研究論文

筋疲労回復におけるストレッチングの効果 — 筋電図の周波数解析による検討 —

市橋則明¹⁾ 吉田正樹

The effect of stretching on recovery of muscular fatigue by electromyographic analysis.

Noriaki ICHIHASHI, RPT¹⁾, Masaki YOSHIDA, Eng.

1) Department of Physical Therapy, School of Allied Medical Sciences, Kobe University:
7-10-2 Tomogaoka Suma-ku Kobe 654-01 Japan. TEL 078-792-2555.

J. Exerc. Physiol. 6(4):181-185, 1991. Submitted Jun. 15, 1991. Accepted Oct. 20, 1991.

ABSTRACT

The effect of static stretching on recovery of muscular fatigue was investigated by using an electromyograph. Six healthy females were ordered to stand on their tip-toes as long as possible, to stretch the right foot for 30 sec and to keep the left foot calm for the same period as a control. It was found that there was no significant effect of stretching on recovery of muscular fatigue. This result suggests that static stretching may have no effect on recovery of muscle conduction velocity.

Key words: Muscle fatigue, Stretching, Electromyogram

要旨

健康女性6名の腓腹筋を対象に筋疲労回復におけるストレッチングの効果を筋電図周波数解析により検討した。つま先立ちを疲労困憊まで行なわせた後にストレッチングを30秒間行ない、安静とストレッチングの筋疲労の回復効果を比較した。その結果、安静とストレッチングの疲労回復率に有意な差はなかった。この結果より、運動後の筋疲労の回復において筋の伝導速度の回復に関してはストレッチングの効果はないと考えられ、他の因子すなわち興奮収縮連関や運動終板などが関わっていると考えられた。

キーワード: 筋疲労、ストレッチング、筋電図

1) 神戸大学医療技術短期大学部理学療法学科: 神戸市須磨区友が丘7-10-2 (〒654-01)

TEL 078-792-2555

運動生理6(4):181-185, 1991.

受付日 1991年6月15日

受理日 1991年10月20日

I はじめに

ストレッチングは理学療法の分野だけでなく、ウォーミングアップやクーリングダウンの手段として一般にもよく普及している。ストレッチングの効果として一般的に 1)筋の緊張を和らげる 2)関節可動域を大きくする 3)血液循環を促進するとされている¹⁾。これらの効果より、筋疲労の回復²⁾、筋腱傷害の予防³⁾、筋肉痛の緩和⁴⁾⁵⁾ パフォーマンスの改善⁶⁾をさせるとしている。しかし、ストレッチングが筋の緊張を和らげたり ROMを改善させることは数多く報告されているが、筋疲労の回復に関するストレッチングの効果についての報告は少なく¹⁾²⁾⁷⁾、その生理学的背景も不明な点が多い。

一方、筋疲労を起こす部位は脳から筋線維のミオシン頭部までのいろいろな段階で起こるとされている⁸⁾。すなわち、作業効率の低下の原因となる場所は中枢神経、シナプス、運動終板、筋線維である⁹⁾。これらの多くの作業低下を起こす部位のどこに対してストレッチングが効果的に働いているのかは不明である。

筋疲労の定量的な測定の一つとして、筋電図の周波数解析がよく用いられる。筋疲労によって高周波成分が減少し、逆に低周波成分が増加することが認められている。この指標としては平均パワー周波数(MPF)や中央パワー周波数(f_{med})があり、これらの値は、疲労により減少する¹⁶⁾。MPFが疲労により低下する原因としては、筋鞘に沿った興奮の伝達速度の減少¹⁰⁻¹²⁾とされている。すなわち、筋電図の周波数解析を行なって疲労に対するストレッチングの効果を評価することにより、ストレッチングが筋の伝達速度の回復に効果があるかどうかについて検討できる。

本研究の目的は、運動後にストレッチングを行なう場合、筋の活動電位伝達速度の減少として示される筋疲労に対するストレッチン

グの効果をも筋電図の周波数解析より検討することである。

II 対象と方法

対象は健康女性 6名とした。方法は、右足のつま先立ちを疲労困憊まで行なわせたのち30秒間腓腹筋のストレッチングを行ない再度つま先立ちを行なわせた。対照群として左足において同様のことを行なった。但し対照群にはストレッチングは行なわず30秒間の安静をとらした。ストレッチングは一般的に自主訓練として行なわれる立位にて片足を後方に引き、身体を前方に傾けて腓腹筋を伸張する方法を行なわせた。ただし、静的持続伸張とし、少し伸張痛が出現する程度の強さで30秒間保持させた。

筋疲労は、腓腹筋の表面筋電図を記録し、コンピューターにて周波数解析を行ない、中央パワー周波数(f_{med})を求めることにより評価した。

腓腹筋の表面筋電図の誘導方法は、次の通りである。腓腹筋の内側頭の筋腹の近位1/3の位置に一对の銀塩化銀電極(直径 8mm、電極中央間隔15mm)を貼付け、双極誘導し差動増幅(1.6Hzから2kHzまでの増幅率2000倍)した。なお、不感電極は耳介に貼付けた。増幅した筋電図は、A/D変換器を通してサンプル周波数1kHzでサンプルし、パーソナルコンピューターに保存した。

筋疲労の指標として、表面筋電図のパワー・スペクトラムの中央周波数(f_{med})を用いた。

f_{med} は、次の方法で求めた。A/D変換された表面筋電図を、512点ごとに高速フーリエ変換を行い、パワー・スペクトラム $S_m(f)$ を求めた。そして、次の式で定義される f_{med} を算出した。

図1 つま先立ち時の腓腹筋の中央周波数の時間変化(140秒から170秒は安静)

図2 つま先立ち時の腓腹筋の中央周波数の時間変化(140秒から170秒はストレッチング)

$$\int_0^{f_{med}} S_m(f) df = \int_{f_{med}}^{f_e} S_m(f) df$$

ここで f_e は、理論的には無限大であるが、ここでは、サンプリング定理により 500Hzである。

安静とストレッチング前後のつま先立ち時の f_{med} の時間変化に対し回帰曲線を求め、両群で比較した。さらに、安静およびストレッチングによる f_{med} の回復量をつま先立ち開始時から終了時までの f_{med} の低下量で除すことにより疲労回復率を求めた。

III 結 果

つま先立ち中の腓腹筋の f_{med} の代表例を図1、2に示した。同一被験者において、疲労後安静としたものが図1であり、ストレッチングを行なったものが図2である。両群共につま先立ち中の f_{med} は時間とともに低下し、疲労していることがわかる。ストレッチング直後の f_{med} は、ストレッチング前よりも高い値を示し(図2)、筋疲労は少し回復していることが示されている。また、安静にしているだけの対照群においても、 f_{med} は安静前よりも高

い値を示し(図1)、その疲労回復の大きさはストレッチング群とほぼ同じ程度であり、両群に大きな違いはなかった。他の被験者もほぼ同じ傾向にあった。

被験者 6名の疲労回復率の平均は、安静群 $59.6 \pm 24.1\%$ 、ストレッチング群 $63.4 \pm 39.3\%$ であり、統計学的に有意な違いはなかった。

IV 考 察

運動によって生じた疲労からのより速やかな回復を目的として、クーリングダウンが行なわれる。その効果については運動後の吐き気、めまいの防止、あるいは乳酸除去の促進などが明らかにされている¹³⁾。主運動後に軽い運動を行なうと血液循環が改善され体内の化学反応が促進されて回復が高まることや運動後の血中乳酸の除去率をクーリングダウンと安静で比較すると軽い運動をしたほうが除去率が高いことが報告されている¹⁴⁾。このように疲労回復として軽い運動を行なうことの効果に関しては認められているが、整理体操としてよく行なわれるストレッチングの疲労回復に関する効果に関する研究は不十分である。ストレッチングの疲労回復の効果に関する

る研究においては、永田ら²⁾は下腿三頭筋を疲労させた後にストレッチングを行ない安静と比較し、疲労回復にストレッチングが効果があるのかを調べた。測定項目は、筋痛、皮膚温、M波、M波による筋力などである。その結果、ストレッチングは筋疲労の回復のための有効な手段と結論している。また、山本¹⁾は運動前後のストレッチングの効果を筋の柔軟性、硬さ、筋出力において検討し、ストレッチングは筋の柔軟性を高め、筋疲労を予防し、筋力や筋持久力の維持に効果的であると報告している。しかし、皆川ら⁷⁾は低頻度疲労、最大筋力、IEMG、圧痛、血清CK活性値より上腕屈筋を対象にストレッチングの効果を検討し、ストレッチングは、筋疲労や遅発性筋肉痛の軽減に効果がないと報告している。

今回我々は、筋電図の周波数解析よりストレッチングの疲労回復に対する効果を検討した。その結果、ストレッチングと安静との間に差はなく、ストレッチングの効果は認められなかった。

今回、腓腹筋の筋電図の周波数解析の結果を疲労の指標とした。疲労によりMPFやfmedが減少するという報告は多い¹⁵⁾¹⁶⁾。Petrofsky¹⁷⁾はfmedがMPFと同様に筋疲労を評価する適切な指標となると報告している。これらのMPFやfmedの疲労に伴う減少はEMGの高周波帯域の成分が減少し、逆に低周波帯域の成分が増加したことを意味している。MPFが疲労により低下する原因としては、筋鞘に沿った興奮の伝導速度の減少¹⁰⁾¹¹⁾と報告されている。この活動電位伝導速度の減少は、筋中乳酸の蓄積によって起っているとされている¹²⁾。これは、活動筋における血液循環が低下することによって、筋中に産生された乳酸が除去されにくくなったことによる¹⁸⁾と考えられ、さらに、筋を虚血状態にすると伝導速度が減少したという報告もある¹⁹⁾。つまり、周波数解析では筋自体の情報(伝導速度の変化)のみを測定しているといえる。

一方、作業効率の低下の原因となる場所は中枢神経、シナプス、運動終板、筋線維がある⁹⁾。中枢神経の疲労では、インパルス発射頻度の低下、活動可能な運動単位の減少をきたす。シナプス、運動終板の疲労では化学的伝達物質の分泌低下をきたし、インパルスの伝達を悪くする。筋線維の疲労は興奮収縮連関の障害と筋の伝導速度の低下をきたす。

ストレッチングが中枢、運動神経終板、筋線維のどこに影響を及ぼしているのかは過去の報告では明らかにされていない。本研究では、筋線維の伝導速度の回復に関してはストレッチングは、効果がないという結果となった。しかし、山下²⁰⁾らは筋の伸張により運動神経終末内へのCaイオン流入が増大し神経伝達機能を亢進させる効果があると報告している。また、下腿三頭筋にストレッチングすると30秒後のH波振幅は低下するが、M波は増大した⁶⁾という報告もあり、興奮収縮連関や神経終末などへのストレッチングの疲労回復の効果は十分考えられ、今後さらに検討する必要がある。

V まとめ

健常女性 6名の腓腹筋を対象に筋疲労回復におけるストレッチングの効果を筋電図周波数解析により検討した。その結果、安静とストレッチングとの間に差はなかった。この結果より、運動後の筋疲労の回復において筋の伝導速度の回復に関してはストレッチングの効果はないと考えられ、他の因子すなわち興奮収縮連関や運動終板などが関わっていると考えられる。

(本研究は平成2年度文部省科学研究費の助成によった。)

文 献

- 1)山本利春:スポーツとストレッチング. 理学療法 7:351-361,1990.
- 2)永田 晟・他:運動性筋疲労回復のためのストレッチングの効果. 整形外科スポーツ医学会誌 5:193-196,1986.
- 3)Millar AP: An early stretching routine for calf muscle strains. Med Sci Sports 8:39-42,1976.
- 4)deVries HA: Electromyographic observations of the effect of static stretching upon muscular distress. Res Quart 32:468-479,1961.
- 5)森谷敏夫・他:ストレッチングによる筋痛の生理学的効果に関する電気生理学的解明. デサントスポーツ科学 8:212-219,1987.
- 6)永田 晟:障害予防のためのウォームアップとクールダウンの意義. 臨床スポーツ医学 4:1226-1234,1987.
- 7)皆川孝志・他:ストレッチングは遅発性筋肉痛や筋疲労を軽減できるか. 体力医学 39:562,1990.
- 8)矢部京之助:筋疲労の神経機構. 体育の科学 40:365-371,1990.
- 9)広田公一:急性疲労と慢性疲労. 体育の科学 32:556-558,1982.
- 10)Bigland-Ritchie B, et al: Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. Muscle & Nerve 7:691-699,1984
- 11)Eberstein A, et al: Simultaneous measurement of muscle conduction velocity and EMG power spectrum changes during fatigue. Muscle & Nerve 8:768-773,1985.
- 12)浅井英典:筋疲労と筋電図. 体育の科学 32:588-591,1982.
- 13)青木純一郎・他:クーリング・ダウンの生理学. 新体育 45:366-369,1975.
- 14)青木純一郎:クーリングダウンの生理学 J J sports Sci 7:628-632,1988.
- 15)Komi PV, et al: EMG frequency spectrum, muscle structure, and fatigue during dynamic contractions in man. Eur J Appl Physiol 42:41-50,1979.
- 16)Basmajian JV, et al: Muscles Alive (fifth ed). Baltimore, Williams & Wilkins,1985.
- 17)Petrofsky JS, et al: Frequency analysis of the surface electromyogram during sustained isometric contractions. Eur J Appl Physiol 43:173-182,1980.
- 18)Lindstrom L, et al: Muscle fatigue and action potential conduction velocity changes studied with frequency analysis of EMG signals. Electromyography 4:341-356,1970.
- 19)Mortimer JT, et al: Conduction velocity in ischemic muscle, effect on EMG frequency spectrum. Am J Physiol 219:1324-1329,1970.
- 20)山下敏彦・他:ストレッチングの効果に関する電気生理学的解析. 臨床スポーツ医学 4 (suppl):47-49,1987.