

## 橈側手根屈筋の静的ストレッチングにおける筋粘弾性変化の筋伸張強度依存性

Change of the Viscoelasticity of the Flexor Carpi Radialis Muscle  
during Static Stretching Depends on Stretching Intensity

○ 岡村尚美 (早大) 河西利太朗 (早大) 小林洋 (早大)

藤江正克 (早大) 菅野重樹 (早大)

Naomi OKAMURA, Waseda University  
Ritaro KASAI, Waseda University  
Yo KOBAYASHI, Waseda University  
Masakatsu G. FUJIE, Waseda University  
Shigeki SUGANO, Waseda University

**Abstract:** Static stretching is widely performed to decrease muscle tone. The stretching intensity is important to realize effective static stretching, however, it is unclear and sometimes people get injured due to excessive intensity. To perform static stretching with an appropriate intensity, we have to quantify the intensity and the effect of static stretching. In this study, we investigated the relation between the stretching intensity and the change of muscle viscoelasticity for static stretching of the flexor carpi radialis muscle. We set the stretching intensity using the joint torque controller and measured muscle viscoelasticity by an indentation test. The results showed that the muscle viscoelasticity decreased significantly during stretching and the decrease amount was the largest with 60% of the joint torque at the maximum joint angle. The results suggest that we can derive the optimized stretching intensity from the joint torque at the maximum joint angle for each person.

**Key Words:** Joint Torque, Muscle Viscoelasticity, Static Stretching, Welfare Engineering

## 1. 緒言

## 1.1 静的ストレッチングの効果と筋伸張強度

静的ストレッチングは筋緊張の緩和を目的として、リハビリテーションやスポーツ活動のなかで広く実施されている。しかし、筋緊張緩和効果を最大とする筋伸張強度やストレッチング持続時間には諸説あり<sup>(1)</sup>、定量的な値が明らかになっていない。従来、筋伸張強度は痛みが出る直前の関節角度<sup>(2)</sup>といった主観性の強い指標において検討されてきた。また、ストレッチング実施中の筋緊張の計測は困難であり、静的ストレッチングの効果は様々な条件で実施したストレッチングの前後の筋の状態の統計的比較により評価されてきた。このため、過剰強度で不必要に長時間ストレッチングを持続させる条件での検討も稀ではなく、臨床的に効果が高いストレッチング条件の導出が困難であった。

筆者らはこれまでに、ストレッチング中の筋への押し込み反力計測に基づき、筋緊張の緩和とみられる筋粘弾性変化を評価する手法を構築してきた<sup>(3)</sup>。筋粘弾性パラメータのストレッチング実施前後の比較ではなく、ストレッチング実施中の変化を観測するため、より正確にストレッチング自体によって筋に起きた変化を定量評価可能な手法である。定量化した筋伸張強度の指標と本評価手法を適用することで、臨床的に効果のある筋伸張強度を導出できることが期待される。

## 1.2 研究目的

本研究では、静的ストレッチング中の筋粘弾性計測に基づき筋伸張強度と筋緊張緩和効果の関係を明らかにすることを目的とする。対象筋は、肘関節・手関節の障害に関与する前腕の橈側手根屈筋とする。橈側手根屈筋は肘関節完全伸展位において手関節を背屈することをにより伸張されるため、手関節角度1自由度の変化で筋伸張強度を制御でき力学的にも単純である。

## 2. 筋伸張強度と筋粘弾性変化の関係導出実験

## 2.1 実験目的

本実験では、関節トルクを指標とした筋伸張強度の負荷量と、静的ストレッチングによる筋緊張緩和効果として現れる筋粘弾性の変化の関係を調べ、最適な筋伸張強度を関節トルクをもとに導出可能か検証することを目的とする。関節トルクはストレッチングを実施する関節の最大可動域付近でも増加量が減衰しないため、客観的指標として扱いやすい。

## 2.2 実験装置

特定の関節トルクにおけるストレッチング中の筋粘弾性を計測するために、Fig. 1のような実験装置を製作した。本装置は関節トルク調整装置と押し込み反力計測装置からなる。

関節トルクは、手関節背屈板の角度をハンドルで操作することにより調整される。関節トルクの値はフォースゲージ (IMADA 製) の値をもとに算出する。手関節背屈板は固定可能な機構となっているため、ストレッチング開始時に任意の関節トルクに調整した後、被験者は装置によって筋伸張一定となるよう手関節角度を維持される。

ストレッチング中の押し込み反力は、1軸マニピュレータを用いて先端が直径10[mm]の球状の測定子を橈側手根屈筋の筋腹に押し込み計測する。筋腹位置は肘関節近位33%とし前腕長の計測をもとに決定した。測定子の押し込み量は10[mm]とし、関節トルク調整後に押し込みを開始した。

橈側手根屈筋上には表面筋電アンプ (Biometrics 製) を設置し、随意収縮とみられる筋電図変化が確認された場合は解析対象から除外することとした。

## 2.3 被験者

障害歴のない男子大学生5名を対象とした。全被験者において効き側である右腕を計測対象とした。

2.4 実験タスク

Fig. 1 の実験装置に右前腕を固定し，橈側手根屈筋の静的ストレッチングを実施した．筋伸張強度は，最大許容関節トルクの 20, 40, 60, 80, 100%となる 5 段階とした．最大許容関節トルクは，予め関節トルク調整装置にて手関節背屈を行い，被験者が受容できる最大値を記録した．

1 回のストレッチングは 60 秒間とし，間に 5 分間の休憩を設け，5 段階の強度でのストレッチングを各 1 回ずつ実施することを 1 セットとした．5 段階の強度の試行順がランダムになるよう，各被験者 3 セットを異なる日に実施した．筋緊張緩和効果による筋粘弾性変化が明確に現れるように，各試行のストレッチング実施前に 2[kg]のダンベルを用いた手関節の屈曲運動 30 回を実施し筋緊張を高めた．

2.5 解析手法

各試行において，ストレッチングによる筋粘弾性の変化量を求める．静的ストレッチングにおける粘弾性モデル<sup>(3)</sup>を式(1)に示す．

$$\log F = -r \log t + \log \frac{Gx_c}{\Gamma(1-r)} \quad (1)$$

ここで， $F$  は筋への押し込み反力， $t$  はストレッチング持続時間， $x_c$  は筋伸張量， $G$  は筋粘弾性率， $r$  は筋粘弾比である．筋粘弾比  $r$  とは筋の粘性と弾性の比率を表し，0 から 1 の値をとる．先行研究<sup>(3)</sup>により，静的ストレッチング実施中に 2 つの筋粘弾性パラメータが変化すること，および筋粘弾比  $r$  の変化量と筋粘弾性率  $G$  の変化率には相関があることがわかっている．

本研究では，無次元であり，算出が容易な筋粘弾比  $r$  の変化量  $\Delta r$  をストレッチングによる筋緊張緩和効果の指標とする．各ストレッチング強度の試行順による影響を排除するため，各試行において算出した筋粘弾比の変化量  $\Delta r$  の平均値と関節トルク負荷量の関係を導出する．モデルの対数特性および筋緊張緩和の発現時間を考慮し，筋粘弾比の変化量  $\Delta r$  は 60 秒間のストレッチングのうち  $0 < t < 10$  の筋粘弾比  $r_1$  と  $30 < t < 60$  の筋粘弾比  $r_2$  との差として算出する．

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果

ストレッチング中の関節トルク負荷強度とストレッチングによる筋粘弾比の変化量の関係を Fig. 2 に示す．筋粘弾比の変化量は，全被験者の全試行の平均±標準偏差で示している．筋粘弾比の変化量は，関節トルク負荷量が 60% のときに最大値をとった．

また，個人ごとの結果では，5 名中 4 名において関節トルク負荷量が 60% のときに筋粘弾比の変化量の平均値が最大となった．残り 1 名は，筋粘弾比変化量の平均値は 40% にて最大となったが 60% における平均値と統計的有意差はなく，各試行の筋粘弾比変化量の最大値は 60% にて記録した．

3.2 考察

筋伸張強度が最大許容関節トルクの 60% のときに最も筋粘弾比の減少量が大きく，筋伸張強度と筋粘弾比の減少量の関係は概ね上に凸となったことから，最大許容関節トルクを基準にストレッチングによる筋緊張緩和効果を最大化する筋伸張強度を決定できる可能性が示された．

同一強度の各試行における筋粘弾比変化のばらつきは，試行順の影響が大きいと考えられる．同一被験者の同一強度の結果をセット間で比較すると，1 セット中の試行順が

後になるほど筋粘弾比の変化量は減少する傾向があった．各筋伸張強度において 3 回ずつの計測であったが，ほぼすべての被験者において筋粘弾比変化量の平均値は最大許容関節トルクの 60% となり，通常 1~2 回しか連続して実施しない日常のストレッチングについては最大許容関節トルクの 60% を強度の指標とすることは差支えないと考えられる．

また，最大許容関節トルクにおける手関節背屈角度は，ストレッチング回数を重ねるほど増大したため，関節角度ではなく関節トルクを基準に筋伸張強度を定義することが有効であるといえる．

4. 結言

本研究では，関節トルクを筋伸張強度の指標として，静的ストレッチングによる筋粘弾性変化と筋伸張強度の関係を導出した．ストレッチング中の筋への押し込み試験から，計測された筋粘弾比の変化は最大許容関節トルクの 60% の関節トルク負荷量のときに最大となる傾向がみられた．従って，最大許容関節トルクの計測をもとに各個人にとって筋緊張緩和効果を最大限にしうる筋伸張強度を決定できる可能性が示された．

今後は他の筋群についても検討し，臨床的なストレッチング実施環境において最適筋伸張量を導出可能なシステムの構築を目指す．

参考文献

- (1) 福永哲夫，筋の科学事典—構造・機能・運動—，朝倉書店，pp. 414-490，2002．
- (2) 片浦 聡司，鈴木 重行，松尾 真吾，波多野 元貴，岩田 全広，坂野 裕洋，浅井 友詞，ストレッチング強度の違いが各評価指標に与える影響，第47回 日本理学療法学会大会 抄録集，2011．
- (3) Naomi Okamura, Mariko Tsukune, Yo Kobayashi, Masakatsu G. Fujie, "A Study of Viscoelasticity Index for Evaluating Muscle Hypotonicity during Static Stretching", proceedings of the 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 6919-6922, 2014.

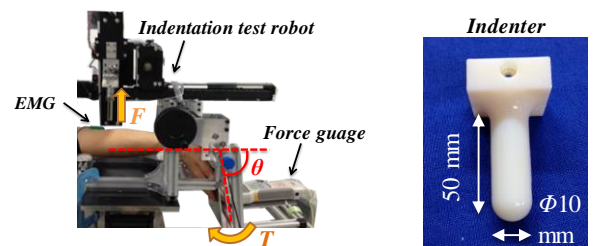


Fig. 1 Indentation test for the flexor carpi radialis muscle during static stretching using joint torque controller

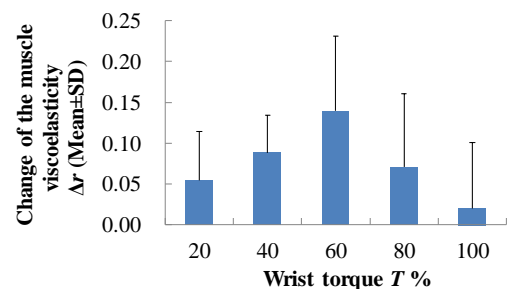


Fig. 2 Reaction of wrist torque and change of the muscle viscoelasticity during static stretching