

低負荷レジスタンストレーニングに温熱刺激を加えることで筋力増強・筋肥大は生じるか？

中村雅俊 (PT)¹⁾²⁾, 吉田委市¹⁾, 清野涼介¹⁾,
佐藤 成¹⁾, 高橋信重¹⁾

¹⁾ 新潟医療福祉大学リハビリテーション学部理学療法学科

²⁾ 新潟医療福祉大学運動機能医科学研究所

キーワード：レジスタンストレーニング, 温熱刺激, 超音波画像診断装置

背景

骨格筋量は筋力発揮において主要な要素であり、加齢や疾患、不活動により骨格筋量が減少することは良く知られている。その中でも加齢に伴う骨格筋量の減少や、それに伴う筋力および運動機能の低下はサルコペニアと呼ばれており、サルコペニアの高齢者は転倒リスクや死亡率が高いことが報告されている¹⁻³⁾。この骨格筋の萎縮に対する処方として、レジスタンストレーニングが様々な場面で実施されている。一般的に、筋肥大を目的としたレジスタンストレーニングとしては、最大挙上重量 (1 repetition maximum: 以下, 1RM) の 60 ~ 80% 程度の高い負荷でレジスタンストレーニングを行うことが推奨されている⁴⁾⁵⁾。しかし、高負荷を用いたレジスタンストレーニングは、血圧上昇や筋骨格筋系障害のリスクが指摘されており⁶⁻⁸⁾、実際の高齢者を対象に実施することは困難である場合が多い。そのため、低負荷であっても効果的に筋肥大効果があるレジスタンストレーニング法の確立が必要である。

In vitro を中心に、温熱刺激によって骨格筋肥大が生じ⁹⁾¹⁰⁾、その筋肥大効果は対象動物の年齢にかかわらず引き起こされることが報告されている¹¹⁾。そのため、生体においても温熱刺激を付加することで、筋力増強および筋肥大効果が望めない低負荷のレジスタンストレーニングを用いた場合でも筋力増強・筋肥大効果が生じることが期待できる。また温熱刺激の種類には、ホットパックなどの表在性温熱と超音波や超短波などの深部温熱に区分される。しかし、これらの温熱刺激の種類による低負荷レジスタンストレーニングとの併用効果が異なる可能性もある。そこで本研究の目的は、低負荷レジスタンストレーニング前に異なる温熱刺激を付加することにより筋肥大効果があるかを明らかにすることとした。そのため、本研究では、レジスタンストレーニングにおける筋肥大に重要な要素である即時的な筋腫脹に着目し、即時的な筋腫脹が期待できない程度の低負荷であっても温熱刺激を付加することで即時的な筋腫脹が惹起できないかについて検討を行った。

方法

1. 対象

対象は健康成人男性 13 名 (平均年齢 21.2 ± 0.8 歳, 身長 171.7 ± 4.3 cm, 体重 62.8 ± 4.3 kg) の利き腕の上腕三頭筋とした。なお、本研究は本大学の倫理審査委員会の承認を得て実施した (承認番号 17678)。

2. 実験プロトコル

対象者は無作為な順番で、①コントロール条件 (以下, CON 条件), ②表在性温熱としてホットパック条件 (以下, HP 条件), ③深部温熱として超音波条件 (以下, US 条件) を実施し、介入前後の上腕三頭筋の筋厚を測定した。

3. レジスタンストレーニング方法

本研究では、筋力トレーニングに対する高い反応性を示す上腕三頭筋を対象とした¹²⁾。図 1 に示すように、片手用ダンベル (YORK FITNESS 社製) を把持し、片側ずつ筋力トレーニングを行った。ベッド上に背臥位で肩関節・肘関節屈曲 90° を開始肢位とし、30%1RM の負荷量に設定したダンベルを 2 秒かけて肘関節完全伸展位まで伸展していき、2 秒かけて開始肢位まで戻り、開始肢位にて 1 秒の等尺性収縮をする運動を 10 回繰り返す動作を 1 セットとし、3 セット実施した。なおセット間の休憩は 1 分とした。HP 条件および US 条件では、それぞれ後述するホットパックおよび超音波を用いた温熱刺激を付加した後にレジスタンストレーニングを実施した。

4. 1RM 測定

1RM 測定は Akagi ら¹³⁾¹⁴⁾ の研究を参考に、3.5 kg のダンベルで 5 回、5.0 kg のダンベルで 2 回の肘関節伸展動作によるウォームアップを行った後、肘関節全可動域伸展が不可能となるまでダンベルの重量を変化させながら全可動域伸展可能な最大負荷量をもとめた。各試行間には疲労の影響を排除するために 90 秒以上の休憩をとった。

5. 温熱刺激条件

表在性温熱刺激としてホットパックを使用した。HP 条件では、対象者は安静腹臥位、肩関節屈曲 0° 位、前腕回外位にし、上腕三頭筋の筋腹を覆うようにホットパックを貼付した。なお、ホットパックは 75 度のお湯にて加温した状態のホットパックをバスタオルで 2 重に包んだ状態で使用した¹⁵⁾。なお、対象者の要望に合わせて、適宜、タオルを追加した。また、US 条件では、HP 条件と同じ肢位にて、超音波 (酒井医療株式会社製: Alter Twin) を用いて、周波数 3 MHz, 強度 1.5 W, 照射時間率 100% (連続照射), 照射時間 20 分間、有効照射面積はプローブの 2 倍の範囲で照射した。

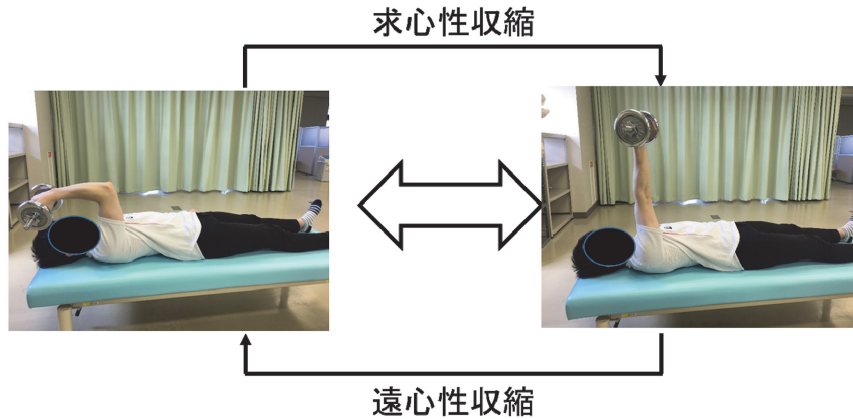


図 1 上腕三頭筋の筋力トレーニング方法

対象者はベッド上に背臥位で肩関節・肘関節屈曲 90° を開始肢位とし、30%1RM の負荷量に設定したダンベルを 2 秒かけて肘関節完全伸展位まで伸展していき（短縮性収縮）、2 秒かけて開始肢位まで戻り（伸張性収縮）、開始肢位にて 1 秒の等尺性収縮をする筋力トレーニングを実施した。

表 1 レジスタンストレーニング前後の筋厚の変化

cm	CON 条件		HP 条件		US 条件	
	介入前	介入後	介入前	介入後	介入前	介入後
50%	2.59 ± 0.41	2.73 ± 0.29	2.44 ± 0.39	2.69 ± 0.38**	2.53 ± 0.51	2.91 ± 0.59**
60%	2.08 ± 0.36	2.18 ± 0.32	2.00 ± 0.38	2.23 ± 0.44**	1.97 ± 0.42	2.37 ± 0.60**
70%	1.59 ± 0.33	1.67 ± 0.35	1.48 ± 0.31	1.65 ± 0.38**	1.45 ± 0.36	1.79 ± 0.48**

HP 条件および US 条件において全ての部位にてレジスタンストレーニング介入後に筋厚の有意な増加を認めた。
CON 条件：コントロール条件，HP 条件：ホットバック条件，US 条件：超音波条件，**：P < 0.01

6. 筋厚測定

超音波画像診断装置（東芝メディカルシステムズ株式会社製：Aplio500）を用いて上腕三頭筋の筋厚を測定した。測定肢位はベッド上腹臥位（肘関節伸展 0°，前腕回内位）とし、測定部位は先行研究に準じて、上腕骨（肩峰～上腕骨外側上顆）の上位 50・60・70% の位置で横断像を撮像した¹³⁾¹⁴⁾。上腕三頭筋の筋厚測定は、皮下脂肪組織と筋線維の境界から、筋組織と骨組織の境界までの長さを測定した。

7. 統計処理

統計学的処理には SPSS statistics 24.0（SPSS Japan 社製）を用いた。各部位における筋厚の変化を反復測定における二元配置分散分析（条件 [CON 条件 vs HP 条件 vs US 条件] × 測定時期 [介入前 vs 介入後]）を用いて、事後検定として各群のレジスタンストレーニング介入前後の比較を対応のある t 検定を用いて検討した。なお、有意水準は 5% とし、結果は全て平均 ± 標準誤差で示した。

結 果

全ての条件における介入前後の筋厚の変化を表 1 に示

した。反復測定二限配置分散分析の結果、全ての部位において有意な交互作用が認められた（50%：F = 3.52, P = 0.046, 偏 η^2 = 0.227, 60%：F = 6.16, P < 0.01, 偏 η^2 = 0.339, 70%：F = 7.93, P < 0.01, 偏 η^2 = 0.398）。事後検定の結果、CON 条件では全ての部位においてレジスタンストレーニング介入前後に有意な変化は認められなかった。一方、HP 条件および US 条件において全ての部位においてレジスタンストレーニング介入後に有意な筋厚の増大を認めた。

考 察

本研究では若年健常成人の上腕三頭筋を対象に、低負荷レジスタンストレーニング前に温熱刺激を付加することにより筋肥大効果があるかを明らかにするために、即時的な筋腫脹に着目した。本研究の main finding は、以下の 2 つである。1 つ目は、即時的な筋腫脹が生じないほどの低負荷のレジスタンストレーニングにおいても温熱刺激を付加することで筋腫脹が生じることである。2 つ目は、筋腫脹の効果は表在性温熱と深部温熱に違いがないことである。

in vitro を中心とした先行研究において、温熱刺激を付加することで筋肥大が生じることが報告されてい

る¹⁶⁾。加えて、温熱刺激は機械的刺激による筋肥大効果を促進することも報告されている¹⁷⁾¹⁸⁾。これらの報告より、生体においても温熱刺激を付加した状態でのレジスタンストレーニングを行うことで、通常では低負荷のレジスタンストレーニングでも筋腫脹効果が生じた可能性が考えられる。

本研究では、レジスタンストレーニング介入直後の筋腫脹を測定した。この即時的な筋腫脹は、筋肥大とは異なり、低酸素状態による血流増加、代謝物蓄積で生じる血管透過性亢進による組織間液増加から生じる一過性の浮腫である¹⁹⁾²⁰⁾。しかし、この即時的な筋腫脹は筋肥大に必要な条件であると考えられている²¹⁾²²⁾。そのため、本研究における即時的な筋腫脹が生じた HP 条件および US 条件を継続して行うことで、筋肥大効果があることが期待できる。今後の課題として、HP 条件および US 条件を継続的に介入した際に筋力増強および筋肥大効果があるか否かの検討を行う必要がある。

結 論

低負荷レジスタンストレーニング介入前にホットパックおよび超音波による温熱刺激を付加することで、即時的な筋腫脹が生じることが明らかとなった。

文 献

- 1) Gale CR, Martyn CN, *et al.*: Grip strength, body composition, and mortality. *Int J Epidemiol.* 2007; 36(1): 228-235.
- 2) Yamada M, Nishiguchi S, *et al.*: Prevalence of sarcopenia in community-dwelling Japanese older adults. *J Am Med Dir Assoc.* 2013; 14(12): 911-915.
- 3) Landi F, Liperoti R, *et al.*: Sarcopenia as a risk factor for falls in elderly individuals: results from the iSIRENTE study. *Clin Nutr.* 2012; 31(5): 652-658.
- 4) American College of Sports M: American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009; 41(3): 687-708.
- 5) Wernbom M, Augustsson J, *et al.*: The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med.* 2007; 37(3): 225-264.
- 6) Liu CJ, Latham N: Adverse events reported in progressive resistance strength training trials in older adults: 2 sides of a coin. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010; 91(9): 1471-1473.
- 7) Fleck SJ: Cardiovascular adaptations to resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1988; 20(5 Suppl): S146-S151.
- 8) MacDougall JD, Tuxen D, *et al.*: Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol*

(1985). 1985; 58(3): 785-790.

- 9) Uehara K, Goto K, *et al.*: Heat-stress enhances proliferative potential in rat soleus muscle. *Jpn J Physiol.* 2004; 54(3): 263-271.
- 10) Kobayashi T, Goto K, *et al.*: Possible role of calcineurin in heating-related increase of rat muscle mass. *Biochem Biophys Res Commun.* 2005; 331(4): 1301-1309.
- 11) Ohno Y, Yamada S, *et al.*: Effects of heat stress on muscle mass and the expression levels of heat shock proteins and lysosomal cathepsin L in soleus muscle of young and aged mice. *Mol Cell Biochem.* 2012; 369(1-2): 45-53.
- 12) Kawakami Y, Abe T, *et al.*: Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 72(1-2): 37-43.
- 13) Akagi R, Tanaka J, *et al.*: Muscle hardness of the triceps brachii before and after a resistance exercise session: a shear wave ultrasound elastography study. *Acta Radiol.* 2015; 56(12): 1487-1493.
- 14) Akagi R, Shikiba T, *et al.*: A Six-Week Resistance Training Program Does Not Change Shear Modulus of the Triceps Brachii. *J Appl Biomech.* 2016; 32(4): 373-378.
- 15) Draper DO, Harris ST, *et al.*: Hot-Pack and 1-MHz Ultrasound Treatments Have an Additive Effect on Muscle Temperature Increase. *J Athl Train.* 1998; 33(1): 21-24.
- 16) Goto K, Kojima A, *et al.*: Heat Stress as a Countermeasure for Prevention of Muscle Atrophy in Microgravity Environment. *宇宙航空環境医学.* 2005; 42(2): 51-59.
- 17) Yamashita-Goto K, Ohira Y, *et al.*: Heat stress facilitates stretch-induced hypertrophy of cultured muscle cells. *J Gravit Physiol.* 2002; 9(1): P145-P146.
- 18) Goto K, Okuyama R, *et al.*: Effects of heat stress and mechanical stretch on protein expression in cultured skeletal muscle cells. *Pflugers Arch.* 2003; 447(2): 247-253.
- 19) Brancaccio P, Limongelli FM, *et al.*: Changes in skeletal muscle architecture following a cycloergometer test to exhaustion in athletes. *J Sci Med Sport.* 2008; 11(6): 538-541.
- 20) Loenneke JP, Fahs CA, *et al.*: The acute muscle swelling effects of blood flow restriction. *Acta Physiol Hung.* 2012; 99(4): 400-410.
- 21) Schoenfeld BJ: The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(10): 2857-2872.
- 22) Schoenfeld BJ: Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. *Sports Med.* 2013; 43(3): 179-194.

発表実績

学会発表

Nakamura M, Yoshida T, Kiyono R, Sato S, Takahashi N. Acute effect of low-load resistance training combined with thermal stimulation on muscle swelling. 23rd annual Congress of the European College of Sport Science. 2018.07.04-07.