スタティックスストレッチングが 神経-反射機構へ及ぼす影響

Effect of Static Stretching on Neural Reflex Mechanisms

室伏 祐介^{1,2)} 川上 照彦²⁾ 芥川 知彰¹⁾ 近藤 寛¹⁾
小田 翔太¹⁾ 細田 里南¹⁾ 永野 靖典¹⁾ 池内 昌彦¹⁾

YUSUKE MUROFUSHI^{1,2)}, TERUHIKO KAWAKAMI²⁾, TOMOAKI AKUTAGAWA¹⁾, HIROSHI KONDO¹⁾,
SHOTA ODA¹⁾, RINA HOSODA¹⁾, YASUNORI NAGANO¹⁾, MASAHICO IKEUCHI¹⁾

¹⁾ Department of Rehabilitation Center, Kochi Medical School Hospital: 185-1 Kohasu, Oko-cho, Nankoku-shi, Kochi 783-8505, Japan. TEL+81 88-880-2490 E-mail: jm-yu.muro@kochi-u.ac.jp

²⁾ Graduate School of Health Sciences, Kibi International University

Rigakuryoho Kagaku 30(5): 729-732, 2015. Submitted Apr. 15, 2015. Accepted May 23, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] To examine the effect of static stretching on neural reflex mechanisms through changes in the tendon reflex and body sway. [Subjects] Thirty subjects with no lower limb disorders or neuropathies. [Methods] The latency of the tendon reflex and body sway were measured before and after three times performance of static stretching for 30 seconds. The subjects were also divided and compared according to the presence or absence of a stretch effect. [Results] After stretching, the latency of the tendon reflex was prolonged and body sway increased, and these effects were especially marked in the group of subjects clearly showing a stretch effect. [Conclusion] There is a possibility that static stretching affects the neural reflex mechanisms; therefore, they should be carefully performed immediately before sports events.

Key words: static stretching, tendon reflex, body sway

要旨:〔目的〕スタティックスストレッチングが神経-反射機構に及ぼす影響を、T波の潜時、重心動揺の変化から検討した。〔対象〕下肢疾患や神経疾患のない30名。〔方法〕30秒間のスタティックスストレッチングを3回実施し、ストレッチング前後でT波の潜時や重心動揺を測定した。また、ストレッチング効果があった群となかった群に分け、比較を行った。〔結果〕ストレッチング後、T波の潜時は延長し、重心動揺も増加した。特にストレッチング効果が著明にみられた群では、潜時の延長や動揺が著しかった。〔結語〕スタティックスストレッチングは、神経-反射機構に影響を及ぼす可能性があり、競技直前等では慎重に行うべきである。

キーワード: スタティックスストレッチング, T波, 重心動揺

¹⁾ 高知大学医学部附属病院 リハビリテーション部: 高知県南国市岡豊町小蓮 185-1 (〒783-8505) TEL 088-880-2490

²⁾ 吉備国際大学大学院 保健科学研究科

I. はじめに

スタティックスストレッチングの一般的な効果として、組織柔軟性の維持・向上、関節可動域の改善・維持、疼痛緩和などがあげられる。また、スポーツ現場では、筋に対しては弾力性を高めて、筋の損傷を予防し、関節包や靭帯を伸張させて、関節可動域を改善させるとともに、神経-筋反応時間の短縮を含めた覚醒レベルを向上させることを目的として一般的に行われている¹⁾。しかし、スタティックスストレッチングにより、筋長が長くなり過ぎ、アクチンとミオシンの結合部位が少なくなることによって張力が低下する“筋の長さ-張力曲線”の変化や、強いストレッチングによる筋線維の部分損傷などの影響により筋力が低下し、ダッシュ力やジャンプ力などの、パフォーマンスを低下させるという報告^{2,3)}がされている。また、バランス、反応時間が遅延し、パフォーマンスが低下することも報告されており⁴⁾、神経-反射機構にも影響を及ぼしている。神経-反射機構への影響を調べるには、誘発筋電図を用いてのT波の計測がある。T波とは、腱を叩打することで筋紡錘が伸張刺激され、Ia線維が発火し、脊髄前角細胞で α 運動神経を介して筋までインパルスが到達するまでを記録したもので、伸張反射を客観的に評価できる。また、ストレッチング効果の指標には、関節可動域測定、筋タイトネス、触診が代表的である。その中でも筋タイトネスは、伸張ストレスに対する弾性の程度を表しており、ストレッチング効果の良い指標である。しかし、多くの先行研究では、ストレッチング実施後のパフォーマンスのみに着目しており、ストレッチング効果については検討されていない。また、電気生理学的手法を用いて、ストレッチングの神経-反射機構への影響を調べた報告も少なく、さらに、ストレッチング効果との関係は明らかにされていない。

そこで、本研究の目的はスタティックスストレッチングによる生理学的変化を検討し、ストレッチング効果との関係性を明らかにすることである。よって、筋タイトネスをストレッチング効果の指標とし、スタティックスストレッチング前後におけるT波の潜時や重心動揺の変化から、スタティックスストレッチングの神経-反射機構への影響を検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

下肢疾患や神経疾患のない健常大学生30名（男子20名、女子10名）とし、平均身長 168.1 ± 8.2 cm、平均体重 59.1 ± 8.3 kgであった。本研究は、被験者に研究の目的や内容を説明し、書面にて同意を得た後に行った。また、対象者が特定できないように記号化を行い、プライバシー保護について十分に注意して行った。

2. 方法

ストレッチングは、30秒間のスタティックスストレッチングと15秒間の休憩を交互に3回実施した。T波測定時は下腿三頭筋に対して、重心動揺検査時は、大腿四頭筋、ハムストリング、下腿三頭筋、前脛骨筋に対して実施した。ストレッチングは、同一検者が行い、伸張時に痛みを伴わない強度で行った。

T波は、叩打力判定装置（日本電子機器）とNEUROPACK8（日本光電）を使用し、下腿三頭筋より導出した。叩打力判定装置は、打鍵器の先端に電極を備え、アルミ箔を貼り付けた叩打部位と接触した瞬間にトリガーパルスが発生し、それにより筋電計が記録を始める装置である。また、叩打力を一定にする為に、打鍵器内にインパクトセンサーを内蔵し、一定範囲内の叩打力の場合のみにトリガーパルスが筋電計に入力されるようになっている。T波の記録は、叩打部位のアキレス腱にアルミ箔を貼り、関電極を腓腹筋の内側頭、基準電極を踵骨上に設置し、トリガーパルスから筋活動開始までの潜時を計測した。また、叩打を20回行い、加算平均された波形にて潜時の測定をした。

重心動揺は、グラビコーダGS-7（アニマ社）を使用し、ボールを蹴る脚を利き足として、開眼片脚立位を30秒間実施した。また、眼前2mの位置に目印を設置し、凝視するように指示した。検討項目は、総軌跡長、単位面積軌跡長、外周面積の3項目を用いた。

また、ストレッチング効果の指標としての筋タイトネスは、尻上がりテスト、SLRテスト、足関節背屈角を測定した。尻上がりテストは、腹臥位で膝関節を他動的に屈曲させ、上前腸骨棘が浮いた時の膝の角度を測定した。SLRテストでは、背臥位で膝関節を伸展させた状態で、股関節を他動的に屈曲させた角度を測定した。また、足関節背屈角は、膝関節を伸展させた状態で、足関節を他動的に背屈させた角度を測定した。角度の計測は、デジタルカメラで撮影し、その後PCに取り込み、画像編集ソフトPhotoshop CS3（アドビシステムズ社）で行った。

T波の潜時については、ストレッチング前後での筋タイトネスの変化量（ストレッチング前-ストレッチング後）を算出し、変化量が正の群を効果あり群、負の群を効果なし群と設定し、各群におけるストレッチング前後のT波の潜時を比較した。

また、重心動揺検査については、ストレッチング前後での、大腿四頭筋、ハムストリング、下腿三頭筋の筋タイトネスの変化量（ストレッチング前-ストレッチング後）を算出した。3筋群全ての変化量が正の場合を効果大群とし、また、1筋でも変化量が負の場合を効果小群として、ストレッチング前後の総軌跡長・単位面積軌跡長・外周面積を比較した。

統計処理は、SPSS（Ver15.0）を使用した。ストレッ

表 1 下腿三頭筋ストレッチング前後の T 波の潜時, 筋タイトネス

	実施前	実施後
潜時 (ms)	26.4 ± 2.9	26.8 ± 3.4 *
筋タイトネス (°)	22.2 ± 6.5	24.7 ± 6.6 **

* $p<0.05$ ** $p<0.01$.

表 2 ストレッチング効果の有無でみた T 波の潜時変化

	効果あり		効果なし	
	実施前	実施後	実施前	実施後
潜時 (ms)	26.1 ± 3.1	26.6 ± 3.6 **	27.2 ± 2.2	27.3 ± 2.7

** $p<0.01$.

表 3 ストレッチング実施前後における重心動揺の変化

	実施前	実施後
総軌跡長 (cm)	112.9 ± 34.0	111.0 ± 31.5
単位面積軌跡長 (1/cm)	24.5 ± 5.7	22.0 ± 6.6 *
外周面積 (cm ²)	4.7 ± 1.5	5.4 ± 1.8 **

* $p<0.05$ ** $p<0.01$.

表 4 ストレッチング効果の大小でみた重心動揺の変化

	効果大群		効果小群	
	実施前	実施後	実施前	実施後
総軌跡長 (cm)	115.0 ± 43.8	113.1 ± 37.6	111.3 ± 25.5	109.4 ± 27.0
単位面積軌跡長 (1/cm)	25.9 ± 5.9	21.8 ± 6.0 **	23.6 ± 5.6	22.2 ± 7.2
外周面積 (cm ²)	4.6 ± 1.8	5.4 ± 2.0 *	4.9 ± 1.3	5.3 ± 1.7

* $p<0.05$ ** $p<0.01$.

チング前後での T 波の潜時時間, 重心動揺を対応のある t 検定を用いて比較した. 統計学的有意水準は全て 5% とした.

III. 結 果

下腿三頭筋の筋タイトネスはストレッチング後, 有意に低下した ($p<0.01$). また, T 波の潜時はストレッチング後, 有意に延長した ($p<0.05$) (表 1). 下腿三頭筋のストレッチング後, 効果が認められた効果あり群は 22 名で, 効果なし群は 8 名であった. 効果あり群では, ストレッチング前後での T 波の潜時が有意に延長し ($p<0.01$), 効果なし群では, 有意差は認められなかった (表 2).

重心動揺検査の結果では, ストレッチング後に単位面積軌跡長, 外周面積において, 有意に動揺が増加した ($p<0.05$). 総軌跡長においては有意差が認められなかつ

た (表 3). また, 大腿四頭筋, ハムストリング, 下腿三頭筋の 3 筋における筋タイトネスの変化量で, 3 筋全てで筋タイトネスが低下した効果大群が 13 名, 少なくとも 1 筋の筋タイトネスが低下しなかった効果小群は 17 名であった. 効果大群では, ストレッチング後に単位面積軌跡長の値が有意に低下し ($p<0.01$), 外周面積の値が有意に向上した ($p<0.05$). 一方, 総軌跡長には有意差が認められなかった. 効果小群では, ストレッチング後に総軌跡長, 単位面積軌跡長, 外周面積ともに有意な差は認められなかった (表 4).

IV. 考 察

スタティックストレッチングは, スポーツ現場でパフォーマンスの向上を目的として幅広く使用されている. パフォーマンスを向上させるためには, 神経―筋反応時間の短縮を含む覚醒レベルを向上させることが大切

である⁷⁾。しかし、神経-反射機構に関する報告は少なく、また多くの研究では、ストレッチング効果については検討されていない。ストレッチング効果の指標としては、関節可動域、筋タイトネス、筋硬度などが挙げられる。本研究では筋タイトネスをストレッチング効果の指標とし、スタティックストレッチングの神経-反射機構に及ぼす影響について調べた。

本研究では、下腿三頭筋の筋タイトネスがストレッチング後に有意に低下した。これは、ストレッチング効果の一つである筋の柔軟性が向上したためと考えられる。柔軟性の向上は、筋線維、筋腱移行部、コラーゲン線維を中心とした結合組織の伸張性の増大の変化がその要因であると考えられている^{5,6)}。また、ストレッチング後にT波の潜時が長くなった。特にこの効果は、筋タイトネスがストレッチング後に低下した群、つまり、筋、腱が大きく緩んだ群に顕著であった。T波は、腱をハンマーで叩打したときに、錘内筋線維が伸張され、Ia線維、 α 運動ニューロン、錘外筋の収縮という機序で起こる単シナプス反射である⁷⁾。このことより、ストレッチング後にT波の潜時が延長したのは、ストレッチングにより錘外筋や筋紡錘が緩み、叩打刺激に伴うIa求心性線維への刺激が遅延したためと考えられる。

重心動揺の結果では、ストレッチング効果大群において動揺の増加が顕著であった。姿勢調節には、視覚、前庭感覚、末梢感覚、反応時間、神経筋調節、筋力が関与している。今回の重心動揺試験は開眼片脚立位で測定しており、その姿勢調節は、足関節での制御が中心に行われ⁸⁾、圧中心を重心線に合わせるような筋活動を繰り返している⁹⁾。また、姿勢保持をするためには、筋が伸ばされると伸張反射が生じ立ち直らせるように働いており、筋紡錘の働きが関与している。今回の結果では、固有受容器姿勢制御機構を示すパラメータである¹⁰⁾単位面積軌跡長が、ストレッチング後に有意に減少していた。野田ら¹¹⁾は、ストレッチング後、T波の振幅が低下したがH波の振幅は低下しなかったことから、筋紡錘の興奮性が低下していることを示唆していた。本研究でストレッチング後に動揺が増加した原因も、ストレッチングにより筋紡錘の感受性が低下し、足関節での姿勢調節機能が低下したためであると考えた。

以上のように、スタティックストレッチングが神経-反射機構へ影響を及ぼすことが示唆されたが、潜時の変化は微小であった。小林¹²⁾は、S1神経根症を認めた腰椎ヘルニアの症例において、潜時が0.2 ms以上遅延した症例を認めたと報告しているのに対し、我々の結果ではストレッチング効果を認めた群で平均0.5 ms遅延し

ていた。また、重心動揺においても、ストレッチング後に動揺が増加していたため、潜時の遅延はパフォーマンスに影響する変化量であったと考えられる。

本研究より、スタティックストレッチングの効果が認められた場合、即時的には神経-反射機構へ悪影響を及ぼす可能性がある。その為、スタティックストレッチングを行った直後に競技をすることはパフォーマンスを低下させる恐れがある。しかし、今回は即時的な影響だけをみているため、今後経時的変化を検討していくことで、スタティックストレッチングを実施する適切なタイミングが分かる可能性がある。さらに、本研究はスポーツ選手を対象に行っておらず、スポーツ現場でのスタティックストレッチングの実施の意義については、今後スポーツ選手を対象に検討を行う必要性がある。

引用文献

- 1) 覚張秀樹：ウォーミングアップ・クーリングダウンにおけるストレッチング。理学療法, 2004, 21(12): 1482-1491.
- 2) Shrier I: Does stretching improve performance? A systematic and critical review of the literature. Clin J Sport Med, 2004, 14(5): 267-273.
- 3) 濱田桂祐, 佐々木誠：静的ストレッチングがジャンプ能力に及ぼす効果—生理学面ならびに機能面からの検討—。理学療法科学, 2008, 23(3): 463-467.
- 4) 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, 38(8): 1397-1402.
- 5) Garrett WE Jr, Nikolaou PK, Ribbeck BM, et al.: The effect of muscle architecture on the biomechanical failure properties of skeletal muscle under passive extension. Am Sports Med, 1988, 16(1): 7-12.
- 6) Guissard N, Duchateau J: Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. Muscle Nerve, 2003, 29(2): 248-255.
- 7) 鈴木俊明, 才藤栄一, 藤原哲司：反射運動の筋電図学的評価—F波・T波。理学療法, 2004, 21(11): 1381-1391.
- 8) Tropp H, Odenrick P: Postural control in single-limb stance. J Orthop Res, 1988, 6(6): 833-839.
- 9) 藤澤宏幸：運動療法再考 バランス障害の改善。総合リハ, 2005, 33(7): 621-626.
- 10) 大川 剛, 時田 喬, 柴田康成・他：重心動揺検査—単位面積軌跡長の意義—健康者における検討。Equilibrium Research, 1995, 54(3): 296-306.
- 11) 野田美保子, 林 瑞穂, 前田真樹子：持続的な筋伸張が伸張反射に及ぼす影響についての筋電図学的研究—健康者を対象として—。青森県作業療法研究, 1993, 3(1): 47-51.
- 12) 小林千秋：腰椎椎間板ヘルニアにおけるアキレス腱のT波についての検討。日医大誌, 1983, 51: 376-384.