

遅発性筋痛が生じている骨格筋に対する即時的な筋痛緩和介入方法

—静的ストレッチング・フォームローラー・振動フォームローラーに着目した簡潔な
レビュー—

Acute methods of reducing soreness on eccentrically damaged muscle

—A brief review that focused on static stretching, foam roller, and vibration foam
roller—

刑部 純平

愛知みずほ大学人間科学部

Jumpei OSAKABE

Faculty of Human Sciences, Aichi Mizuho College

要旨

アスリートにとって、質の高いトレーニングや練習を実施することは極めて重要である。しかし、試合や練習のスケジュールの都合など状況によっては、遅発性筋痛が生じた状態でトレーニングや練習に取り組まなければならない、トレーニングや練習の質を維持することが困難な場合がある。そのため、トレーニングや練習の直前に遅発性筋痛を即時的に緩和する方策が必要である。そこで、本研究ではスポーツ競技現場におけるウォーミングアップの一環として実施されている「静的ストレッチング」、「フォームローラー」、「振動フォームローラー」による即時的な DOMS 緩和効果について検討した研究をまとめ、スポーツ競技現場での実践を目指すとともに今後の研究課題について整理した。

キーワード: 遅発性筋痛; ストレッチング; フォームローラー; 振動フォームローラー; ウォーミングアップ

Key Word: delayed onset muscle soreness; stretching; foam rolling; vibration foam rolling; warm-up

1. はじめに

骨格筋の収縮様式は、筋が長さを変えずに力を発揮する等尺性収縮(アイソメトリック収縮)、筋が縮みながら力を発揮する短縮性収縮(コンセントリック収縮)、筋が伸ばされながらブレーキをかけるように力を発揮する伸張性収縮(エキセントリック収縮)の3種類に分類される。スポーツ活動や筋力トレーニング時には、これらの筋活動(骨格筋の収縮)が繰り返し行われ骨格筋に損傷が生じ(Cleak et al. 1992, Takarada. 2003), 運動誘発性筋損傷(EIMD: Exercise induced muscle damage)と呼ばれる。なお、エキセントリック収縮は、コ

ンセントリック収縮と比較してより大きな EIMD を引き起こすことが報告されている(Lavender et al. 2006).EIMD によって、筋力の低下、関節可動域の低下、筋周径の増加、遅発性筋痛(DOMS: Delayed onset muscle soreness)などの症状が生じることが報告されている(Lavender et al. 2006).これらの症状は、エキセントリック運動 12~48 時間後に生じ、24~72 時間後にピークを迎え、5~7 日間程度で徐々に消失する(Douglas et al. 2017).DOMS が生じた状態での運動は、障害のリスクの増大(Cheung et al. 2003),運動パフォーマンスの低下(Burt et al. 2011, Twist et al. 2009),

運動学習効果の低下を引き起こす可能性が指摘されている(Leite et al. 2019).したがって,EIMDによる身体への悪影響,特に DOMS を緩和することを目的としたリカバリー介入は,アスリートにとって日常的な練習やトレーニングを安全かつ効果的に実施するうえで極めて重要である.

このような背景から,運動後に実施するリカバリー介入と DOMS 緩和効果について検討した研究が数多く報告されている.Duppy et al.(2018)によるメタアナリシスによると,運動後に実施するストレッチング介入は翌日以降の DOMS の緩和に有効でないが,運動後に実施するマッサージ(セラピストによるマッサージ介入を含む)は,翌日以降の DOMS の緩和に有効である可能性が示唆されている.特に,近年では実用的なセルフマッサージツールとして,フォームローラーや振動フォームローラーが開発され,運動後に実施することで翌日以降の DOMS を緩和する可能性が指摘されている.Wiewelhove et al.(2019)によるメタアナリシスでは,運動後の骨格筋に対してフォームローラーを実施することで翌日以降の DOMS が緩和することが明らかとなった.また,Lu et al. (2019)によるメタアナリシスでは,運動後の骨格筋に対して振動介入(振動フォームローラーを用いていない研究を含む)を実施することで翌日以降の DOMS が緩和することが明らかとなった.このように,運動後に実施するフォームローラーや振動フォームローラーは,翌日以降に生じる DOMS の程度を緩和する効果が期待できる.しかし,上記のリカバリー介入によって DOMS が完全に消失するわけではなく,翌日以降の練習やトレーニング実施時に DOMS が残存している場合もある.したがって,練習やトレーニング実施前のウォーミングアップの一環として DOMS を即時的に緩和することも重要である.

そこで,本研究ではスポーツ競技現場におけるウォーミングアップの一環として実施されている「静的ストレッチング」、「フォームローラー」、「振動フォームローラー」による即時的な DOMS 緩和効果について検討した研究をまとめ,スポーツ競技現場での実践を目指すとともに今後の研究課題について整理することを目的とした.

II. 静的ストレッチングと筋痛に関する研究

静的ストレッチングは,即時的および長期的な関節可動域の向上に有効な手法であり(Mizuno et al. 2013, Thomas et al. 2018),スポーツ競技現場において最も普及しているウォーミングアップ方法の1つである(Takeuchi et al. 2018).一方で,Herbert et al.(2011)によるシステマティックレビューによって,エキセン

トリック運動を実施した場合,翌日以降に生じる DOMS を緩和する効果がわずかしかなことが明らかとなっている.

他方,既に DOMS が生じている骨格筋に対して静的ストレッチングを実施することによって,筋痛が即時的に緩和する可能性が示唆されている.Matsuo et al.(2014)は,エキセン

トリック運動によって DOMS が生じた膝関節屈曲筋群を対象に300秒間の静的ストレッチングを実施した.なお,静的ストレッチングは,エキセン

トリック運動を実施した2日,および4日後に実施した.その結果,DOMS の症状が最も強い2日後に静的ストレッチングを実施した場合,静的ストレッチング実施直後から筋痛(膝関節屈曲筋群伸展時の痛み)が緩和し,筋痛緩和効果は60分間維持された.また,4日後に静的ストレッチングを実施した場合においても,静的ストレッチング実施直後に筋痛が緩和した.また,鈴木ほか(2019)は,エキセン

トリック運動によって DOMS が生じた膝関節伸展筋群を対象に360秒間(60秒間×6セット)の静的ストレッチング,もしくはホールドリラックスストレッチングを実施した.なお,両ストレッチングは,Matsuo et al.(2014)の研究と同様にエキセン

トリック運動を実施した2日,および4日後に実施した.その結果,両ストレッチング法ともに2日後,および4日後の筋痛が即時的に緩和した.一方,2日後においては,ホールドリラックスストレッチングのほうが静的ストレッチングよりも筋痛緩和効果が大きい可能性が示唆された.なお,ホールドリラックスストレッチングは PNF(Proprioceptive Neuromuscular Facilitating)ストレッチングの手技の1つであり,対象となる筋を伸張位に保持したまま等尺性筋収縮を行い,その後,筋を伸張位で保持するストレッチング方法である(Voss et al. 1985).そのため,スポーツ競技現場における実用性は,静的ストレッチングのほうがホールドリラックスストレッチングよりも高いと考えられる.

III. フォームローラーと筋痛に関する研究

フォームローラーは,静的ストレッチングと同様に即時的および長期的な関節可動域向上効果が認められており,静的ストレッチングと同等の関節可動域向上効果が期待できる(Wilke et al. 2020, Konrad et al.2022b).そのため,静的ストレッチングと同様にスポーツ競技現場において広く普及しているウォーミングアップ方法の1つである.

近年の研究によって,エキセン

トリック運動後にフォームローラー介入を実施することで,翌日以降の DOMS を緩和することが報告されている(Naderi et al. 2020).また,既に DOMS が生じている骨格筋に対してフォームローラーを実施することによって,筋痛が即

時的に緩和する可能性が示唆されている。Romero-Moraleda et al.(2017)は、100回のドロップジャンプ運動(膝関節伸展筋群のエキセントリック運動)によって DOMS が生じた膝関節伸展筋群を対象に 300 秒間(60 秒間×5 セット)のフォームローラー介入を実施した。なお、フォームローラーは、ドロップジャンプ運動を実施した 2 日後に実施した。その結果、フォームローラー実施前と比較して実施後に筋痛が有意に低下した。また、Nakamura et al.(2020)は、エキセントリック運動によって DOMS が生じた膝関節伸展筋群を対象に 90 秒間のフォームローラーを実施した。なお、これまでに紹介した研究と同様、フォームローラーはエキセントリック運動を実施した 2 日後に実施した。その結果、フォームローラー実施前と比較して実施後に筋痛が有意に低下した。90 秒間という比較的短時間のフォームローラー介入によって DOMS が即時的に低下する可能性があることは、スポーツ競技現場において魅力的な知見である。

IV. 振動フォームローラーと筋痛に関する研究

振動フォームローラーは、フォームローラーと同様に即時的な関節可動域向上効果が認められている(加治木ほか,2022, Kasahara et al. 2022a)。近年のメタアナリシスによって、健康な成人やアスリートを対象とし場合、関節可動域向上効果はフォームローラーよりも振動フォームローラーのほうが大きいことが報告されている(Park et al.2021)。したがって、静的ストレッチングやフォームローラーと同様にスポーツ競技現場において、今後広く普及していく可能性があるウォーミングアップ方法の 1 つである。

Romero-Moraleda et al.(2019)は、100 回のエキセントリックスクワット運動(膝関節伸展筋群のエキセントリック運動)によって DOMS が生じた膝関節伸展筋群を対象に 300 秒間(60 秒間×5 セット)の振動フォームローラー介入、もしくはフォームローラー介入を実施した。なお、どちらの介入もエキセントリックスクワット運動を実施した 2 日後に実施した。その結果、どちらの介入によっても DOMS は即時的に緩和した一方で、振動フォームローラーを実施したほうがより大きな DOMS 緩和効果が得られる可能性が示唆された。Nakamura et al.(2022)は、エキセントリック運動によって DOMS が生じた膝関節伸展筋群を対象に 90 秒間の振動フォームローラーを実施した。なお、振動フォームローラー介入はエキセントリック運動を実施した 2 日後に実施した。その結果、振動フォームローラー実施前と比較して実施後に筋痛が有意に低下した。また、この研究では振動フォームローラーを転がすことなく、膝関節伸展筋群に当て続けただけで上記の結果が得ら

れた(Nakamura et al.2022a)。他方、Kasahara et al.(2022b)は、振動フォームローラー実施時の周波数の違い(35Hz および 67Hz)が即時的な DOMS 緩和効果に及ぼす影響を比較検討した。その結果、振動フォームローラー実施時の周波数が異なっても、期待できる即時的な DOMS 緩和効果は同等である可能性が示唆された。また、近年、振動フォームローラーに関する興味深い研究成果が報告されている。Nakamura et al.(2022b)は、利き脚の膝関節伸展筋群を対象にエキセントリック運動を実施した。48 時間後にエキセントリック運動を実施していない対側の脚を対象に 90 秒間(30 秒間×3 セット)の振動フォームローラー介入を実施した。その結果、振動フォームローラーを実施していない利き足の DOMS が即時的に緩和した。詳細なメカニズムは不明であるものの、示唆に富む興味深い現象である。

V. 現場での実践と研究課題

アスリートにとって、トレーニングや練習の質を担保することは極めて重要である。一方、試合や練習、トレーニングのスケジュールの都合など、状況によっては DOMS が生じた状態でトレーニングや練習に取り組まなければならない場面がある。しかし、筋痛は発揮筋力の低下と関連している可能性が指摘されているため(Konrad et al.2022a)、1 回あたりの筋力トレーニングの質が低下してしまう可能性がある。また、より大きな可動域で筋力トレーニングを実施したほうが、小さな可動域でトレーニングをするよりも得られるトレーニング効果が大きくなる可能性がある(Bloomquist et al. 2013)。つまり、筋力トレーニングや練習の前に、即時的な関節可動域向上、および筋痛の緩和効果が期待できるアプローチが重要である。

静的ストレッチングは特別なツールを必要とせずに実施可能であり、即時的な関節可動域の改善が期待できるため、スポーツ競技現場において最も実用性の高いウォーミングアップ手法の 1 つである。しかし、ストレッチングを実施する時間が長くなるほど、その後の筋力発揮やジャンプ高などパフォーマンス発揮能力が低下する可能性が示唆されている(Behm et al. 2011)。したがって、スポーツ活動前のウォーミングアップとして静的ストレッチングを積極的に実施することは推奨されない。一方、Matsuo et al.(2014)、および鈴木ほか(2019)の研究は、すでに DOMS が生じている筋を対象とした場合、筋力の低下を引き起こさずに関節可動域の向上と筋痛を緩和する可能性を示しており、スポーツ競技現場やフィットネス現場において有益な知見であると考えられる。しかし、これらの研究では、ストレッチング介入時間が 5 分～6 分間程度であり、スポーツ競

技現場やフィットネス現場では比較的長時間のストレッチング介入であると考えられる。スポーツ競技現場で最も実施されているストレッチング時間は約 10 秒～60 秒間程度であり(Takeuchi et al. 2018),20 秒間の短時間静的ストレッチングにおいても関節可動域向上効果が認められている(Sato et al. 2020)。したがって、今後の研究において、すでに DOMS が生じている筋肉を対象とした場合、即時的な筋痛緩和効果が期待できる最短の静的ストレッチング時間について検証する必要がある。

先述の通り、静的ストレッチングを長時間実施した場合、発揮筋力が低下する可能性が示唆されている。一方、ウォーミングアップとしてフォームローラーを実施した場合、その後の発揮筋力を低下させずに関節可動域が向上する可能性が示唆されている(Konrad et al. 2021)。また、Romero-Moraleda et al.(2017)と Nakamura ほか(2021)の研究によって、すでに DOMS が生じている筋を対象にフォームローラーを実施することで、エキセントリック運動によって低下した筋力が即時的に回復する可能性が示唆されている。さらに、フォームローラーを使用した場合、90 秒間という比較的短時間の介入時間で即時的な関節可動域向上、および筋痛の緩和効果を期待できる (Nakamura et al. 2021)。このように、関節可動域と発揮筋力の観点から、フォームローラーはスポーツ競技現場において実用的かつ効果的なウォーミングアップ手法の 1 つであるとえられる。一方で、DOMS が生じている筋を対象にフォームローラーを実施する時間の長さによって、DOMS を緩和する効果の大きさが変化するかどうかは不明である。また、静的ストレッチングと同じ介入時間の場合、得られる関節可動域向上、および筋痛の緩和効果がどの程度異なるのかどうかについても今後の研究において直接比較検討する必要がある。

振動フォームローラーにおいてもフォームローラーと同様、90 秒間という比較的短時間の介入時間で即時的な関節可動域向上、および筋痛の緩和効果が期待できる(Nakamura et al.2022a)。また、振動フォームローラーとフォームローラーを直接比較した場合、振動フォームローラーを実施するとフォームローラーよりも即時的に DOMS を緩和する効果が大きい可能性が示唆されている(Romero-Moraleda et al. 2019)。しかし、Romero-Moraleda et al.(2019)の研究では、合計 300 秒間(60 秒間×5 セット)の介入時間で比較している。したがって、90 秒間の介入を直接比較した場合においても振動フォームローラーのほうがフォームローラーよりも大きな DOMS 緩和効果が期待できるかどうか検討する必要がある。なお、フォームローラーや振動フォームローラーは、ツールを必要とするアプローチ手法

であるため、これらのツールが手元にない場合は、静的ストレッチングで代替することを検討に入れる必要がある。

本論文では、アスリートが「静的ストレッチング」、「フォームローラー」、「振動フォームローラー」をスポーツ競技現場において効果的に実践することを目的としている。しかし、本論文で紹介した先行研究のほとんどは、一般健康成人を対象とした成果である。そのため、一般人とは異なる体力要素(骨格筋量、筋力など)を有しているアスリートを対象とした場合においても、これまでの先行研究と同様の結果が得られるかどうか今後の研究の進展に注目したい。

これまでの研究の成果をまとめると、①静的ストレッチング、フォームローラー、振動フォームローラーのいずれの方法によっても即時的に DOMS を緩和することが期待できる、②ウォーミングアップの時間が限られている場合、静的ストレッチングよりもフォームローラー、振動フォームローラーを優先して実施した方が良い、③フォームローラーや振動フォームローラーで実施困難な場合は、静的ストレッチングを実施することを検討することがあげられる。いずれにしても、トレーニングや練習の直前に即時的に DOMS を緩和する必要がある場合は、静的ストレッチングやフォームローラー、および振動フォームローラーの特徴を理解し、状況に応じて適切に使い分けていくことが重要である。

付記

本論文では、ストレッチング(stretching)、フォームローラー(foam roller)、振動フォームローラー(vibration foam roller)として表記を統一した。なお、学術論文では、ストレッチ(stretch)、フォームローリング(foam rolling)、振動機能付きフォームローラーもしくは振動フォームローリング(vibration foam rolling)として表記される場合がある。

引用文献

- Behm, D. G., Chaouachi, A (2011) A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*, 111(11):2633-51.
- Bloomquist, K., Langberg, H., Karlsen, S., et al. (2013) Effect of range of motion in heavy load squatting on muscle and tendon adaptations. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8):2133-42.
- Burt, D. G., Twist, C (2011) The effects of exercise-induced muscle damage on cycling time-trial

- performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(8):2185-2192.
- Cheung, K., Hume, P., Maxwell, L (2003) Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Medicine*, 33(2):145-164.
- Cleak, M. J., Eston, R. G (1992) Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 26(4):267-72.
- Douglas, J., Pearson, S., Ross, A., et al. (2017) Chronic Adaptations to Eccentric Training: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 47(5):917-941.
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., et al. (2018) An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Frontiers in Physiology*, 26(9):403.
- Herbert, R. D., de Noronha, M., Kamper, S. J (2011) Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. A Cochrane Review is a systematic review, 6:(7):CD004577.
- 加治木政伸, 箱崎太誠, 刑部純平(2021)足関節底屈筋群へのフォームローリング実施時の振動の有無が関節可動域と筋の硬さに及ぼす影響. *日本アスレティックトレーニング学会誌*, 7(2):227-234.
- Kasahara, K., Konrad, A., Yoshida, R., et al. (2022a) Comparison of the Prolonged Effects of Foam Rolling and Vibration Foam Rolling Interventions on Passive Properties of Knee Extensors. *Journal of Sports Science and Medicine*, 1:21(4):580-585.
- Kasahara, K., Yoshida, R., Yahata, K., et al. (2022b) Comparison of the Acute Effects of Foam Rolling with High and Low Vibration Frequencies on Eccentrically Damaged Muscle. *Journal of Sports Science and Medicine*, 15:21(1):112-119.
- Konrad, A., Kasahara, K., Yoshida, R., et al. (2022a) Relationship between Eccentric-Exercise-Induced Loss in Muscle Function to Muscle Soreness and Tissue Hardness. *Healthcare (Basel)*, 4:10(1):96.
- Konrad, A., Nakamura, M., Tilp, M., et al. (2022b) Foam Rolling Training Effects on Range of Motion: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 52(10):2523-2535.
- Lavender, A. P., Nosaka, K (2006) Responses of old men to repeated bouts of eccentric exercise of the elbow flexors in comparison with young men. *European Journal of Applied Physiology*, 97(5):619-626.
- Leite, C. M. F., Profeta, V. L. D. S., Chaves, S. F. N., et al (2019) Does exercise-induced muscle damage impair subsequent motor skill learning? *Human Movement Science*, 67:102504.
- Lu, X., Wang, Y., Lu, J., et al. (2019) Does vibration benefit delayed-onset muscle soreness?: a meta-analysis and systematic review. *Journal of international medical research*, 47(1):3-18.
- Matsuo, S., Suzuki, S., Iwata, M., et al. (2015) Changes in force and stiffness after static stretching of eccentrically-damaged hamstrings. *European Journal of Applied Physiology*, 115: 981-991.
- Mizuno, T., Matsumoto, M., Umemura Y (2013) Viscoelasticity of the muscle-tendon unit is returned more rapidly than range of motion after stretching. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 23(1):23-30.
- Naderi, A., Rezvani, M. H., Degens, H (2020) Foam Rolling and Muscle and Joint Proprioception After Exercise-Induced Muscle Damage. *Journal of Athletic Training*, 55(1):58-64
- Nakamura, M., Yasaka, K., Kiyono, R., et al. (2020) The Acute Effect of Foam Rolling on Eccentrically-Induced Muscle Damage. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 24:18(1):75.
- Nakamura, M., Kasahara, K., Yoshida, R., et al. (2022a) The Effect of Static Compression via Vibration Foam Rolling on Eccentrically Damaged Muscle. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5:19(3):1823.
- Nakamura, M., Kasahara, K., Yoshida, R., et al (2022) Cross-education effect of vibration foam rolling on eccentrically damaged muscles. *Journal of Musculoskeletal Neuronal Interactions*, 1:22(3):369-374.
- Park, S. J., Lee, S. I., Jeong, H. J., et al. (2021) Effect of vibration foam rolling on the range of motion in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 23:17(4):226-233.
- Romero-Moraleda, B., La Touche, R., Lerma-Lara, S., et al. (2017) Neurodynamic mobilization and foam rolling improved delayed-onset muscle

- soreness in a healthy adult population: a randomized controlled clinical trial. *PeerJ*, 13(5):3908.
- Romero-Moraleda, B., González-García, J., Cuéllar-Rayó, Á., et al. (2019) Effects of Vibration and Non-Vibration Foam Rolling on Recovery after Exercise with Induced Muscle Damage. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11:18(1):172-180.
- Sato, S., Kiyono, R., Takahashi, N., et al. (2020) The acute and prolonged effects of 20-s static stretching on muscle strength and shear elastic modulus. *PLoS One*, 6:15(2):0228583.
- 鈴木大地, 中村雅俊, 大箭周平他(2019)遅発性筋痛を生じた筋に対するストレッチング介入の効果: スタティックストレッチングとホールドリリースストレッチングの比較. *体力科学*, 68(2):117-123.
- Takarada, Y (2003) Evaluation of muscle damage after a rugby match with special reference to tackle plays. *British Journal of Sports Medicine*, 37(5):416-419.
- Takeuchi, K., Nakamura, M., Kakihana, H., et al. (2019) A Survey of Static and Dynamic Stretching Protocol, *International Journal of Sport and Health Science*, 17, 72-77.
- Thomas, E., Bianco, A., Paoli, A., et al. (2018) The Relation Between Stretching Typology and Stretching Duration: The Effects on Range of Motion. *International Journal of Sports Medicine*, 39(4):243-254.
- Twist, C., Eston, R. G (2009) The effect of exercise-induced muscle damage on perceived exertion and cycling endurance performance. *European Journal of Applied Physiology*, 105(4):559-567.
- Voss, D. E., Ionta, M. K., Myers, B. J (1985) *Proprioceptive neuromuscular facilitation: Patterns and techniques*, 3rd ed. Lipponcott Williams & Wilkins, Pennsylvania.
- Wiewelhove, T., Döweling, A., Schneider, C., et al. (2019) A Meta-Analysis of the Effects of Foam Rolling on Performance and Recovery. *Frontiers in Physiology*, 24(3):105-122.
- Wilke, J., Müller, A. L., Giesche, F., et al. (2020) Acute Effects of Foam Rolling on Range of Motion in Healthy Adults: A Systematic Review with Multilevel Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(2):387-402.