と現状で発揮できる筋力に乖離 (差)が生じる)、危険を伴う、あるいはウェイトトレーニングメニューを十分にこなせない可能性が高まると推測される。

よって、本研究では上肢 (肘関節) のウェイトトレーニング後の筋力の回復過程について、鍛錬者と非鍛錬者で比較することを目的とした。

非鍛錬者はトレーニングの導入期間に十分な回復をまたずに2回目以降のトレーニングを実施すると、負荷に耐えられずケガが発生したり、モチベーションの低下が生じるなどの原因によって、トレーニングからのドロップアウトにつながる事が予測される。よって、現在のガイドラインの期間で十分な回復ができないことが明らかになった場合は、非鍛錬者の導入期間用の回復期間を設定することで、トレーニングからのドロップアウトやケガの予防を考慮したトレーニングの計画を作成することが可能になり、本研究の結果はその計画を作成する上で有益な情報をもたらすことが期待される。

2. 方法

2.1 対象

本研究では、ウェイトトレーニングは行っていないが、週に5回以上、専門競技のトレーニングを実施している剣道部の男子学生10名（年齢：18.4±0.92歳，身長：172.1±3.88cm，体重：68.9±11.47kg，競技歴：10.8±2.9年）を鍛錬者群とし、普段、ウェイトトレーニングやその他の継続的なトレーニングを実施していない男子学生10名のうち、途中で離脱した1名を除く9名（年齢：22.1±1.37歳，身長：174.9±3.25cm，体重：72.0±17.94kg）を非鍛錬者群として実験を行った。本研究の実験計画については、福井工業大学における人を対象とする研究倫理審査による承認（人-2022-04）を得て実施しており、被験者には、事前に実験の趣旨と手順を説明したのち、インフォームドコンセントにそって注意説明を行った。なお、実験参加承認は署名により確認した。両群ともに実験期間中、激しいスポーツや不慣れた運動は行わないよう指示した。

2.2 実験手順

2.2.1 運動負荷条件

本研究では、鍛錬者が普段からトレーニングで使用している（剣道で使用している）部位をターゲットとしたウェイトトレーニングの影響を検討するため、全対象者の利き手側の上腕二頭筋群に対し、以下の手順にて運動負荷条件を実施した。被験者は全員ウェイトトレーニングの経験が無いことを考慮し、最も簡単に行えるコンセントレーション・カールを本実験のトレーニングエクササイズとして選択した。まず、各被験者に対し、ダンベルを肘伸展位（肘関節角度：約170～180°）から肘屈曲位（肘関節角度：約50～60°）まで動かすコンセントレーション・カール（図1）の最大挙上重量（1RM）を測定した。運動負荷条件は、既存のウェイトトレーニングのガイドライン（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018; McBurnie et al., 2019）をもとに1RMの85%に相当する負荷にて最大挙上重量の測定と同様の動作（コンセントレーション・カール）とした。1セットあたりの目標反復回数（以下、レップ数）は6回、セット間の休息時間の長さは3分間で計6セット実施した。ただし、各セットの途中で継続が困難になった場合は、可能な限り実施できた最大限のレップ数までとし、3分間の休息の後、次のセットを開始し、6セットが完了するまで実施した。

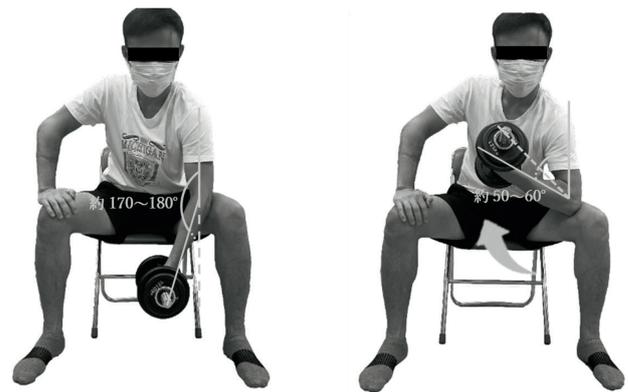


図1 コンセントレーション・カール

2.2.2 達成率の調査

被験者が肘関節繰り返し運動実施の際に、1セットあたりに実施できたレップ数を記録した。1セット毎に実施できたレップ数を数え、6セット分の合計値を算出し、総レップ数36回（6回×6セット）で割り、鍛錬者と非鍛錬者の達成率を算出した。

2.2.3 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の測定

テンションメーター（竹井機器工業株式会社製 T.K.K.5710e）を用いて最大努力による肘関節屈曲時の上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値を2試行測定した。測定時には被験者を椅子に座らせ、上体を軽く前傾し、肘が動かないように固定するため、計測する利き手側の肘を同側の大腿部の内側に押し付け、利き手側の肘関節が90°になる状態で手関節にテンションメーターのベルトを固定した（図2）。この際、逆の手は反対側の膝において支え、最大努力にて3～5秒間のアイソメトリック筋力発揮を運動前、運動直後、24時間後、48時間後、72時間後、および96時間後にそれぞれ実施した。



図2 最大努力によるアイソメトリック筋力発揮値の測定

2.3 統計処理

筋力発揮値の試行間信頼性を検討するために、級内相関係数 (ICC (1, 1)) を算出した。鍛錬者と非鍛錬者の運動負荷条件の達成率の比較のために、対応のないt検定を用いた。運動前の筋力発揮値を基準 (100%) として、運動負荷条件後の各時点の筋力発揮相対値を以下の計算式により算出した。

$$\text{(式) 筋力発揮相対値 (\%)} = \left(\frac{\text{各時点筋力発揮値}}{\text{運動前筋力発揮値}} \right) \times 100$$

筋力発揮相対値について、95%信頼区間の算出、および一要因のみ対応のある二要因分散分析 (鍛錬群・非鍛錬群×経過時間) を実施し、要因ごとの効果の大きさを偏 η^2 により求めた。分散分析の結果、有意な主効果あるいは交互作用が認められた場合、Tukey HSD法による多重比較検定を実施した。なお、本研究の有意水準は5%未満とした。

3. 結果

3.1 運動負荷条件の達成率

図3は、運動負荷条件の達成率について鍛錬者と非鍛錬者の比較を対応のないt検定で比較した結果を示している。検定の結果、鍛錬者の達成率は、非鍛錬者の達成率に比べて有意に高かった ($t = -4.12$, $p < 0.05$)。

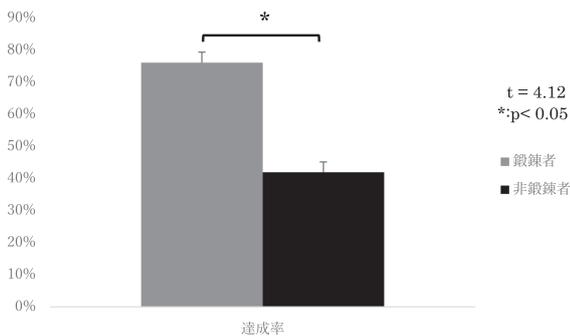


図3 鍛錬者および非鍛錬者条件における運動負荷条件の達成率

注：達成率 (%) = 実施できた回数の合計値 / 36回 (6回×6セット) × 100

3.2 上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮値の試行間信頼性、相対値および95%信頼区間

筋力発揮値の試行間信頼性を検討した結果、運動直後から96時間後までのICCはすべて0.98以上の高い値を示した。

表1は、運動直後から96時間後までの上腕二頭筋のアイソメトリック筋力発揮相対値における平均値、標準偏差、95%信頼区間、および二要因分散分析および多重比較検定の結果を示している。非鍛錬者群は運動直後から96時間まで全て、鍛錬者群においては、運動直後から24時間後までの期間において、筋力発揮相対値の95%信頼区間は最大値、最小値共に100%を下回っていた。二要因分散分析の結果、有意な交互作用が認められなかった。多重比較検定の結果、筋力発揮相対値は鍛錬者群よりも非鍛錬者群の方が有意に高かった。また、運動直後および24時間後の筋力発揮相対値は48時間後～96時間後の値よりも有意に低かった。

4. 考察

本研究では、トレーニングエクササイズとして1RMの85%の相対重量で6回を6セットのプログラムを設定した。この負荷設定値は本来、一般的な筋力向上のためのトレーニング負荷の推奨値として示されている基準を参考に設定した (目的：筋力向上、負荷：1RMの85%以上、目標レップ数：6回以下、セット数：2～6セット) (Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018)。ただし、今回の被験者はウェイトトレーニングの経験は無いが、専門競技 (剣道) のトレーニングの経験の有無の違いがあり、個々人の能力の差が大きい可能性が高いことから、負荷については最小負荷の85%に設定し、レップ数、セット数については最大数、つまり6回×6セットを目標値として提示し、実際には、各被験者が最大限実施できるところまでを負荷条件とした。この負荷条件にて、疲労困憊まで肘屈曲運動を繰り返しさせられたかを確認するため、達成率を確認した結果、鍛錬者は8割程度、非鍛錬者は4割程度の

表1 運動直後 (POST) および運動後24時間後～96時間後の最大努力アイソメトリック筋力発揮値と95%信頼区間

		鍛錬者			非鍛錬者			F値	p値	偏 η^2	多重比較	
		平均値 (%)	標準偏差	95%信頼区間	平均値 (%)	標準偏差	95%信頼区間					
1	POST	79.2	12.55	69.8 - 88.7	60.1	11.32	50.8 - 69.3	要因A	15.64	0.00 *	0.49	非鍛錬者<鍛錬者
2	24時間後	84.8	6.56	79.8 - 89.7	66.1	11.52	56.7 - 75.5	要因B	20.40	0.00 *	0.56	1,2<3,4,5
3	48時間後	102.3	17.49	89.1 - 115.5	74.7	13.23	63.9 - 85.5	交互作用	0.93	0.45 ns	0.05	
4	72時間後	105.7	19.59	90.9 - 120.4	77.6	13.73	66.4 - 88.8					
5	96時間後	103.9	16.81	91.3 - 116.6	80.7	16.07	67.7 - 93.9					

要因A：鍛錬者と非鍛錬者。要因B：時間。

*: $p < 0.05$, ns: 有意差なし。

運動前の筋力発揮値を100%とし、運動前の変化に応じて運動直後 (POST)、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後の相対値を算出した。

達成率であった。

運動前を基準（100%）とした場合、筋力発揮相対値は鍛錬者の方が非鍛錬者よりも高かったことから、運動後の筋力低下は全体的に非鍛錬者の方が著しいことが明らかになった。また、運動直後から24時間後の間の筋力発揮相対値はそれぞれ約15～20%（鍛錬者）、約34～40%（非鍛錬者）程度低下しており、ともに48時間以降と比較して筋力の低下が大きかったことが明らかになった。その後、48時間以降には筋力発揮相対値は鍛錬者、非鍛錬者ともに上昇し、鍛錬者は48時間後、72時間後、96時間後に平均値で102.29%、105.66%、103.95%になり、また、95%信頼区間の範囲も最大値が100%を超える状態になっていることから、運動前の100%の状態に近い値になることが明らかになった。それに対して、非鍛錬者の場合は48時間後、72時間後、96時間後に平均値では元の状態の74.67%、77.63%、80.75%程度に留まり、運動後4日間経過しても運動前よりも20%近く低い状態であること、また95%信頼区間の最大値も100%以下の状態であることが明らかになった。

よって、鍛錬者はウェイトトレーニング後2日間程度の期間で筋力が回復する。つまり、ウェイトトレーニングについては初心者であっても、鍛錬者が普段からトレーニングで使用している部位を対象にウェイトトレーニングを行う際には、上級者のガイドラインとして提示されている週3～4回のウェイトトレーニングの頻度（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018）と同様の間隔でも筋力が十分に回復し、問題ないことが明らかになった。

一方、非鍛錬者は96時間後になっても運動前の状態まで筋力が十分に回復しておらず、同じウェイトトレーニングの初心者である鍛錬者とは異なる傾向を示した。この原因として、不慣れな運動や久しぶりの運動を行った際に発生するDOMS（野坂, 2002）の影響が考えられる。このDOMSの根本的なメカニズム（Davies and White, 1981; Bobbert, 1986; Armstrong, 1984; Smith, 1991; Cleak and Eston, 1992; Al-Nakhli et al., 2012）が何であるかは明らかになっていないことも多いものの、少なくともDOMSは、運動後の「疲労」にも影響をもたらすこと（Talag, 1973; Armstrong, 1984; Miles and Clarkson, 1994）や、DOMSの発生に伴って、筋力低下が持続することが推測されている（Nosaka et al., 2002）。また、筋損傷の程度の指標であるCK活性値（Moghadam-Kia et al., 2016）について、

Dolezal et al. (2000) は、レジスタンストレーニング後、ウェイトトレーニング経験がある人とウェイトトレーニング経験が無い人のCK活性値は両者とも2～3日後に上昇したが、それらの値はウェイトトレーニング経験が無い人がウェイトトレーニング経験がある人に比べて有意に高かったことを報告している。また、同様の運動を実施した後に、ウェイトトレーニング経験がある人はウェイトトレーニング経験が無い人に比べて筋痛が軽減され、CK活性の増加が弱まり、ウェイトトレーニング経験がある人の筋損傷の程度も軽い可能性があることが示されている（Clarkson and Tremblay, 1988; Ebbeling and Clarkson, 1989; Hather et al., 1991; Nosaka and Clarkson, 1995）。つまり、DOMSには適応性（Clarkson, et al., 1992; Bar et al., 1994; Cleary et al., 2002）があり、同じ部位をトレーニングした後、次のトレーニングではDOMSの発生を抑えることができる。よって、鍛錬者はウェイトトレーニング経験が無いが、同じ部位のトレーニング経験があることから、先行研究の事例（Clarkson and Tremblay, 1988; Ebbeling and Clarkson, 1989; Hather et al., 1991; Nosaka and Clarkson, 1995）と同様にDOMSへの適応性が働き、非鍛錬者より回復期間が短くなったと考えられた。

つまり、非鍛錬者はこのようなDOMSや筋の損傷が鍛錬者よりも強いことが影響して、4日間（96時間）経過しても元の状態にまで筋力が戻らなかったと推測される。本研究では、96時間以上の期間まで測定を継続していないことから、96時間以降の状態についての詳細は今後更に研究を進める必要があるが、少なくとも、4日間では回復しないことは明らかになった。一般的には、初心者に推奨されている週2回のトレーニング頻度（Earle and Baechle, 2010; Sheppard and Triplett, 2018）では3～4日間の間隔での実施が求められる。よって、従来の推奨期間でトレーニングを実行すると非鍛錬者の筋力が完全に回復しないまま再開することになるため、十分なトレーニングの効果が得られない、あるいは安全管理上でも問題があると推測される。

実施頻度については、これまでウェイトトレーニング自体の初心者か上級者かに焦点が当てられ決定していたが、初心者の中にも、ウェイトトレーニング以外の一般的なトレーニングを実施している鍛錬者と非鍛錬者が存在しており、両者を同等に扱うことが適切かについて検討する必要があった。そのため、ウェイトトレーニング後の両者の回復状況が同じか否かを明らかにする必要があった。本研究の結

果より、鍛錬者は、普段使用している部位に対してウェイトトレーニングを初めて行う際でも、非鍛錬者よりもレップ数やセット数を多く実施することが可能であり、筋力低下の度合いや元の状態までの回復も早いことが明らかになった。これは、異なる種類のトレーニングの実施であっても、上級者に近い状態でウェイトトレーニングのプログラムに適應できることを示しており、トレーニング強度は従来のガイドラインと同程度のままで、目標とするレップ数やセット数、あるいは頻度を高く設定することが可能であることが示唆された。一方、トレーニング経験が無い非鍛錬者の場合は、運動負荷条件の達成率が平均で40%と低いにも関わらず、4日間経過しても元の状態に筋力が回復しないことから、初回にはトレーニング強度、レップ数やセット数は最小限に止め、開始からしばらくの期間は、初心者用の週2回のウェイトトレーニングの頻度でも多すぎる可能性がある。よって、週1回またはそれ以上の期間を取り、安全面を最優先したトレーニング頻度で計画を立てることが望ましいと考えられる。ただし、非鍛錬者のトレーニング強度の具体的な数値目標については本研究の結果からは明らかにすることができないため、今後更に詳細を検討する必要がある。

以上より、単にウェイトトレーニングの初心者か否かだけでなく、他のトレーニングの経験も初期の計画作成時に影響を及ぼす要因であることが本研究の結果より明らかになった。具体的には、トレーニングの経験がまったく無い人（非鍛錬者）は、初回のウェイトトレーニング後、少なくとも5日間以上の休養を取り、その後、個人差（回復状況）に応じて2回目のトレーニングの実施計画を立てることが必要であることが明らかになった。

ただし、本研究で得られた結論については、鍛錬者を特定の競技種目（剣道）の男性に絞った点、上肢（上腕二頭筋）に部位が限定された中での結論であることから、一般化にあたり今後の課題として他の競技種目や部位について、あるいは女性や他の年代など幅広い対象について検討を進めていく必要がある。また、本研究の限界として、トレーニング前後の筋力発揮相対値のみの測定であり、筋肉の損傷や疲労についての詳細まで検討できていないため、今後、さらに多くの対象やトレーニング方法や競技特化型のトレーニングについても含めたより詳細な調査を行う必要がある。

5. まとめ

本研究の結果より、以下のことが明らかになった。

- ・運動負荷条件後の筋力発揮相対値は鍛錬者群よりも非鍛錬者群の方が有意に低い。
- ・運動直後および24時間後の筋力発揮相対値は48時間後～96時間後の値よりも有意に低い。
- ・鍛錬者群は運動負荷条件後、48時間で筋力発揮相対値が100%程度になるが、非鍛錬者群は48時間経過後も100%以下の状態を示す。

利益相反自己申告

本研究において開示すべき利益相反はない。

引用参考文献

1. Al-Nakhli H. H., Petrofsky J. S., Laymon M. S., Berk L. S. (2012) The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. *Journal of Visualized Experiments*, (59) :3551.
2. Armstrong R. B. (1984) Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16 (6) : 529-538.
3. Aura O., and Vitasalo J.T. (1989) Biomechanical characteristics of jumping. *International Journal of Sport Biomechanics*, 5 (1) : 89-97.
4. Bar D. P. R., Anne J. B. R, Radboud W. K. and Hans G. J. A. (1994) Exercise-induced muscle damage: recent development. *Basic and Applied Myology*, 4 (1) : 5-16.
5. Bobbert M. F., Hollander A. P., Huijing P. A. (1986) Factors in delayed onset muscular soreness of man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18 (1) : 75-81.
6. Bompa T. O. (1994) PERIODIZATION OF STRENGTH. VERITAS PUBLISHING. ING, Tronto, 218-219.
7. Bosco C., and Komi P.V. (1979) Potentiation of the mechanical behavior of the human skeletal muscle through prestretching. *Acta Physiologica Scandinavica*, 106: 467-472.
8. Clarkson P. M., Nosaka K., Braun B. (1992) Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (5) : 512-520.
9. Clarkson P. M. and Tremblay I. (1988) Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in humans. *Journal of Applied Physiology*, 65: 1-6.
10. Cleak M. J. and Eston R. G. (1992) Delayed

- onset muscle soreness: mechanisms and management. *Journal of Sports Sciences*, 10 (4) : 325-341.
11. Cleary M. A., Kimura I. F., Sitler M. R., Kendrick Z. V. (2002) Temporal pattern of the repeated bout effect of eccentric exercise on delayed-onset muscle soreness. *Journal of Athletic Training*, 37 (1) : 32-36.
 12. Davies C. T. M. and White M. J. (1981) Muscle weakness following eccentric work in man. *Pflügers Arch*, 392: 168-171.
 13. Dolezal B. A., Potteiger J. A., Jacobsen D. J. and Benedict S. H. (2000) Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric overload. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (7) : 1202-1207.
 14. Earle R. W. and Baechle T. R. (2010) レジスタンストレーニングのプログラムデザイン. Earle R. W. and Baechle T. R. (編), 福永哲夫 (監) パーソナルトレーナーのための基礎知識. 森永製菓株式会社, pp. 373-410.
 15. Ebbeling C. B. and Clarkson P. M. (1989) Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Journal of Applied Physiology*, 7: 207-234.
 16. Guyton A.C. and Hall J.E. (1995) *Textbook of Medical Physiology*, 9th ed. Philadelphia: Saunders.
 17. Hather B. M., Tesch P. A., Buchanan P. and Dudley G. A. (1991) Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143: 177-185.
 18. 門間陽樹・川上諒子・山田綾・澤田亨 (2021) “筋トレ”の疫学: Muscle-strengthening exercise に関するナラティブレビュー. *運動疫学研究*, 23 (2): 129-142.
 19. McBurnie J. A., Allen K. P., Garry M., M., Martin M., Thomas D., Jones P. A., Comfort P. and McMahon J. J. (2019) The Benefits and Limitations of Predicting One Repetition Maximum Using the Load-Velocity Relationship. *Strength and Conditioning Journal*, 41 (6) : 28-40.
 20. Miles M. P. and Clarkson P. M. (1994) Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 34 (3) : 203-216.
 21. Moghadam-Kia S., Oddis C. V., Aggarwal R. (2016) . Approach to asymptomatic creatine kinase elevation. *Cleveland Clinic Journal of Medicine*, 83 (1) : 37-42.
 22. Newton R.U., Murphy A.J., Humphries B.J., Wilson G.J., Kramer W.J. and Häkkinen K. (1997) Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *European Journal of Applied Physiology*, 75: 333-342.
 23. 野坂和則 (2002) 筋肉痛のメカニズム. 福永哲夫 (編), 筋の科学事典. 朝倉書店, pp. 445-471.
 24. Nosaka K. and Clarkson P. M. (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27: 1263-1269.
 25. Nosaka K., Newton M., Sacco P. (2002) Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 12 (6) : 337-346.
 26. 尾縣貢・平野裕一・岡澤祥訓・田口素子・松本恵・亀井明子・川原貴・宮川俊平 (2019) 体力のトレーニング. Reference Book. 公益財団法人日本スポーツ協会, pp. 156-181.
 27. 尾縣貢・木越清信・遠藤俊典・森健一 (2015) 高強度ジャンプエクササイズ後の回復: 筋肉痛とパフォーマンスとの関連に焦点を当てて. *体力科学*, 64 (1) : 117-124.
 28. Sheppard J. M. and Triplett N. T. (2018) レジスタンストレーニングのためのプログラムデザイン. Haff G. G. and Triplett N. T. (編), 篠田邦彦 (訳), *ストレングストレーニング & コンディショニング* (第4版). 東京 ブックハウス・エイチデイ, pp. 479-512.
 29. Smith L. L. (1991) Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 23 (5) : 542-551.
 30. Talag T. S. (1973) Residual muscular soreness as influenced by concentric, eccentric, and static contractions. *Research Quarterly*, 44 (4) : 458-469.
 31. Yoshifumi Tsuchiya, Yasuo Kitajima, Hiroshi Masumoto, Yusuke Ono (2020) Damaged myofiber-derived metabolic enzymes act as activators of muscle satellite cells. *Stem Cell Reports*, 15 (4) : 926-940.