

主働筋の最大収縮による拮抗筋に対するストレッチング効果

羽 崎 完, 市 橋 則 明, 森 永 敏 博

Effects of Stretching on Antagonist Muscle following Maximal Contraction of Agonist Muscle

Kan HAZAKI, Noriaki ICHIHASHI, Toshihiro MORINAGA

Abstract: This study investigated the influence of stretching on antagonist muscle following maximal contraction of agonist muscle and characterized the effects of reciprocal relaxation stretching as an effect of PNF stretching.

Twelve healthy adults (the mean age of 22.4 ± 1.4) with a right active straight-leg-raising (SLR) angle of less than 70 degrees were divided equally by random distribution into a control group and a stretching group. Tight hamstring muscles in each subject in both groups were measured by resistance change against instrumental passive SLR movement using the MYORET(RZ-450). From the torque-angle curves obtained during the passive SLR, the value of each angle was computed. To compare the two groups, each value was analyzed using two sample Student's t test. The results showed that the value in the stretching group was significantly lower than that in the control group at a hip flexion angle of 90 degrees ($p < 0.05$). Therefore, extensibility of the hamstring muscles as the antagonist was increased by maximal contraction of the hip flexor muscles as the agonist. The results are interpreted as suggesting that reciprocal relaxation is an effective technique for stretching muscles.

Key words: Hamstring muscles, Stretching, Reciprocal relaxation

緒 言

関節可動域の制限は、疼痛、筋膜・筋線維・腱などの軟部組織の短縮、関節構成体の異常など種々の原因によって引き起こされる。これらの中でも軟部組織の短縮に対して、臨床やスポーツの現場でよく用いられるストレッチングには、ゆっくりとしたスピードで他動的に軟部組織

を伸張する Static Stretching (SS) や弾みを付けてそれを伸張する Ballistic Stretching (BS), あるいは、PNF ストレッチングである運動方向に拮抗する筋を最大収縮させた後に他動的に軟部組織を伸張する Contract Relaxation (CR) Stretching や、反対に主働筋を最大収縮させ拮抗筋のリラックスを図りながらそれを伸張する Reciprocal Relaxation (RR) Stretching¹⁾ など、様々な方法がある。

このようなストレッチングの効果や生理学的な検討については、従来から多くの報告がある。Wilkinson²⁾ は上記の4つの手法について38の先行文献を検討した結果、PNF ストレッチで

京都大学医療技術短期大学部理学療法学科（京都市左京区聖護院川原町53）
Division of Physical Therapy, College of Medical Technology, Kyoto University
1996年7月10日受付

ある主動筋や拮抗筋を最大収縮させる CR や RR を用いることが、SS や BS を用いるよりも効果的であるとした報告が多いと述べている。このようなこれまでの報告のほとんどは、膝関節伸展位で股関節を他動的に屈曲 (straight-leg-raising: SLR) し、ハムストリングスを伸張したときの股関節の可動域変化を指標として検討されている³⁻⁹⁾。

しかし、可動域の測定時に検者が加える力の強さや速度を明記しているものは少なく、それらが必ずしも一定に保たれているとは考えにくい。そのため、効果の判定への信頼性は低い。

一方、筋膜・筋線維・腱などの軟部組織は、弾性・粘性・塑性という3つの力学的特性を有している^{10,11)}が、臨床的にはそれらを各々別して評価することは、非常に困難である。しかし、軟部組織に与える力と変位との関係を示す負荷—変形曲線や応力—歪曲線を求めることで、軟部組織の特質や変化を総合的に捉えることが可能となる¹²⁾。

実際、負荷—変形曲線を用いて筋・腱・靱帯のそれぞれの力学的特性について論じた報告もある¹³⁻¹⁹⁾。これらの報告のほとんどは *in vitro* の条件下で行われているが、我々は等速性筋力測定装置を用いて、人を対象とした *in vivo* の測定方法を報告してきた^{20,21)}。この方法は、本装置を用いることによって得られるトルク—角度曲線が、軟部組織の負荷—変形曲線と類似していることから、トルク—角度曲線は軟部組織の粘弾性を総合的に示しているという考えに基づいている。さらにこの方法は、筋の伸張性測定時に加える力の強さや速さを一定に保つことができるため、筋の伸張性のより科学的な評価が可能である。

今回、我々は、等速性筋力測定装置を用いて一定速度の他動運動中に出現する抵抗量をトルクの変化としてトルク—角度曲線を求め、主動筋の最大収縮が拮抗筋の伸張性に及ぼす影響を明らかにし、PNF ストレッチングのひとつである RR ストレッチングの効果を検討した。

対 象

対象は、下肢に障害がなく、自動的 SLR が70度以下の健常者、コントロール群6名 (男性1名、女性5名: 平均年齢 21.3 ± 1.4 歳)、ストレッチング群6名 (男性3名、女性3名: 平均年齢 23.5 ± 4.1 歳) の計12名とした。なお、本研究前にすべての被検者に対し、その趣旨を十分に説明し、研究に対する理解と同意を得た。

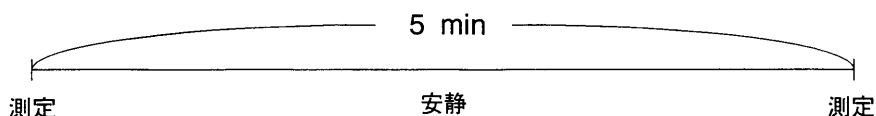
方 法

対象とした筋は、右側のハムストリングスとした。方法は、等速性筋力測定装置「MYORET (RZ-450)」(川崎重工業株式会社製)を用いて、膝関節伸展位で等速性の他動的 SLR 運動中の股関節屈曲角度変化に伴うハムストリングスの抵抗量を、股関節伸展トルクの変化として測定し、トルク—角度曲線を求めた。

MYORET は、等速性他動運動が可能な運動モードで、角速度3度/秒に設定し、股関節屈曲10度から90度にわたって機械的・他動的に動かした。被検者の測定肢位は仰臥位とし、体幹と骨盤、左大腿部をベルトにて固定した。装置本体のアームの軸は、大転子と一致させた。また、膝関節を伸展位に固定するために膝装具を装着し、足関節は自由にさせた。次に、装置本体のアームにアタッチメントを介して取り付けられたパッドを、大腿部と下腿部に装着し、パッドを付けたアタッチメントとアームを合わせた重さと膝装具を装着した被検者の下肢の重さを合わせて重力補正し、キャリブレーションを行った。

測定はコントロール群、ストレッチング群ともに2回ずつ行い、コントロール群は1回目の測定後、5分間の安静をとらせ2回目の測定を行った。ストレッチング群は1回目の測定後、90秒間安静をとらせた後、10秒間痛みのない最大可動域で股関節屈曲最大等尺性収縮、10秒間安静を1セットとして、6セット行わせ、再び90秒間安静をとらせ2回目の測定を行った (図1)。

a) コントロール群



b) ストレッチング群

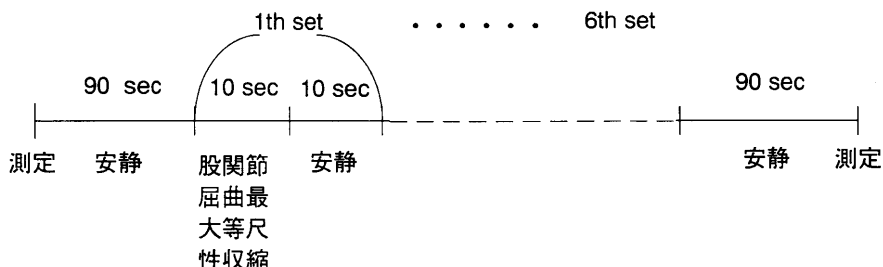


図1 測定手順

分 析 方 法

得られたトルク—角度曲線より、股関節屈曲10度から90度の範囲にわたって5度間隔で伸展トルク値を読みとった。それらの値を用いて、

1) 各角度における平均値と標準偏差を求め、コントロール群は安静前後の値を、ストレッチング群はストレッチング前後の値をt-検定を用いて比較・分析した。

2) 個体差をなくすため、コントロール群は安静前の、ストレッチング群はストレッチング前の股関節90度の伸展トルク値を100として、コントロール群の安静後、ストレッチング群のストレッチング後の各角度における伸展トルク値を正規化し、%伸展トルク値として表し、両群をt-検定を用いて比較・検討した。

結 果

1. 平均トルク角度曲線の変化

他動的なSLR運動に伴う平均伸展トルク値の変化(平均トルク—角度曲線)を図2に示した。

両群ともにはじめは緩やかな曲線を描き、股関節屈曲50度付近から、屈曲角度の増加に伴い

急な勾配の曲線となった。コントロール群では、安静前後の平均伸展トルク値には、すべての角度において有意な差は認められず、平均トルク—角度曲線もほぼ同様のカーブを描いた。これに対してストレッチング群では、股関節屈曲80度以上でストレッチング後の平均トルク値は、ストレッチング前の平均トルク値よりも有意に小さな値($p < 0.05$)を示し、ストレッチング後の平均トルク—角度曲線は、屈曲80度付近から、ストレッチング前の曲線より緩やかなカーブを描いた。

2. 平均%伸展トルク値の変化

コントロール群とストレッチング群の各屈曲角度における平均%伸展トルク値と標準偏差を表1に示した。

両群ともに股関節屈曲角度の増加に伴って、%伸展トルク値は増加した。その差を比較すると、10度から70度まではほとんど差はなく、80度からストレッチング群が低い値を取る傾向にあり、90度でストレッチング群がコントロール群より有意に低い値($p < 0.05$)を示した。

考 察

ハムストリングスは、股関節と膝関節にまた

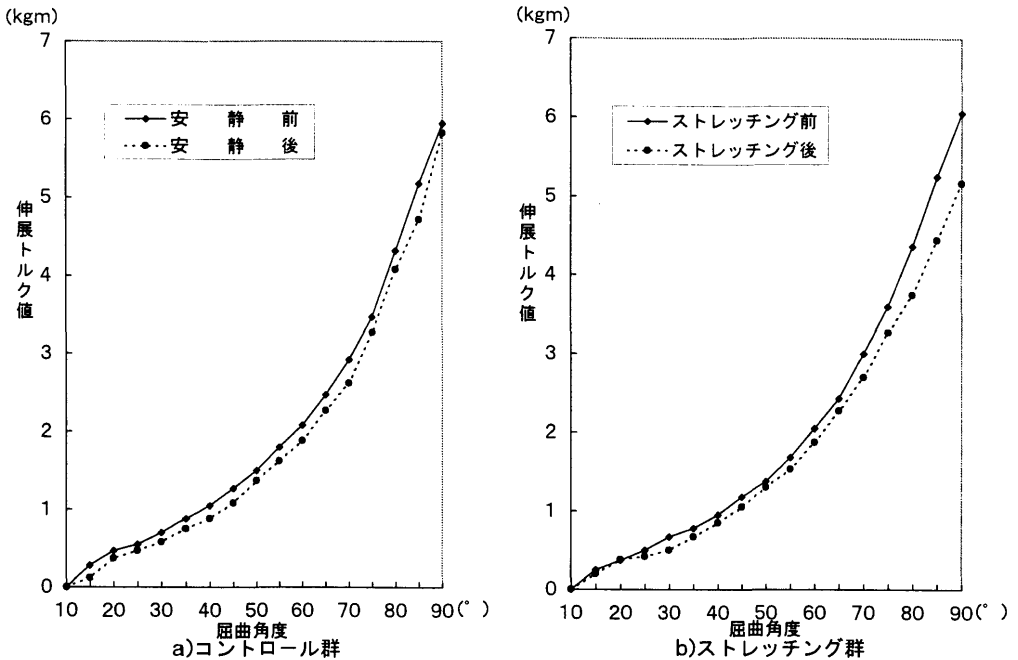


図2 平均トルク-角度曲線の変化

表1 各股関節屈曲角度における%伸展トルク値の平均と標準偏差

股関節屈曲角度	10	15	20	25	30	35	40	45	50
コントロール群	0.0±0.0	1.8±3.2	6.3±2.0	7.9±3.0	10.0±3.5	12.8±4.0	5.0±4.0	18.5±5.3	23.4±6.1
ストレッチング群	0.0±0.0	3.3±3.9	6.4±4.3	6.8±7.2	8.4±8.4	11.2±9.1	14.3±7.5	17.6±7.7	21.8±9.2
股関節屈曲角度	55	60	65	70	75	80	85	90*	
コントロール群	27.6±6.9	32.1±7.7	38.5±9.0	44.4±12.7	55.3±8.9	69.0±7.2	79.7±10.8	98.5±7.0	
ストレッチング群	25.8±10.6	31.3±10.7	37.9±9.9	45.2±11.4	54.8±13.2	62.4±11.8	74.1±12.2	85.8±14.1	

(*p<0.05)

がる二関節筋であるため、膝関節伸展位での股関節屈曲で最も伸張される²²⁾。

また、股関節屈曲の制限因子は、膝関節屈曲位では大腿前面の腹部体幹への接触、膝関節伸展位ではハムストリングスの緊張であるとされている²³⁾。

そのため、筋の伸張性の研究の際、ハムストリングスを用いることが多い。今回の研究でも、主働筋である股関節屈筋の最大収縮が拮抗筋であるハムストリングスの伸張性に及ぼす影響を明らかにする目的で、膝関節伸展位での股関節

屈曲時の股関節伸展方向に加わる抵抗量を伸展トルクとして測定した。従って、そのトルクはハムストリングスの緊張力を示すものであり、その値を用いることによってハムストリングスの伸張性を評価できる。

今回の結果では、コントロール群の安静前後には変化が認められなかったが、ストレッチング群のストレッチング前後では、股関節屈曲80度以上で伸展トルク値は、統計学的に有意にストレッチング後の方が小さい値を示した。また、%伸展トルク値の比較により、ストレッチング

群は股関節屈曲80度付近からコントロール群よりも小さな値を示しはじめ, 屈曲90度でコントロール群よりも有意に小さい値を示した。これらのことから, 股関節80度以上の可動域ではハムストリングスの示す抵抗量はストレッチング群の方が低く, コントロール群よりも伸張性が得られており, 股関節屈筋の最大収縮でハムストリングスの伸張性は増加したと言える。

このように主働筋の収縮により拮抗筋の伸張性が増加するのは, 主働筋の運動神経が収縮中の主働筋から興奮性の求心性インパルスを受けている間, 拮抗筋の運動神経は抑制されるという Sherrington の相反抑制に基づくためと従来から理解されている^{7,24,25)}。しかし, RR ストレッチングの効果を筋電図を用いて検討した Osternig ら¹⁾は, RR ストレッチングによって拮抗筋の筋活動も増加したと報告している。これは, 主働筋の収縮によって拮抗筋の α モーターニューロンが, 抑制されずにむしろ活性化されていることを意味しており, 相反抑制ではこの現象を説明できない。一方, Condon ら²⁶⁾は RR ストレッチングによって拮抗筋の H 反射が減少したと報告している。この H 反射の減少は, 拮抗筋の α モーターニューロンプールの相反性の抑制を裏付けていることになる。このように主働筋の収縮が拮抗筋の伸張性に及ぼす影響についての生理学的な見解にはまだまだ議論の余地があるが, RR ストレッチングが効果的であることは, 本研究の結果からも明らかである。

本研究では RR ストレッチングと他の手法によるストレッチングの比較は行っていないが, それらの比較については, RR ストレッチングが SS, CR より関節可動域を増大させたとする Osternig ら^{1,27)}や Etnyre ら²⁸⁾の報告や, SS, BS より増大させたとする Holt ら²⁹⁾の報告などがある。一方, Condon ら²⁶⁾と Moore ら³⁰⁾は SS, CR との比較で, Lucas ら³¹⁾は SS, BS との比較で関節可動域の変化に有意差は認められないと報告している。しかし, それぞれの研究は効果の判定方法, 対象とする筋, RR ストレ

ッチングにおける主働筋の収縮様式や収縮時間, 運動負荷量などが異なっており, これらの研究結果を直接比較することは困難である。このように多くの研究の結果が異なっていることは, 筋の伸張性の得られやすい効果的なストレッチング方法がいまだ明確にされていないことを示している。

等速性筋力測定装置によって得られるトルク—角度曲線を用いてその効果を判定した今回の結果は, これまでの報告と比較して, より信頼性・再現性が高いと考える。今後, このような判定方法を用いて, RR ストレッチングにおける主働筋の収縮様式や収縮時間, 運動負荷量についての検討, また, RR ストレッチングと他のストレッチング方法との比較などを行い, より効果的なストレッチング方法を明らかにすることが必要であると考ええる。

結 語

主働筋である股関節屈筋の最大収縮が, 拮抗筋であるハムストリングスの伸張性に及ぼす影響を, 等速性筋力測定装置によって得られるトルク—角度曲線を用いて検討した。

その結果, 股関節屈曲80度以上でハムストリングスの示す抵抗量はストレッチング群の方がコントロール群よりも低く, 股関節屈筋の最大収縮がハムストリングスの伸張性を増加させることがわかった。

今回 PNF ストレッチのひとつである RR ストレッチングの効果を明らかにしたが, 今後, トルク—角度曲線を用いることにより, 様々な手法によるストレッチング効果を比較・検討し, より効果的なストレッチング方法を明確にする必要があると考えた。

文 献

- 1) Ostering LR, Robertson RN, Troxel RK, Hansen P: Differential responses to proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretch techniques. Med Sci Sports Exerc 1990; 22: 106-111
- 2) Wilkinson A: Stretching the truth. A review of

- the literature on muscle stretching. Australian J Phys Ther 1992; 38: 283-287
- 3) Tanigawa MC: Comparison of the hold-relax procedure and passive mobilization on increasing muscle length. Phys Ther 1972; 52: 725-735
 - 4) Sady SP, Wortman MA, Blanke D: Flexibility training: Ballistic, static or proprioceptive neuromuscular facilitation? Arch Phys Med Rehabil 1982; 63: 261-263
 - 5) Jacobs RR, Gilberti N: Effect of PNF and Rood relaxation techniques on muscle length. Phys Ther 1984; 64: 725
 - 6) Wallin D, Ekblom B, Grahn R et al: Improvement of muscle flexibility. Am J Sports Med 1985; 13: 263-268
 - 7) Prentice WE: A comparison of static stretching and PNF stretching for improving hip joint flexibility. Athletic Training 1983; 18: 56-59
 - 8) Moller M, Ekstrand J, Oberg B, Gillquist J: Duration of stretching effect on range of motion in lower extremities. Arch Phys Med Rehabil 1985; 66: 171-173
 - 9) Cornelius W, Jackson A: The effects of cryotherapy and PNF on hip extensor flexibility. Athletic Training 1984; 19: 183-199
 - 10) Zachazewski JE: Improving Flexibility. In Physical Therapy. Edited by R Scully, MR Barnes. Philadelphia: J. B. Lippincott, 1989: 698-735
 - 11) Viidik A: Functional properties of collagenous tissue. Rev Connect Tissue Res 1973; 6: 127-215
 - 12) 伊藤浩充, 市橋則明, 有村恵子, 三浦 元: 膝関節周囲の損傷後の拘縮に対する関節可動域訓練 理学療法ジャーナル 1992; 26: 535-541
 - 13) Goldspink G, Williams PE: The nature of the increased passive resistance in muscle following immobilization of the mouse soleus muscle. J Physiol 1979; 55: 289
 - 14) Witzmann FA, Kim DH, Fitts RH: Hindlimb immobilization: length-tension and contractile properties of skeletal muscle. J Appl Physiol 1982; 53: 335-345
 - 15) Williams PE, Goldspink G: Connective tissue changes in immobilised muscle. J Anatomy 1984; 138: 343-350
 - 16) Herbert R: The passive mechanical properties of muscle and their adaptations to altered patterns of use. Australian J Phys Ther 1988; 34: 141-149
 - 17) Taylor DC, Dalton JD, Seaber AV et al: Viscoelastic properties of muscle-tendon units: The biomechanical effects of stretching. Am J Sports Med 1990; 18: 300-309
 - 18) Lieber RL, Leonard ME, Brown CG, Trestik CL: Frog semitendinosus tendon load-strain and stress-strain properties during passive loading. Am J Physiol 1991; 261: C86-C92
 - 19) Lieber RL: Skeletal muscle structure and function: Implications for rehabilitation and sports medicine. 1st ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1992: 112-116
 - 20) 伊藤浩充, 市橋則明, 古賀友弥: 正常人における他動的膝関節屈伸時の抵抗変化 神大医紀要 1992; 8: 143-147
 - 21) 市橋則明, 吉田正樹, 篠原英記, 伊藤浩充: ハムストリングの他動的伸張に対する抵抗量の変化について 神大医紀要 1993; 9: 125-130
 - 22) Castaing J: 関節・運動器の機能解剖. 下肢編 (井原秀俊, 中山彰一, 井原和彦訳). 東京: 協同医書出版社, 1986: 19-20
 - 23) 中村隆一, 斉藤宏: 基礎運動学. 第3版. 東京: 医歯薬出版, 1987: 216
 - 24) Tyler AE, Hutton RS: Was Sherrington right about co-contraction? Brain research 1986; 370: 171-175
 - 25) 宮本重範: 理学療法におけるストレッチングの意義. 理学療法 1990; 7: 313-319
 - 26) Condon SM, Hutton RS: Soleus muscle electromyographic activity and ankle dorsiflexion range of motion during four stretching procedures. Phys Ther 1987; 67: 24-30
 - 27) Osternig LR, Robertson R, Troxel R, Hansen P: Muscle activation during proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF) stretching techniques. Am J Phys Med 1987; 66: 298-307
 - 28) Etnyre BR, Abraham LD: Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. Am J Phys Med 1986; 65: 189-196
 - 29) Holt LE, Travis TM, Okita T: Comparative study of three stretching techniques. Perceptual and Motor Skill 1970; 31: 611-616
 - 30) Moore MA, Hutton RS: Electromyographic in-

羽崎 完, 他: 主働筋の最大収縮による拮抗筋に対するストレッチング効果

- vestigation of muscle stretching techniques. Med Sci Sports Exe 1980; 12:322-329
- 31) Lucas RC, Koslow R: Comparative study of static, dynamic, and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching techniques on flexibility. Perceptual and Motor Skills 1984; 58:615-618