下腿三頭筋に対するクールダウンとして実施されている2種類の運動が脊髄興奮性に与える影響

Effect on Spinal Cord Excitability of Two Exercises for Cool-down of the Triceps Surae

橋本 広徳¹⁾ 鈴木 哲¹⁾ 石川 衛²⁾ 荻田 哲也²⁾ 松浦 晃宏²⁾

HIRONORI HASHIMOTO, RPT¹⁾, TETSU SUZUKI, RPT¹⁾, MAMORU ISHIKAWA, RPT²⁾, TETSUYA KARITA, RPT²⁾, AKIHIRO MATSUURA, RPT²⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Shimane Rehabilitation College: 1625-1 Minari, Okuizumo-cho, Nita-gun, Shimane 699-1511, Japan TEL +81 854-54-0001 E-mail: hashimoto@shima-reha.jp

²⁾ Daisen Rehabilitation Hospital

Rigakuryoho Kagaku 32(4): 483-486, 2017. Submitted Jan. 23, 2017. Accepted Mar. 11, 2017.

ABSTRACT: [Purpose] To investigate the effects on spinal cord excitability, as measured by evoked electromyography H waves, of a continuous stretching exercise and a repeated dynamic exercise. [Subjects and Methods] The lower limbs of 14 healthy adults with no history of neurological disorders were investigated. The H wave of the soleus muscle was measured using evoked electromyography under three conditions: at rest, continuous stretching, and repeated dynamic exercise. [Results] After continuous stretching, no significant difference was found from at rest; however, a significant decrease in H wave amplitude was found after repeated dynamic exercise. Also, after the repeated dynamic exercise, the percentage change in H wave amplitude was significantly lower than that after continuous stretching. [Conclusion] The results showed that spinal cord excitability under the repeated dynamic exercise was significantly lower than that under the continuous stretching exercise.

Key words: cool-down, evoked electromyography, spinal cord excitability

要旨:〔目的〕誘発筋電図によるH波を脊髄興奮性の指標とし、持続的伸張運動と動的反復運動が脊髄興奮性に与える影響を検討すること。〔対象と方法〕対象は、下肢に神経障害の既往がない健康成人男性14名とした。誘発筋電図を用い、安静時、持続的伸張運動を行う条件と動的反復運動を行う条件の3条件で、ヒラメ筋のH波を測定した。〔結果〕持続的伸張運動条件において安静時、運動後間で有意な差は認められなかった。動的反復運動条件は安静時に対し、運動後に有意な低下が認められた。動的反復運動条件における運動後のH波の振幅変化率は、持続的伸張運動条件に比べ、有意に低かった。〔結語〕本研究の動的反復運動条件では持続的伸張運動条件より有意に脊髄興奮性が低下することが示された。

キーワード: クールダウン, 誘発筋電図, 脊髄興奮性

¹⁾ 島根リハビリテーション学院 理学療法学科: 島根県仁多郡奥出雲町三成1625-1 (〒699-1511) TEL 0854-54-0001

²⁾ 大山リハビリテーション病院

I. はじめに

スポーツの現場において、筋に関与する障害は多く、その予防は選手にとってもチームにとっても重要な課題である。筋は、激しい運動を行うことで緊張が充進し、この状態が続くことで様々な障害を引き起こすことが報告されている^{1,2)}。そのため、スポーツの現場では、運動後に筋の緊張を低下させることをその目的の一つとし、各筋に対して、軽運動や筋の伸張、マッサージなどを使用し、様々なクールダウンが実施されている。

下腿三頭筋は、スポーツ分野において競技パフォーマンスに影響を与えるだけでなく、障害が多い筋の一つであり^{3,4)}、運動後のクールダウンが特に重要であるといえる。一般的に現場では、下腿三頭筋に対するクールダウンとして、立位で持続的に伸張運動（以下、持続的伸張運動）を実施している場面や、動的に反復運動（以下、動的反復運動）を実施している場面を目にする。

立位での下腿三頭筋に対する持続的伸張運動は、Ib抑制により、筋緊張状態の指標となる脊髄前角細胞の興奮性（以下、脊髄興奮性）を下げることからクールダウンに適していると考えられている^{5,6)}。立位での下腿三頭筋に対する動的反復運動は、随意的に下腿を前方傾斜させることから前脛骨筋が活動するため⁷⁾、相反神経抑制⁸⁾の生理的反応を介し、脊髄興奮性を下げることが推測されている。一方で、角速度 5° /秒以上では伸張反射を誘発する⁹⁾ことから、筋緊張状態の指標となる脊髄興奮性を上げてしまう可能性もある。下腿三頭筋に対する動的反復運動に関する報告は、運動方法に対しての注意に関するものや¹⁰⁾、持続的伸張運動と動的反復運動実施後の柔軟性の比較に関するもの¹¹⁾はあるが、スポーツ現場で頻繁に実施されている下腿三頭筋に対する持続的伸張運動と動的反復運動が筋緊張に与える影響を調べたものは見当たらない。これらのことが明確になれば、スポーツ現場で運動療法実施する際の有用な基礎的根拠とすることができる。

筋緊張状態の指標となる脊髄興奮性の変化は、誘発筋電図を使用し、H波を指標とした研究が多い¹²⁻¹⁴⁾。H波は、太い有髄筋感覚神経であるIa線維を電気刺激して起こる単シナプス反射であり、H波の振幅変化は脊髄興奮性を反映している¹⁵⁾。そこで、本研究では、誘発筋電図によるH波を脊髄興奮性の指標とし、下腿三頭筋に対する持続的伸張運動と動的反復運動が脊髄興奮性に与える影響を検討することで、運動療法における基礎的根拠を得ることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、下肢に神経障害の既往がない健常成人男性

14名（年齢 20.9 ± 1.3 歳、身長 174.4 ± 6.9 cm、体重 63.4 ± 6.9 kg）とした。H波の測定は左下肢14肢に行い、被検筋はヒラメ筋とした。本研究は、すべての対象者に対し事前に口頭と文章で研究の趣旨と内容、得られたデータは研究の目的以外に使用しないこと、個人情報の漏洩に注意すること、また研究への参加は自由意志であることを説明し、同意を得たうえで実施した。なお、本研究は島根リハビリテーション学院の倫理審査委員会の承認を得たうえで実施した（承認番号：26）。

2. 方法

全ての対象者に対して、安静時、持続的伸張運動を行う条件（以下、持続的伸張運動条件）と動的反復運動を行う条件（以下、動的反復運動条件）の3条件でH波を測定した。安静時のH波測定は実験室の環境に順応させ、生体反応を安定させるために10分間の馴化時間を設定した。測定肢位は腹臥位とし、膝関節軽度屈曲位、足関節は軽度底屈位でヒラメ筋が伸張しないように配慮した。安静時、持続的伸張運動条件、動的反復運動条件すべて同肢位で測定した。持続的伸張運動条件および動的反復運動条件では、それぞれの運動を15秒間実施し、その直後のH波を測定した。

持続的伸張運動条件および動的反復運動条件の開始肢位は、測定側の脚を後方に引き、踵を床に着けて足関節背屈 20° とし、膝を伸展位とした。足関節の背屈角度は対象者側方に鏡と角度 20° に設定したスタンドを設置し、運動開始肢位の指標とした（図1）。持続的伸張運動条件は開始肢位と同肢位で持続的伸張運動を実施した。動

図1 持続的伸張運動条件および動的反復運動条件の開始肢位

的反复運動は開始肢位から膝完全伸展位で保持した状態で足関節最大底屈位をとり、自重にて1 Hzで伸張を加えた。動的反复運動の重心移動は基本前後とし、側方に接地した鏡とスタンドで重心移動と足関節角度を確認させながら実施した。持続的伸張条件と動的反复運動条件の測定順番は対象者によって無作為に実施し、運動による疲労の影響など¹⁶⁾を考慮して、1日以上の間隔をあけて実施した。

H波の測定には誘発筋電図装置（日本光電社製）を用いて記録を行った。刺激電極は左膝窩部に設置し、脛骨神経に対して経皮的な電気刺激を行った。導出電極には表面電極を用い、関電極は脛骨結節と足関節内果の中間の高さで、脛骨のすぐ内側のヒラメ筋上に貼付した。不関電極はアキレス腱の内側に貼付した。アースは刺激電極と関電極の中間点に貼付した。刺激頻度は1 Hz、刺激持続時間は1 msecの矩形波とし、5回の刺激で得られた陰性波形頂点から次の陽性波形頂点までの電位差を平均加算し処理した。なお、測定中は誘発波形の変動をなくすため¹⁷⁾、視覚情報遮断のため閉眼とし、室内温度を24℃前後に維持した。

統計処理は、SPSS（Ver. 21）を使用した。持続的伸張運動条件と動的反复運動条件ごとに、安静時と運動実施後の間におけるH波振幅の差を、対応のあるt検定を用い検討した。また、各条件で安静時のH波振幅を基準とした運動後の振幅変化率を算出した。そして、持続的伸張運動条件と動的反复運動条件間で、安静時のH波振幅を基準とした運動後の振幅変化率の差を、対応のあるt検定を使用し検討した。それぞれ有意水準は5%とした。

III. 結 果

持続的伸張運動条件および動的反复運動条件における安静時と運動後のH波（mV）の平均値と標準偏差を表1に示す。

持続的伸張運動条件においてH波（mV）振幅は安静時、運動後の各群間で有意な差は認められなかった。動的反复運動条件において運動後のH波（mV）振幅は、安静時に比べ有意に低かった。

持続的伸張運動条件と動的反复運動条件におけるH波の振幅変化率を表2に示す。動的反复運動条件におけ

る運動後のH波の振幅変化率は、持続的伸張運動条件と比べ、有意に低かった。

IV. 考 察

本研究では、スポーツ現場における下腿三頭筋に対するクールダウンで使用される持続的伸張運動と動的反复運動が脊髄興奮性に与える影響を、誘発筋電図によるH波を指標とし、検討した。

持続的伸張運動条件において、安静時、運動後の2群間に有意な差は認められなかった。このことから、持続的伸張運動は15秒間の施行時間では、脊髄興奮性に影響を与えない可能性が示唆された。先行研究¹⁸⁾において、10分間の持続伸張を週5回、6週間実施することで、H波・M波は介入前に比べ有意に減少することが報告されている。また持続伸張を10秒間実施することで柔軟性が向上したとの報告¹⁹⁾はあるが、本実験条件の15秒という伸張時間ではH波の低下を生じさせるための時間、頻度、期間が十分ではなかった可能性がある。また、H波振幅は持続的伸張中に大きく減少するが、直後には96%まで回復がみられるとの報告²⁰⁾もあり、持続的伸張運動直後に測定を行った本研究でも同様の結果となった可能性があると考えた。

動的反复運動条件において、実施後のH波は、安静時に比べ、有意な低下を示した。このことから、15秒間の動的反复運動の実施は、安静時より脊髄興奮性を低下させる可能性が示唆された。先行研究²¹⁾において、健康人では随意的足関節背屈時において拮抗筋支配のH波振幅は背屈筋の筋活動の増加により減少し、脊髄レベルでの相反抑制機序が起こると報告されている。本研究においても、動的反复運動条件では足関節背屈筋群の筋活動が生じ、ヒラメ筋の相反抑制が生じたため、H波を著しく低下させたと考えた。また足底部への荷重刺激がヒラメ筋のH反射を減少させるという報告²²⁾がある一方、足関節や膝関節の荷重の軽減はヒラメ筋H反射を増大させるとの報告²³⁾もあり、本研究においても動的反复運動条件の足底部への荷重刺激がH波の低下の原因に関与したのではないかと考えた。動的反复運動は過度の筋収縮により拮抗筋に対して伸張反射を誘発する可能性があり、運動方法に精通が必要¹⁰⁾とあるが、本研究の運動条件であれば、活動筋からの相反抑制が伸張反

表1 持続的伸張運動条件および動的反复運動条件における安静時、運動後のH波の比較

	安静時	運動後
持続的伸張運動（mV）	1.39 ± 0.41	1.28 ± 0.44
動的反复運動（mV）	1.64 ± 0.56	1.05 ± 0.38*

* : $p < 0.05$.

表2 持続的伸張運動条件と動的反复運動条件間におけるH波の振幅変化率の比較

	持続的伸張運動	動的反复運動
変化率（%）	86.0 ± 31.9	69.2 ± 24.5*

* : $p < 0.05$.

射より有意に働きかける可能性があることが考えられた。

動的反復運動条件における運動実施後の振幅変化率は、持続的伸張運動条件の振幅変化率に比べ低かった。先行研究^{5,6)}では、持続的伸張は脊髄興奮性を低下させることから、クールダウンの目的で用いられている。しかし本研究における動的反復運動条件では、持続的伸張条件に比べ脊髄興奮性を低下させる可能性が考えられ、短時間でのクールダウンの実用性が示唆された。

クールダウンは、他動運動あるいは自動運動によって実施される場合があり、脊髄興奮性は運動様式により、脊髄反射と上位運動中枢の双方の影響を受けることが考えられる。このことから、今後は運動方法、肢位、頻度などのより詳細な調査が必要であると考えた。

引用文献

- 夏山元伸：下腿・足のスポーツ外傷・障害に対する診療。日本医師会雑誌，2003，130：433-436.
- 小島 敦，後藤勝正，吉岡利忠：筋疲労のメカニズム。整形・災害外科，2005，48：389-399.
- 内田淳正：標準整形外科。医学書院，東京，2012，pp834-846.
- 栗山節郎：新・ストレッチングの実際。南江堂，東京，2002，pp18-19.
- 太田 勲，乾 公美：ストレッチングの生理学。理学療法，1990，7：321-326.
- Pearce AJ, Kidgell DJ, Zois J, et al.: Effects of secondary warm up following stretching. *Eur J Appl Physiol*, 2009, 105: 175-183.
- 石井慎一郎：動作分析—臨床活用講座—バイオメカニクスに基づく臨床推論の実際。メジカルビュー社，東京，2016，pp132-133.
- 田中励作：運動の制御機構—相反性神経支配をめぐる—。生体の科学，1997，28：30-36.
- Gajdosik RL, Vander Linden DW, Williams AK: Influence of age on concentric isokinetic torque and passive extensibility variables of the calf muscles of women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1996, 74: 279-286.
- 鈴木重行：ストレッチの科学。三輪書店，東京，2013，pp2-9.
- O'Sullivan K, Murray E, Sainsbury D: The effect of warm-up, static stretching and dynamic stretching on hamstring flexibility in previously injured subjects. *BMC Musculoskelet Disord*, 2009, 10: 37.
- Robichaud JA, Agostinucci J, Vander Linden DW: Effect of air-splint application on soleus muscle motoneuron reflex excitability in nondisabled subjects and subjects with cerebrovascular accidents. *Phys Ther*, 1992, 72: 176-183.
- Agostinucci J, Holmberg A, Mushen M, et al.: The effects of circumferential air-splint pressure on flexor carpi radialis H-reflex in subjects without neurological deficits. *Percept Mot Skills*, 2006, 103: 565-579.
- Agostinucci J: Inhibitory effects of circumferential pressure on flexor carpi radialis H-reflex in adults with neurological deficits. *Percept Mot Skills*, 2010, 110: 89-103.
- Hoffrén M, Ishikawa M, Komi PV: Age-related neuromuscular function during drop jumps. *J Appl Physiol* 1985, 2007, 103: 1276-1283.
- Casabona A, Polizzi MC, Perciavalle V: Differences in H-reflex between athletes trained for explosive contractions and non-trained subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1990, 61: 26-32.
- 千野直一：臨床筋電図・電気診断学入門。医学書院，東京，2005，pp24-28.
- Guissard N, Duchateau J: Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve*, 2004, 29: 248-255.
- Borms J, Van Roy P, Santens JP, et al.: Optimal duration of static stretching exercises for improvement of coxo-femoral flexibility. *J Sports Sci*, 1987, 5: 39-47.
- 緒方陽一郎，大城昌平，尾崎勝博・他：随意的足関節背屈時におけるヒラメ筋H反射の変化。運動生理，1994，9：27-32.
- 吉崎邦夫：下腿三頭筋の他動的ストレッチによる脊髄興奮準位への影響について。日本生理人類学会誌，2006，11：27-30.
- Abbruzzese M, Rubino V, Schieppati M: Task-dependent effects evoked by foot muscle afferents on leg muscle activity in humans. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1996, 101: 339-348.
- Nakazawa K, Miyoshi T, Sekiguchi H, et al.: Effects of loading and unloading of lower limb joints on the soleus H-reflex in standing humans. *Clin Neurophysiol*, 2004, 115: 1296-1304.