

重部の冷感刺激による筋活動への影響について

長須 達也¹⁾・清水 匠太¹⁾・郡 佳子¹⁾・佐藤 良太¹⁾

田中 康博¹⁾・田辺 健一郎¹⁾・甲斐 範光¹⁾

1) 帝京短期大学 ライフケア学科

【抄録】

【はじめに】運動不足である現代において、運動は重要なものであるが体力や体調に合わせ負荷や強度など自分で調節する必要があり、特に高齢者においては運動強度が重要である。有害事象のリスクを考えると、低強度トレーニングの実施が推奨されるが、大きな運動単位が動員されないためより効果的であるとされる速筋線維のトレーニングとならない。そこで本研究では、物理療法としても使用される冷刺激を荷重部に付加することが、筋活動へ与える影響について検討することとした。

【方法】成人健常者（3人の男性 :33-40歳）に対して、手掌部に重錘を乗せ、10秒間の肘関節90°肢位での等尺性収縮運動を実施した。5種類の重錘を用意し、各条件において冷刺激なし条件（NSC）と手掌部への冷刺激条件（SC）を設定し収縮運動を実施した。筋電図電極を上腕二頭筋、腕橈骨筋に貼付し、表面筋電図（EMG）を測定した。二重平均平方根（rmsEMG）、平均周波数（MPF）を分析した。また、最大随意収縮から%MVCを算出して分析した。

【結果】上腕二頭筋の%MVCについては、NSC条件と比較してSC条件において増加傾向を認めた。1.0kgの重錘では、SC条件での有意な増加を認めた。腕橈骨筋においては、有意な変化を認めず、肢位による影響が考えられた。平均周波数については、上腕二頭筋、腕橈骨筋においてSC条件にて有意ではないが増加傾向を認めた。

【考察】これらの結果は、荷重負荷部への冷刺激が肘関節屈曲筋に変調を生じさせた可能性が示唆される。主動筋自体の冷刺激でなく、荷重部への冷刺激によって筋活動へ影響を生じさせた可能性が考えられた。

【キーワード】冷感刺激, EMG, 等尺性収縮運動, 肘関節屈曲筋

緒言

現代の日本社会は、多くの人々が運動不足という課題を抱え、厚生労働省が実施した「令和5年国民健康・栄養調査」によると、運動習慣のある人の割合は特に女性や高齢者において低い水準に留まっており、30歳代、20歳代においても低値である¹⁾と報告されている。このような状況下では、筋力トレーニングが今や全ての人々の健康寿命を延ばすための鍵として、その重要性が増しているといえる。筋肉が成長するには、常に「今より少しだけ強い」負荷をかける必要がある。同じ重さや回数を続けているだけでは、体は慣れてしまい成長が止まるため、トレーニングにおいては少しずつ回数を増やしたり、より負荷の高い運動に挑戦したりすることが重要

である²⁾。また一方では、筋力トレーニングは長期的な健康効果を示すが、やり過ぎによってかえって心血管疾患やがん、死亡に対する健康効果が得られなくなってしまう可能性も示唆されている³⁾。どの年代においても、オーバーワークやトレーニング中のケガはリスクであり、体力や体調に合わせ負荷や強度など自分で調節する個別性の原則²⁾は、トレーニングの実施において重要である。特に高齢者においては、呼吸循環器系に潜在的に問題を生じさせる可能性があり⁴⁾、運動強度については考慮が必要である。高齢者における筋力低下については、筋的要因と神経的要因が考えられており、神経的要因による割合が高く、速筋線維が有意に萎縮すると報告されている⁵⁾。萎縮要因である神経的要因の改善は、運動に参加する追加的な運動単位

(Motor units) の動員, 発火の増加による⁶⁾。そのため高齢者のトレーニングについては, 速筋タイプの動員, 負荷及び強度は強すぎず弱すぎず, 「ややきつい」をできるだけ維持することが重要であるといえる。速筋線維に対する萎縮抑制性トレーニングの重要性が指摘⁷⁾されているが, 低強度の運動は, 運動関連の有害事象の発生リスクを下げるが, 高強度運動と比べて大きな運動単位が動員されないため, 速筋トレーニングとならない⁸⁾。

一方で温冷刺激は, 血流量などの身体的効果や, 心地よいなどの心理的效果に影響を及ぼすことが報告されており⁹⁾, 物理療法として広く用いられる。刺激は, 運動中に知覚する身体感覚は筋や関節だけでなく皮膚感覚も含むことから, 運動感覚と呼ばれ¹⁰⁾, 自己の姿勢や四肢の運動, その方向を判断でき, 物を持ち上げるときその重量を推定できるのは主に筋運動感覚の働きによるものである¹¹⁾。皮膚感覚入力については, α -運動ニューロンの興奮性を変調させることが分かっており, Sugawara et al.¹²⁾ は外側広筋上の皮膚冷刺激により, 低負荷の運動中に表面筋電図で同一負荷の運動に対する筋活動が増加すると報告している。筋への負荷を一定として, 寒冷刺激を上腕二頭筋筋腹に実施し皮膚温を 20°C まで冷却した報告¹³⁾ では, 刺激後の筋電図積分値 (integrated electro myography: 以下 IEMG) の変化率の上昇が非常に強かったとしている。

先行研究においては, 活動する筋に対して冷刺激を付加することで筋力増大効果を認め, 冷刺激を付加した低負荷筋力トレーニングの有効性を報告⁷⁾している。運動に主動的に関与する筋への冷刺激であり, 冷感覚と筋活動についての影響を報告したものは少ない。本研究では, 荷重物を接触させる部位への冷刺激を行い, 運動の主動となる筋活動へ与える影響について検討することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

下肢に整形外科的疾患および疼痛や外傷などの既往がない健常成人 3 名 (男性 3 名) を対象とした。[年齢は 33-40 歳 (平均 36±2.9) 身長は 1.69±2.9m, 体重は 70.7±7.4 であった。]

2. 方法

(1) 実験手順

肘関節屈曲の等尺性運動に対して, 手掌部に重錘を乗せて実施した。手掌部に冷刺激を付加する (skin cooling : SC) 群と, 冷刺激を付加しない (non skin cooling : NSC) 群を分けて測定を実施した。実験室の室温は, 約 25°C に設定して行った。

- 1) 肘関節屈曲の最大随意等尺性筋力 (maximum voluntary contraction : MVC) を 2~3 秒で 2 回実施した。
- 2) SC 群における冷刺激は, 電流で簡易に刺激を行うことができる, 半導体熱電クーラーペルチェタプレート (TEC1-12706, 最大電圧 12V, 22.7 g) を使用し, 手掌部にのせて安定電圧器を使用して電圧をかけて冷刺激を付加した。ペルチェタプレートは, 本研究で設定した 10 秒間の測定の間平均 12.9°C まで低下する。
- 3) 重錘による荷重は, 0.25g・0.5g・0.75g・1.0 kg・1.25 kg の 5 種類として, 風袋を用い視覚的影響が生じないように実施し, 重さの変化は無作為とした。

(2) 計測機器・測定

本被験筋は, 右上腕二頭筋 (biceps brachii), 右腕橈骨筋 (brachioradialis) として, 肘関節屈曲の等尺性収縮を 10 秒間測定した。被験者の実験姿勢は椅座位とし, 右肘を上肢台に乗せ尺骨近位下部にパッドをあてることで前腕部の接触面を一定とした。前腕は回外位にして, 肘関節 90° として行った。表面筋電図の測定は, 皮膚処理を十分 (皮膚抵抗 5 Ω 以下) に行った上で, 筋電図ディスプレイ電極 (M ビットロード日本光電社製) を貼付した。電極位置は先行研究¹⁴⁾ を参考に, 上腕二頭筋は肩峰と橈骨粗面を結んだ中央の筋腹とし, 腕橈骨筋については, 上腕二頭筋腱と上腕骨外側上顆とを結んだ線分の中点を計測し, 筋走行に沿って電極間の距離を約 2 cm とした。筋電図は, 生体増幅装置 (RMP-6008M, 日本光電社製) を使用し, 筋電図の信号は, A-D 変換機 (Power Lab4: AD 社製 Instruments) を用いて, 1kHz のサンプリング周波数で波形記録・解析ソフト (Lab Chart7: AD 社製 Instruments) にて記録し, 後日解析した。データ解析は, 測定した全波形を全波整流後, 2 乗平均平方根 (root

mean square EMG : rmsEMG), 平均パワー周波数 (mean power frequency :MPF) を選んだ。2 回実施した MVC の平均値データをベースラインとして, %MVC を算出し, また 3 回の平均値を採用して, 本研究における正規化を図った。

(3) 統計方法

測定で得られた値は全て平均値 ± 標準偏差 (Mean ± 標準偏差) で表し, 統計処理には EZR を用いた。筋活動量の比較は, 正規性の検定を行った後, 二元配置分散分析で検定した。また, 風袋のみの荷重と 1.25 kg において, rmsEMG の差を求めて t- 検定を行った。有意水準は 5% 未満とした。

3. 倫理的配慮

対象者には本研究の趣旨と内容, 個人情報の漏洩への注意などを十分に説明した。また, 研究の参加には自由意志であり, 研究同意の撤回がいつでも可能なことを説明し, 書面にて同意を得てから開始した。なお, 本実験は帝京短期大学倫理委員会の承認を得て実施した。

Ⅲ. 結果

1) 肘関節屈曲筋の %MVC の変化について

NSC 条件, SC 条件における上腕二頭筋活動の比較を Figure 1 に示す。上腕二頭筋においては, 0.25 kg 負荷にて NSC 条件 10.8 ± 2.7% であり, SC 条件 17.6 ± 4.7% であった。0.5kg 負荷では, NSC 条件 14.8 ± 3.67%, SC 条件 19.7 ± 4.3%, 0.7kg 負荷で NSC 条件 18.3 ± 3.8%, SC 条件 24.2 ± 5.4%, 1.0kg 負荷にて NSC 条件 18.6 ± 3.6%, SC 条件 25.4 ± 5.1%, 1.2kg 負荷で NSC 条件 21.2 ± 4.3%, SC 条件 26.8 ± 3.7% の結果となった。NSC と SC 条件による %MVC について, 二元配置分散分析の結果, SC 条件において上昇傾向を示し, 1.0kg 負荷にて有意な差を認めた。(p < 0.05)

腕橈骨筋については, 重錘負荷の増加, SC 付加に対して有意な変化を認めなかった。

2) 平均パワー周波数 (MPF) について

上腕二頭筋の MPF について, Figure 2 に示す。上腕二頭筋について NSC 条件と比較して, SC 条件での活動量の増加を認めるも有意な増加は認めなかった (p < 0.05)。腕橈骨筋においては,

NSC 条件と比較して有意ではないが, SC 条件に増加傾向を認めた。

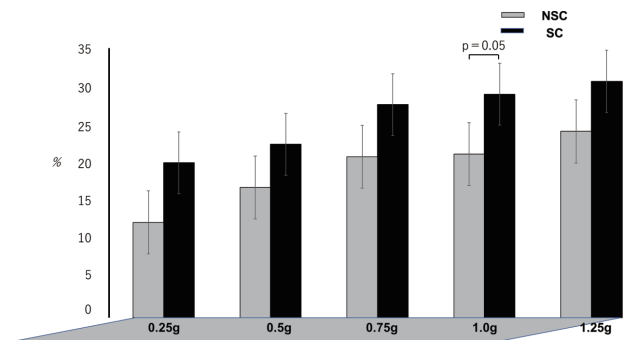


Figure 1. 冷刺激なし条件 (NSC) と冷刺激条件 (SC) における上腕二頭筋 %MVC 比較

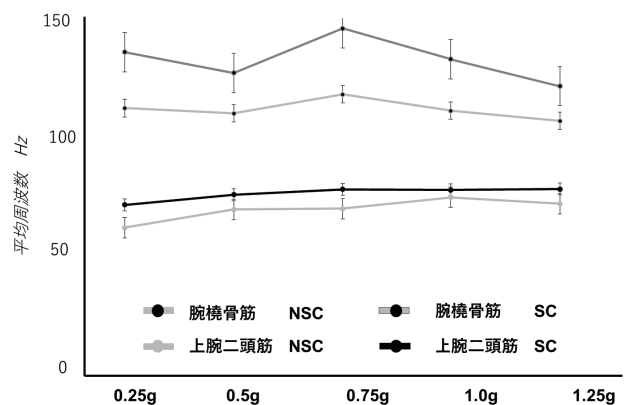


Figure 2. 上腕二頭筋, 腕橈骨筋における NSC 条件・SC 条件による平均周波数 (MPF) の比較

3) NSC と SC の差についての比較

本実験にて最も重い 1.25g と風袋のみの荷重時上腕二頭筋 rmsEMG について, 差を比較した。NSC 条件 0.26 ± 0.24mv, SC 条件 0.4 ± 0.25mv であった。SC 条件において, 増加を認めるも有意差は認めなかった。

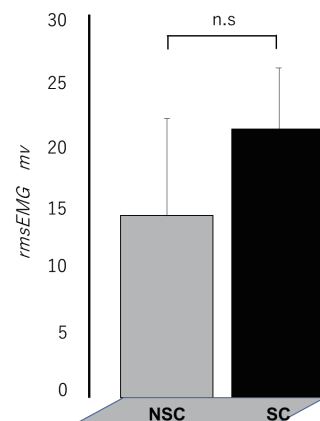


Figure 3. 上腕二頭筋 rmsEMG (重錘 1.25 kg - 風袋のみの差異を求めた) についての NSC 条件・SC 条件比較

IV. 考察

上腕二頭筋の等尺性収縮運動に対して、筋電図測定を行い、手掌部に冷感刺激付与した群において、筋活動増加傾向が認められた。腕橈骨筋においては、増加は認めるが数値の変動がみられ、前腕回外位とした肢位による影響が考えられる。小林ら¹³⁾は、冷刺激において刺激後の変化率の上昇率が強く、筋への負荷が一定であるのに温冷刺激を加えたことでIEMGが変化することは、Motor unitsの動員と発射速度の変化が一定の負荷の等尺性収縮の中で起こっていると、筋紡錘の動的感受性の高まりによる同一負荷での筋放電量の増加を報告している。本研究においても、荷重部への冷刺激により、IEMGの増加傾向を認めた。また、皮膚冷受容器は α -運動神経細胞と結合し、運動単位の活動パターンに影響を与えるとされ¹⁶⁾、運動単位の動員様式を変調させるには体性感覚刺激が有効である¹⁷⁾と報告される。低強度運動中における作業筋上への皮膚例刺激は、速筋線維の動員を促すことが報告され¹²⁾、促通効果は冷受容体の活性化による感覚刺激で生じるとされる。結果において、NSC群に比べ、SC群において%MVCが増加していることは、重錘以外の要因が関与していると考えられる。

筋運動感覚の知覚は、いくつかの要因により歪みが生じるとされ、最も代表的なものは筋運動感覚残効といわれるものである¹⁸⁾。筋運動感覚残効とは、「以前の知覚経験と現在の知覚経験の結果として生じる対象の形、大きさ、あるいは重さなどの知覚変容、あるいは四肢の位置や運動、または筋収縮の強度における知覚的歪み」と定義¹⁸⁾され、温度感覚は、錯覚を起こしやすいことでも知られ、重さの感覚は温度の影響を受け、冷たいほうが重く感じされるとされている¹⁹⁾。

Johann P et al.²⁰⁾は、物体を冷却するとその知覚が増し、つかみ上げ動作中の指先の力の調節に影響を及ぼすと報告している。また、視覚的外見に基づく重量予測は、重さの感覚に影響を及ぼすとの報告²¹⁾があるが、本研究においては、風袋を用いることで視覚情報を除いた。荷重部位への冷感覚の刺激は、筋運動感覚への残効を生じさせ、活動電位に変調をきたす要因となった可能性が考えられた。

負荷部の冷刺激によって活動電位に影響を生じさせることは、低強度トレーニングへの効果増強や患部を保護している固定期間中の運動療法に利用できる可能性がある。しかしながら、本研究の結果では冷刺激においての1.0kgの重錘以外では筋活動の有意な増加は認めなかった。要因の一つに、サンプルサイズが考えられ、今後は被験者を増やして実施する予定である。また、冷感覚の刺激について約12.9℃まで低下する冷刺激としたが、明確な温度設定での刺激としておらず本研究の限界であり、今後の課題である。

【謝辞】

稿を終えるにあたり、実験に協力いただきました皆様に深謝いたしますとともに、適切なご助言ご指導をくださいました東邦大学名誉教授室増男先生に心より深謝申し上げます。

なお、本論文に関して開示すべき利益相反関連事項はない。

【文献】

- 1) 厚生労働省 令和5年「国民健康・栄養調査」
https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_45540.html
(閲覧 2025-11-1)
- 2) 厚生労働省 健康づくりのための身体活動・運動ガイド 2023
<https://www.mhlw.go.jp/content/001194020.pdf>
(閲覧 2025-11-1)
- 3) Haruki Momma, Ryoko Kawakami et al (2022): Muscle-strengthening activities are associated with lower risk and mortality in major non-communicable diseases: A systematic review and meta-analysis of cohort studies; *British Journal of Sports Medicine*: Jul; 56(13): pp 755-763.
- 4) 下瀬良太 (2017) 皮膚冷刺激を用いた高齢者に対するトレーニング戦略, *Health and Behavior Sciences* 15(2), pp 49-53
- 5) Bret H Goodpaster et al. (2006) The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61: pp 1059-1064
- 6) Kirkendall DT, Garrett WE Jr. (1998) The effects of aging and training on skeletal muscle. *Am J Sports Med* 26: pp 598-602

- 7) 菅原仁ら (2020) 高齢女性の下腿三頭筋における皮膚冷刺激付加の短期的低強度トレーニングの効果 *Health and Behavior Sciences* 18 (2), pp 53-57
- 8) Widrick JJ, Stelzer JE, et al. (2002) Functional properties of human muscle fibers after short term resistance exercise training. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 283: pp 408-416
- 9) 佐藤克成, 水口さやか (2017) 足首への局所的な温度刺激による血流促進と運動支援, 計測自動制御学会論文集, 53 (3), pp.244-250
- 10) Clark, F. J., & Horch, K. W. (1986) Kinesthesia. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. Handbook of perception and human performance: Sensory processes and perception (p. 13/1 – 13/62). New York: Wiley
- 11) 中島昭美 (1981) 運動感覚. 新版心理学辞典, 平凡社 : pp. 48-49.
- 12) Sugawara H, Shimose R, Tadano C, Muro M. (2012) Skin cold stimulation of the dermatome modulates activation of the quadriceps. *J Phys Ther Sci* 24: pp 169-174
- 13) 永田晟 : 筋と筋力の科学—筋収縮のスペクトル解析— 不味堂出版 1984
- 14) 筋電図のための解剖ガイド四肢・体幹 西村書店 : pp 32-33,66-67
- 15) 小林茂、西本勝夫ら (1989) 温冷刺激による筋活動の変化—筋電図積分値における分析— 理学療法学 第16巻第1号 pp 23-28
- 16) Clendenin.M.A & Szumski.A.J. (1971) Influence of cutaneous ice application on single motor units in humans. *Physical Therapy*, 51 (2), pp 166-175
- 17) Yona M (1997) Effects of cold stimulation of human skin on motor unit activity. *Jpn J Physiol* 47 (4): pp 341-348
- 18) 工藤孝幾 (1989) 外界の視覚的認知. 麓信義ほか著 運動行動の心理学. 高文堂出版社: 東京, pp. 130-135.
- 19) 岩村吉晃 タッチ<神経心理学コレクション>. 医学書院 : pp.21-22
- 20) Johann P. Kuhts-Buschbeck et al. (2020) Cold and heavy: grasping the temperature–weight illusion. *Experimental Brain Research* 238: pp 1107-1117
- 21) Gavin Buckingham et al. (2016) Perceiving and acting upon weight illusions in the absence of somatosensory information. *J Neurophysiol* 115:

Effects of Cold Stimulation on Muscle Activity in the Weight-Bearing Region

Tatsuya NAGASU¹⁾ • Shota SHIMIZU¹⁾ • Yoshiko KOORI¹⁾ • Ryota SATO¹⁾
Yasuhiro TANAKA¹⁾ • Kenichiro TANABE¹⁾ • Norimitsu KAI¹⁾

1) Department of Life Care, Teikyo Junior College.

【abstract】

【Purpose】 In modern society, where physical inactivity is becoming increasingly prevalent, it is necessary for individuals to adjust exercise load and intensity according to their physical fitness and condition. In particular, exercise intensity plays a critical role for older adults. Considering the risk of adverse events, low-intensity training is generally recommended; however, such exercise does not sufficiently recruit large motor units and therefore fails to effectively train fast-twitch muscle fibers.

【Methods】 Three healthy adult male participants (aged 33–40 years) were enrolled in this study. A weight was placed on the palmar surface of the hand, and participants performed an isometric elbow flexion task at 90° of elbow flexion for 10 s. Five different weights were used. For each load condition, the task was performed under two conditions: a no cold stimulation condition (NSC) and a cold stimulation condition applied to the palm (SC). Surface electromyography (EMG) electrodes were placed over the biceps brachii and brachioradialis muscles. The root mean square of the EMG signal (rmsEMG) and mean power frequency (MPF) were analyzed. In addition, muscle activity was normalized to maximal voluntary contraction (%MVC), which was calculated from the maximal voluntary contraction and used for further analysis.

【Results】 The %MVC of the biceps brachii demonstrated a tendency to increase under the SC condition compared with the NSC condition. At a load of 1 kg, a statistically significant increase in %MVC was observed under the SC condition. In contrast, no significant changes were observed in the brachioradialis, which may be attributable to the influence of limb position. With respect to mean frequency, both the biceps brachii and brachioradialis exhibited a non-significant trend toward higher values under the SC condition.

【Discussion/Conclusion】 These results suggest that cold stimulation applied to the weight-bearing region may induce modulation in the elbow flexor muscles. It is also possible that cold stimulation applied not directly to the agonist muscles but to the weight-bearing region can influence muscle activity.

【Key words】 cold-stimulation, rmsEMG, biceps brachii,