

低負荷強度での等尺性収縮運動における筋力発揮率に及ぼす皮膚冷刺激の影響

The effects of skin cooling on the rate of force development during low intensity isometric contraction

内藤 祐子*, 與那正栄*, 下瀬良太**, 只野千茅***
菅原 仁****, 関博之****, 松本高明*

Yuko NAITO*, Masae YONA*, Ryota SHIMOSE**, Chigaya TADANO***
Hitoshi SUGAWARA****, Hiroyuki SEKI**** and Takaaki MATSUMOTO*

高齢者の転倒しないための姿勢保持には単に最大筋力を高めるだけでなく、瞬間的に筋力を発揮する能力を培うことが重要である。例えば、瞬時に姿勢バランスを保持するためには200ms以内の瞬間的な筋力発揮が必要となる。この短時間で筋力を発揮する指標として筋力発揮率 (rate of force development: RFD) がある。RFDは最大等尺性筋力までの立ち上がりの速さを示す指標であり、最大等尺性筋力を発生までに要した時間で除して求める¹⁾。この概念を適用した、筋力発揮のきわめて初期段階のRFD (earlyRFD) は神経性ドライブ、筋線維組成比、筋肉断面積、弾性要素で規定されるが、特に神経系因子の影響が大きい¹⁾。高齢者の転倒には加齢と共に低下する最大筋力よりむしろRFDの顕著な減少が影響している。しかし、高齢者でもトレーニングを継続することでRFDを維持できることが知られている。この際のトレーニングの負荷にはある程度の高強度が要求され、低強度のトレーニングはRFDを改善しないとの報告もある。しかし、高齢者に強い運動を実施させることは血圧上昇を招く危険性があることからリスクは高い。したがって、安全

性に重きを置くならば低強度でも速筋運動単位を動員させることのできるトレーニング方法の導入が望ましい。

運動中の活動筋へ皮膚冷刺激を加えることで、筋活動は増加することが知られている。これは皮膚冷受容器からの求心性神経と脊髄介在ニューロンを介した α -MNsの多シナプス性神経結合による変調が影響すると推測されている²⁾。Shimose et al.³⁾ は大腿四頭筋に皮膚冷刺激を加えて等尺性膝伸展筋力発揮時のRFDを測定している。皮膚冷刺激を加えることで最大発揮筋力は変わらなかったが、RFDは高値を示した。特に、筋力発揮開始時点から50msまでの短時間において冷刺激によるRFDの変化は顕著であった。同時に測定した筋活動も変化することから冷刺激は神経性ドライブを高め、RFDを増加させたと考えられる。日々のトレーニング実施時の強度は30-40%である。この強度においてもRFDの増加が起こりうるのかを上腕二頭筋の等尺性収縮運動で検証したので報告する。

健康な成人7名 (男性5名、女性2名) を対象

* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 健康科学大学 (Health Science University)

*** 東邦大学医学部 (Medical school, Toho University)

**** 東京工科大学 (Department of Physical Technology, Tokyo University of Technology)

***** 新潟経営大学 (Niigata University of Management)

とした。被験者属性は年齢 21.3 ± 1.0 歳、身長 173.0 ± 11.6 cm、体重 64.3 ± 15.2 kgであった。被験者は全員右利きであった。被験者にはあらかじめ本実験の目的や安全性について十分な説明を行い、実験参加の同意を得た。

実験では被験者は座位姿勢を取り、体幹部を垂直に立て、前腕部をベルトで測定台に固定した。前腕部と体幹部の角度は垂直とし、肘関節角度は 110 度とした。はじめに、被験者は試行間に 90 秒間の休息をとりながら、 2 秒間の最大肘屈曲力発揮を 2 試行実施した。 2 試行中の最大値を最大随意収縮 (maximal voluntary contraction ; MVC) とした。その後、十分な休息を挟んで 40% MVC の力で等尺性収縮運動を 3 秒間行った。皮膚冷刺激は主働作筋である上腕二頭筋上に冷たいパッドを置く事で与え、皮膚温が約 $25 \sim 26$ 度になったのを確認して試行させた。同一被験者に対し、同試行を冷却無しで実施したものをコントロールとした。なお、各試行はランダムに実施した。等尺性収縮時のデータは筋力と主働作筋である上腕二頭筋の表面筋電図を記録した。筋力は張力計から得られた筋力データを 1 kHz のサンプリング周波数で波形記録・解析ソフト (LabChart7 ; ADInstruments) にて記録した。表面筋電図は上腕二頭筋の中間位

から双極誘導法にて導出した。筋電図は A-D 変換器 (Power Lab ; ADInstruments) を通して、 1 kHz のサンプリング周波数で波形記録・解析ソフトにて記録した。実験では 3 試行ごとに実施した筋力データおよび筋電図データの平均値を各被験者の値とした。筋力発揮率 (RFD) は 40% MVC に到達するまでの筋力と時間から求めた。さらに、初期 RFD を 40% MVC の半分に到達するまでの筋力と時間から計算した。筋力発揮率 (RFD) ならびに筋電図活動の平均振幅 (root mean square ; rmsEMG) の皮膚冷刺激の影響については対応のある t 検定で検定した。また、RFD と筋活動との関連は Pearson の積率相関係数を算出して検討した。統計解析はエクセル統計を用い、有意水準を 5% とした。

被験者の平均 MVC は 20.7 ± 4.3 kg であった。 40% MVC はコントロールでは 9.69 ± 2.34 kg、皮膚冷刺激では 9.33 ± 2.44 kg であり、筋力の違いに差はなかった。

40% MVC の筋力発揮時の RFD と初期 RFD (half of 40% MVC) の皮膚冷刺激による影響を Fig.1 に示す。いずれもコントロールと比べて皮膚冷刺激を加えることで高値を示した (RFD : $p = 0.027$ 、初期 RFD : $p = 0.011$)。さらに、体重当た

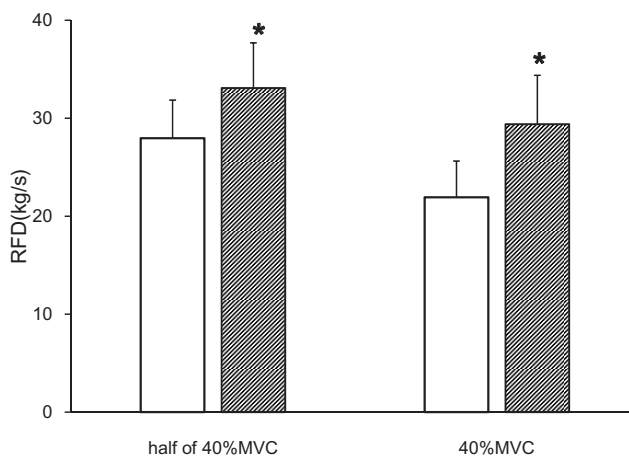


Fig.1. Rate of force development (RFD) at 40% MVC and early RFD at half of 40% MVC with skin cooling (SC) or without (CON). Values are presented as mean and standard error. Open bars represent CON and hatched bars represent SC. * : $p = 0.027$ vs Con at RFD, and $p = 0.011$ vs Con at half of 40% MVC.

りのRFDを計算すると、40%MVCの筋力発揮時(RFD)と初期RFDともに皮膚冷刺激群で増加した(RFD/BW : $p=0.018$ 、初期RFD/BW : $p=0.004$)。Fig.2に示したように40%MVC発揮ならびにhalf of 40%MVC発揮時の上腕二頭筋の筋活動(rmsEMG)も皮膚冷刺激を加えることで増加したが、共に統計学的には有意な差は認められなかった(40%MVC : $p=0.147$ 、half of 40%MVC : $p=0.063$)。

次に皮膚冷刺激の影響によるRFDの増加率と筋活動の増加率との関連について検討した。その

結果、初期RFDと筋活動に関して正の相関が認められた($Y=0.651x+0.412$ 、 $R=0.645$ 、 $p=0.117$) (Fig.3A)。同様に、RFDと上腕二頭筋の筋活動の関連においても、正の相関が認められた($Y=0.422x+0.581$ 、 $R=0.607$ 、 $p=0.148$) (Fig.3B)。被験者数が少ないためいずれも統計学的に有意にまでは至らなかったが、関連性は認められたと考える。言い換えるならば、皮膚冷刺激による筋活動の増加は活動参加閾値の高い運動単位を動員したためと推察される。

この研究から高齢者のトレーニングに適した低

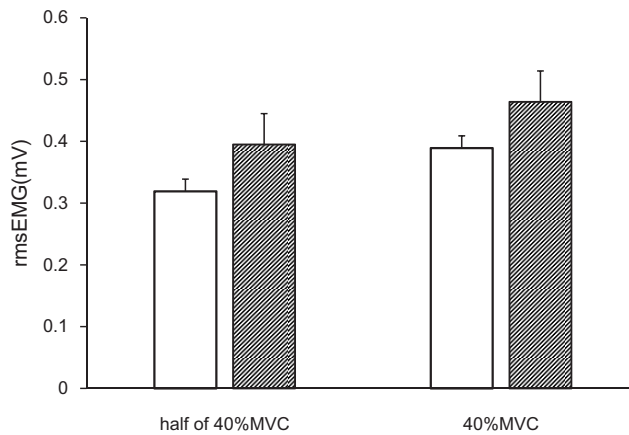


Fig.2. The root mean square of electromyography (rmsEMG) of biceps brachii with skin cooling (SC) or without (CON). Values are presented as mean and standard error. Open bars represent CON and hatched bars represent SC. $p=0.147$ vs CON at 40%MVC, and $p=0.063$ vs CON at half of 40%MVC.

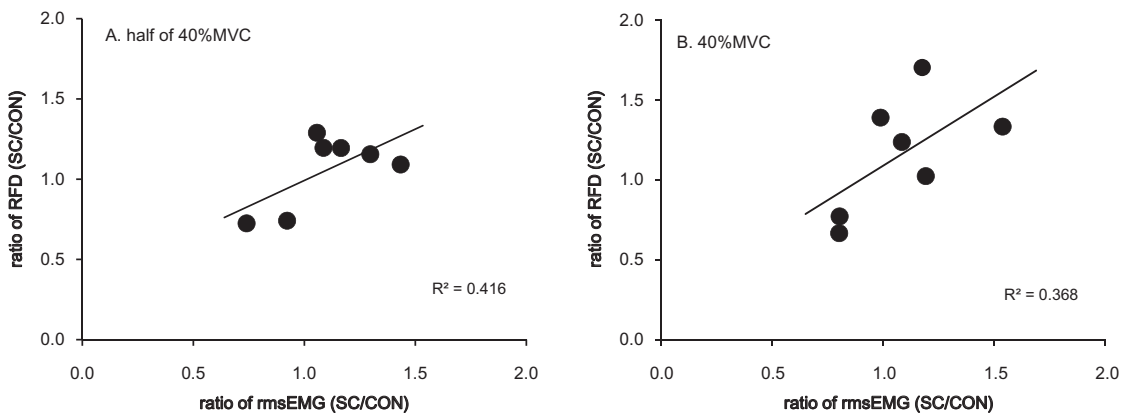


Fig.3. The relationship between ratio of skin cooling (SC) or without it (CON) in rmsEMG of biceps brachii and RFD at half of 40%MVC (A) or at 40%MVC (B).

強度においても皮膚冷刺激を加えることでRFDに影響を及ぼすことが証明された。これより、低負荷トレーニングでも適切な冷覚刺激を加えることで、瞬時に力を発揮できる能力を改善することができて、転倒などのロコモティブシンドロームの予防に役立つものと考えられる。

本研究は平成29年度国士舘大学体育学部附属体育研究所助成により実施された。

参考文献

- 1) 下瀬良太：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 : 49-53, 2017
- 2) 菅原 仁, 只野千茅, Graham Macddonald, 浅見聡, 下瀬良太, 室 増男：皮膚冷刺激を不可した低負荷筋力トレーニングによる神経・筋の適応. 体力科学, 62 : 141-149, 2013
- 3) Simose R, Ushigome N, Tadano C, et al. Increase in rate of force development with skin cooling during isometric knee extension. J. Electromyography and Kinesiology 24 : 895-901, 2014