ヒラメ筋に対するストレッチ効果の筋電図学的解析

EMG Analysis of the Stretching Effect on the Soleus Muscle

中村 浩一^{1,2)} 児玉 隆之³⁾ 向野 義人²⁾ 鈴木 重行⁴⁾ 福良 剛志⁵⁾ 大和 千絵⁵⁾

KOUICHI NAKAMURA^{1,2)}, TAKAYUKI KODAMA³⁾, YOSHITO MUKAINO²⁾,
SHIGEYUKI SUZUKI⁴⁾, TSUYOSHI FUKURA⁵⁾, CHIE YAMATO⁵⁾

要旨：本研究の目的は、ヒラメ筋に対するストレッチ効果を神経生理学的に明らかにすることである。対象は、健康男子学生40名40肢左脚とした。方法は、ストレッチを課す条件（ストレッチ条件）と課さない条件（コントロール条件）から、誘発筋電図を用いてH波とM波の最大振幅から算出された最大振幅比（Hmax/Mmax）により、ヒラメ筋の状態を評価し、条件間およびストレッチ前後で比較検討した。結果は、条件間の最大振幅比に有意差はみられないが、ストレッチ前に比べストレッチ後は、有意に低値を示した。これらの知見から、個別的な筋へのストレッチは従来の先行研究と同様の神経生理学的変化をもたらす可能性が示唆される。

キーワード：ストレッチング, 筋緊張, 抑制

Abstract: This study aimed to clarify the neurophysiological effect of stretching to suppress muscle tone, involving 40 left legs of 40 healthy male students. Evoked electromyography was performed under 2 different conditions (stretch and control) to compare soleus muscle activity between the conditions and between before and after stretching, based on the maximum H- to M-wave amplitude ratio (Hmax/Mmax). While there were no significant differences in Hmax/Mmax values between the 2 conditions, a marked decrease in such values was observed after stretching, suggesting the possibility of such stretching suppressing the excitability of spinal motor neurons.

Key words: stretching, muscle tone, inhibitory

受付日：2014年7月6日，採択日：2014年8月1日

¹⁾ 福岡和白リハビリテーション学院 理学療法学科
福岡県福岡市東区和白丘2丁目1-13（〒811-0213）TEL 092-608-8600
Department of Physical Therapy, Fukuoka Wajiro Rehabilitation College:
2-1-13 Wajirogaoka, Higashiku, Fukuoka-city, Fukuoka 811-0213, Japan.
TEL+8192-608-8600 E-mail: nakamura@fukuokawajiro-reha.jp

²⁾ 福岡大学大学院 スポーツ健康科学研究科
Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University

³⁾ 京都橘大学 健康科学部 理学療法学科
Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Kyoto Tachibana University

⁴⁾ 名古屋大学大学院 医学系研究科
Program in Physical and Occupational Therapy, Graduate School of Health Sciences, Nagoya University

⁵⁾ 福岡和白病院 生理検査科
Department of Clinical Laboratory, Fukuoka Wajiro Hospital

I. はじめに

我が国の人口推計¹⁾において、2007年以降から超高齢社会へ移行するなか、従来の高度先進医療システムでは早晩立ちゆかなくなることが予測される。厚生労働省の「平成24年簡易生命表の概況」²⁾では、たとえ悪性新生物・心疾患・脳血管疾患による早期死亡を根絶し得たとしても、平均寿命を約5-6年程度延ばすことしか寄与しないことが報告されている。これらの報告は、寿命を延ばすことに対する生物学的限界が近づいていることを意味する。つまり、医療の目的は、寿命を延ばすことから、与えられた寿命をいかに良く生きるか、いわば健康寿命に着眼し、「予防医学」を核とする医療システムの構築が求められる。

予防医学的観点から見つめた場合、高齢者からスポーツ競技者および愛好家に至るまで幅広く普及しているものとして、ストレッチングが挙げられる。ストレッチングの目的は、関節可動域（柔軟性）の改善と筋緊張の低下^{3,10)}、血液循環の改善^{3,11,12)}、筋痛の緩和^{3,13,14)}、障害予防・競技パフォーマンスの改善^{2,3,14)}などが共通してあげられる。現在では、Proprioceptive Neuromuscular Facilitation など神経系の反応を応用したストレッチングがスポーツ領域で注目を浴びている。また、姿勢や呼吸法を重視するヨガやピラティスとストレッチングを組み合わせるなど、ストレッチングの種類や目的は多種多様であるが、その一方でストレッチングの方法と効果の関連については、未だ諸説⁴⁻⁹⁾があり、議論の余地が残されている。

従来のストレッチングにおける研究報告⁴⁻¹⁰⁾は、ハムストリングス、大腿四頭筋、下腿三頭筋といった筋線維走行は異なるものの、筋の名称により、ひとつの方向から筋全体に対するストレッチングによってアプローチされたものであり、その中で効果を検証したものである。しかしながら、実際の臨床において、理学療法士は理学療法評価の過程から、患者の治療対象となる筋を特定し、個別的にアプローチすることが多い。そこで我々は個別的に筋を伸張し、その効果を従来のスタティック・ストレッチングと比較検証した結果、関節可動域（柔軟性）の増大および等速性筋出力の低下、また、精神機能に対してはポジティブな見解が示唆された¹⁵⁾。しかし、これはあくまでパフォーマンス上の変化であり、その数値が意味する背景を神経生理学的に検討されていない。

そこで本研究は、個別的に筋を伸張した際に筋緊張へ及ぼす影響について誘発筋電図を用いて検証し、コ

ンディショニング領域における一端を神経生理学的に明らかにす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男子学生40名とした。対象者の年齢、身長および体重は、 20.6 ± 3.2 歳、 172.6 ± 4.8 cm、 64.5 ± 5.4 kg（平均 $\pm$ 標準偏差）であった。測定は左下肢40肢に行い、対象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た。すべての被験者は研究内容を理解した上で承諾書に署名し、研究に参加した。なお、本研究は福岡保健学院研究倫理委員会の承認を得た後に実施した。

2. 方 法

すべての対象者に対して、ヒラメ筋へのストレッチングを課す条件（ストレッチ条件）と、課さない条件（コントロール条件）の2条件において、H波とM波の最大振幅を測定した。なお、前の条件が次の条件での結果に及ぼす影響を考慮して、ストレッチ条件とコントロール条件での実施には1日以上の間隔をあけた。また、測定前に対象者の運動条件を整えるため、エルゴメーター（5 min, 60w）を課した^{16,17)}。

ヒラメ筋のH波とM波の導出には、誘発筋電図(Viking Select, Nicolet 社製)を用いた。測定肢位は、いずれも腹臥位とした。誘発筋電図の刺激電極を膝窩部に設置し、脛骨神経に対して経皮的な電気刺激を行った。脛骨神経に対する刺激は、刺激頻度1 Hz、刺激持続時間1 msecの矩形波とした。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位置で、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。なお、アースを刺激電極と関電極の中間点に貼付した。H波とM波の測定は5分間の安静臥床後に1回、各条件直後に1回測定した。測定は、臨床検査技師2名（経験年数 12.5 ± 2.0 年）が行った。測定に際して、H波は室内温度や皮膚温度による影響を受けやすいため、室内温度を 24°C 前後¹⁶⁾に維持し、下腿中央部の皮膚温度は皮膚温時計(IT-500S, HORIBA 社製)を用いて、 $31^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$ で統一した。本研究では、H波の最大振幅をM

波の最大振幅で規格化を行い¹⁷⁾、H波とM波の最大振幅比を用いて検証を行った。

ストレッチ条件におけるヒラメ筋へのストレッチング方法は、Individual Muscle Stretching³⁾に準じ、腹臥位にて両上肢挙上位、膝関節90°屈曲位から膝関節屈曲を増強しながらの足関節最大背屈とした。なお、ストレッチングを行う際の施行肢に加える外力を、客観的で定量化可能な筋力評価に用いられるハンドヘルドダイナモメーター（日本メディックス製品FET-102）を用い、5 kgfで制御した¹⁵⁾。ストレッチングの施行時間³⁾および回数は、20秒×3セットとし、合計1分間のストレッチングを施行した。ストレッチングを行う者は、我々とは別の理学療法士2名（経験年数10.5±2.0年）が入れ替わり実施した。コントロール条件はストレッチングを施行せず、ストレッチ条件と同様の安静¹⁵⁾をとった前後に測定を行った。

統計分析は、次のように実施した。要因として「ストレッチングの有無（ストレッチ条件、コントロール条件の2水準）および「測定時期（ストレッチング前、ストレッチング後の2水準）」の2要因に対し、H波およびM波の最大振幅比に対して二元配置反復測定分散分析を行い、多重比較にはBonferroni検定を実施した。統計解析ソフトウェアは、SPSS19.0.J for Windows (SPSS, Japan) を使用し有意水準を5%未満とした。

III. 結 果

「ストレッチングの有無」および「測定時期」で、H波およびM波の最大振幅比（Hmax/Mmax）を比較した結果、交互作用が認められた（ $F(1, 116) = 7.14, p < 0.05$ ）。有意な主効果は、「ストレッチングの有無」においては認められなかったが、「測定時期」においては認められた（ $F(1, 116) = 4.62, p < 0.05$ ）。ストレッチングが筋緊張に影響を及ぼす可能性が示された（表1）。そこで「測定時期」について多重比較を行ったところ、コントロール条件は有意差を認めなかったが、ストレッチ条件はストレッチング前に比較し、ストレッチング後で最大振幅比が有意に低かった（ $F(3, 116) = 5.07, p < 0.05$ ）（表1、図1）。

IV. 考 察

本研究は、個別的な筋へのストレッチングが筋緊張に及ぼす影響について、神経生理学的に検証し、コンディショニング領域の一端を明らかにすることを目的

表1 H波のM波に対する最大振幅比

条件	前	後
ストレッチ	0.37±0.13	0.24±0.12*
コントロール	0.36±0.17	0.37±0.15

前：ストレッチング前、後：ストレッチング後
n=40、数値は%、平均±標準偏差、

* $p < 0.05$ （ストレッチ前 vs ストレッチ後）

図1 H波閾およびM波閾の最大振幅導出例

に実施した。

ストレッチング研究における誘発筋電図の代表的な指標として、H波の振幅、およびH波のM波に対する最大振幅比（Hmax/Mmax）が用いられる¹⁸⁾。誘発筋電図で用いられるH波は、太い有髄筋感覚神経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前角細胞の興奮性を反映¹⁷⁾している。また、ヒトの筋緊張の調節は、主に伸張反射と自原性抑制の反射が関与¹⁹⁾しており、即ち、H波を用いて分析することは脊髄および上位運動中枢の興奮準位を評価する有効な手段である。臨床においては、筋緊張が亢進している患者ほどH波とM波の最大振幅比は高値を示す²⁰⁾。つまり、これらを踏まえ、誘発筋電図は、定量的な評価が難しいとされる筋緊張の評価を、より客観的に行うことが可能といえる。

今回、ストレッチ条件の前後比較において、ストレッチング前に比べ、ストレッチング後はH波およびM波の最大振幅比が有意に低値を示す結果が得られた。このことから、ヒラメ筋に対するストレッチングは、従来の先行研究¹⁸⁾と同様の神経生理学的変化をもたらす可能性が示唆される。先行研究においても持続伸張が、筋緊張を抑制あるいは低下させる報告がこれまで数多く見られる^{21, 22)}。それらの背景として、筋が引き伸ばされる時に、筋緊張の抑制に関与する末梢の受容器はゴルジ腱器官、関節受容器であり、一般に筋腱移行部

に多く存在するといわれているゴルジ腱器官からのIb神経線維は、筋の張力に応じて興奮の程度が変化する²³⁾。すなわち、筋に持続的な伸張が加わると主動筋、共同筋に存在するゴルジ腱器官が興奮し、この信号が求心性にIb神経線維を伝播し脊髄後角に入り、介在ニューロンを介して同名筋の脊髄前角細胞の興奮を抑制する原理が働く。本研究においても、これらの神経生理学的変化から、脊髄運動細胞の興奮性を抑制し、その結果、H波のM波に対する最大振幅比が低値したものと考えられる。そのため、本研究の結果は、先行研究を支持する結果が得られたものと解釈できる。

しかし、本研究はヒラメ筋にターゲットを絞った即時的效果の検証であったため、実際の基本動作やスポーツ動作などで関節運動を行う際は多数の筋が関与することを考慮すると、パフォーマンス評価等を加え、様々な視点からその効果を検討^{24, 25)}していく必要性があると思われる。

引用文献

- 1) 黒川幸雄, 高橋正明, 鶴見隆正: 高齢者の理学療法. 三輪書店, 東京, 2002, 2-6.
- 2) 厚生労働省: 平成24年簡易生命表の概況. ぎょうせい, 東京, 2013, 1-15.
- 3) 鈴木重行, 平野幸伸, 鈴木敏和: ID ストレッチング第2版. 三輪書店, 東京, 2006, 2-46.
- 4) Avela J, Kyrolainen H, Komi PV: Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *J Appl Physiol*, 1999, 86: 1283-1291.
- 5) Kokkonen J, Nelson AG, Cornwel A: Acute muscle stretching inhibits maximal strength performance. *Res Q Exerc Sport*, 1998, 69: 411-415.
- 6) Guissard N, Duchateau J: Effect of static stretch training on neuro and mechanical properties of the human planter-flexor muscles. *Muscle Nerve*, 2004, 29(2): 248-255.
- 7) Cramer JT, Housh TJ, Weir JP, et al.: The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *Eur J Appl Physiol*, 2005, 93(5-6): 530-539.
- 8) Morse CI, Degens H, Seynnes OR, et al.: The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Appl Physiol*, 2008, 586: 97-106.
- 9) Yamaguti T, Ishii K, Yamanaka M, et al.: Effect of static stretching for 30 seconds and dynamic stretching on leg extension power. *J Strength Cond Res*, 2006, 19: 677-683.
- 10) Behm DG, Bambury A, Cahill F, et al.: Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time, and movement time. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(8): 1397-1402.
- 11) 鈴木重行: 筋・筋膜性疼痛に対する理学療法の画像による効果検証の試み. *理学療法学*, 2005, 32: 32-33.
- 12) 影山滋久: Warming up (Cool down) における Stretch および Jogging の効果について (カラーサーモグラフィーを用いて). *デサントスポーツ科学*, 1996, 3: 306-308.
- 13) 森谷敏夫: ストレッチングによる筋痛の生理学的効果に対する電気生理学的説明. *デサントスポーツ科学*, 1987, 8: 212-219.
- 14) 山下敏彦, 関根将利, 竹林庸雄・他: ストレッチングの生理学-筋伸張が神経筋伝達機能に及ぼす影響-. *運動・物理療法*, 2001, 12: 20-26.
- 15) 中村浩一, 向井義人, 児玉隆之: ID ストレッチングが心身に及ぼす影響. *理学療法科学*, 2011, 26(1): 13-17.
- 16) Marsh D, Sleivert G: Effect of precooling on high intensity cycling performance. *Br J Sports Med*, 1999, 33: 393-397.
- 17) Hoffren M, Isikawa M, Komi PV: Age-related neuromuscular function during drop jumps. *J Appl Physiol*, 2007, 103: 1276-1283.
- 18) 千野直一: 臨床筋電図・電気診断学入門第6版. 医学書院, 東京, 2005, pp56-81.
- 19) Funase K, Higashi T, Sakakibara A, et al.: Neural mechanism underlying the H-reflex inhibition during static muscle stretching. *Adv Exerc Sport Physiol*, 2003, 9(4): 119-127.
- 20) Bakheit AM, Maynard V, Shaw S: The effects of isotonic muscle stretch on the excitability of the spinal alpha motor neurons in patients with muscle spasticity. *Eur J Neurol*, 2005, 12(9): 719-724.
- 21) Morse CI, Degens H, Seynnes OR, et al.: The acute effect of stretching on the passive stiffness of the human gastrocnemius muscle tendon unit. *J Appl Physiol*, 2008, 586(1): 97-106.
- 22) Herda TJ, Costa PB, Walter AA, et al.: Effects of two modes of static stretching on muscle strength and stiffness. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(13): 1777-1784.
- 23) Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, et al.: Viscoelastic stress relaxation during static stretch in human skeletal muscle in the absence of EMG activity. *Scand J Med J Sci Sports*, 1996, 6(6): 323-328.
- 24) Reid DA, McNair PJ: Passive force, angle, and stiffness changes after stretching of hamstring muscles. *Med Sci Sports Exerc*, 2004, 36(11): 1944-1948.
- 25) Stewart M, Adams R, Alonso A, et al.: Warm-up or stretch as preparation for sprint performance? *J Med Sci Sport*, 2007, 10(6): 403-410.