

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：17702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12646

研究課題名(和文) ストレッチングにより関節柔軟性が向上する機序解明と効果的なストレッチング法の考案

研究課題名(英文) Mechanisms for improvement of joint range of motion after an acute bout of stretching exercise

研究代表者

福永 哲夫 (FUKUNAGA, Tetsuo)

鹿屋体育大学・その他・特任教授

研究者番号：40065222

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、生体組織のスティフネス(伸びにくさ)を非侵襲的に定量化できる超音波剪断波エラストグラフィを用いて筋スティフネスを計測することによって、ストレッチングによって関節可動域が向上する機序を明らかにすることを目的とした。足関節底屈筋群を対象とした本研究の結果、ストレッチングによる足関節背屈可動域の増加には、アキレス腱のたるみ増加と筋自体のスティフネスの低下の両方が関与していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to elucidate the factors responsible for the improvement of ankle dorsiflexion range of motion (ROM) after an acute bout of static stretching, using ultrasound shear wave elastography. After the static stretching, the maximum dorsiflexion ROM was significantly increased. The stretching induced a significant reduction in passive stiffness of the medial gastrocnemius, but not in that of the lateral gastrocnemius and soleus. The slack angle of the Achilles tendon was significantly shifted to more dorsiflexed position. Additional experiment revealed that the passive stiffness of the medial gastrocnemius at a given fascicle length was significantly reduced. These findings suggest that both the reduction in passive fascicle stiffness and the shift in slack angle of the Achilles tendon contribute to the increased ROM.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：関節可動域 筋スティフネス 超音波剪断波エラストグラフィ

1. 研究開始当初の背景

日常生活において「硬い筋、軟らかい筋」などと表現され、また多くの人々が自らの経験から感じているように、関節運動を引き起こす筋や腱は、運動や加齢などによってその硬さが変化する。硬くなった筋や腱は、それらがまたがる関節の柔軟性を損ね、傷害発生に繋がりが得る。そのため、日常生活やリハビリテーション、スポーツの現場において、関節柔軟性を改善させるだけでなく、傷害予防効果を期待してストレッチが行われている。

ストレッチが関節柔軟性に及ぼす影響に関するこれまでの研究成果をまとめると、ストレッチを行うと関節可動域は広がるものの、その機序については、筋や腱のスティフネス(伸びにくさ)の変化ではなく、ストレッチ時の痛みなどに対する耐性が増加するためであるという見解が圧倒的に多い。すなわち、ストレッチを行う前に「痛い」と感じた関節角度が、ストレッチ後には「痛い」と感じなくなった結果、関節可動域が広がる、というわけである。これは、運動前に行うストレッチが傷害予防に対して効果がないだけでなく、むしろ傷害発生のリスクを増加させることになり得る。さらに、傷害予防やリハビリテーションとして行われている現在のストレッチプログラムは科学的根拠に基づく効果的なものであるとも言い難い。

しかしながら、先行研究で用いられている関節柔軟性や筋・腱のスティフネスの評価法には大きな問題点がある。従来、関節柔軟性の評価には、関節可動域や関節受動トルク(抵抗)の計測が用いられてきたが、これらの計測は、靭帯や関節包、アライメントなど筋や腱組織以外の影響を受けるため、個々の筋自体のスティフネス評価、あるいは、筋と腱を分けた評価ができていない。また、“筋硬度”の評価には、体表面からの触診や押込式の筋硬度計によって評価されることもあるが、それらは筋の短軸方向の硬さを評価しているに過ぎず、それは必ずしも“伸びにくさ”とは一致しない。すなわち、従来の方法では、関節柔軟性と直接的に関連がある筋の長軸方向のスティフネス(伸びにくさ)を直接計測できていなかった。一方、近年、超音波を利用し生体組織のスティフネスを定量化できる組織弾性イメージング技術(エラストグラフィ)が開発されている。我々は、エラストグラフィの一つである剪断波イメージング法を用いることにより、個々の筋や腱のスティフネス(長軸方向の伸びにくさ)に対するストレッチの効果を実証的に評価できるのではないかとこの着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって、関節柔軟性と直接関連がある筋のスティフネスを計測するに

あたり、まず、超音波剪断波エラストグラフィによる筋スティフネス評価の妥当性および測定精度・再現性について確認することを第一の目的とした。方法論の妥当性および精度が確認できた上で、筋スティフネスに対するストレッチの効果を実証することにより、ストレッチによって関節柔軟性が向上する機序を明らかにすることを第二の目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験 1

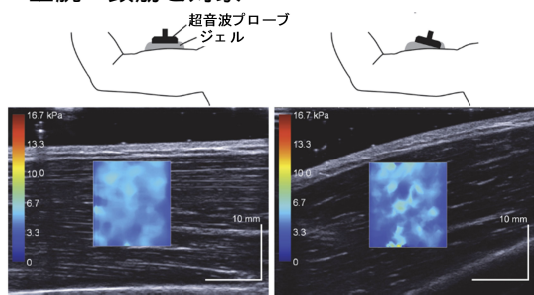
ファントムを用いた検証

材質特性の指標である剛性率が既知のファントム(剛性率 = 6 kPa ~ 67 kPa)を用い、超音波剪断波エラストグラフィによって計測された剛性率との比較を行った。

人間を対象とした検証

羽状角、あるいは、筋束方向に対するプローブ角度によって計測値(剛性率)が変わるのかどうかについて検証するため、健康な成人男性 11 名の上腕二頭筋(紡錘状筋)および内側腓腹筋(平行筋)を対象とした(図 1)。

・上腕二頭筋を対象



・内側腓腹筋を対象

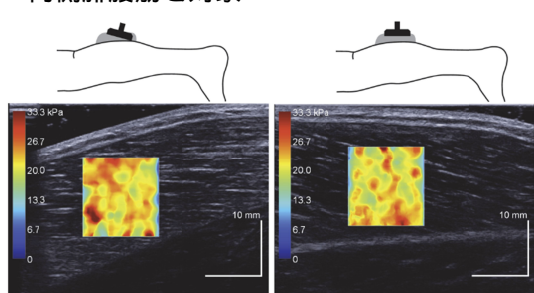


図 1 紡錘状筋である上腕二頭筋(上段)および羽状筋である内側腓腹筋(下段)を対象に、プローブに対して筋束が平行(左)あるいは斜め(右)になるように撮像した際の超音波剪断波エラストグラフィの典型例

(Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H, Yoshitake Y. Validity of measurement of shear modulus by ultrasound shear wave elastography in human pennate muscle. PLoS One 2015;10:e0124311.を改編)

(2) 実験 2

被験者は 12 名の若年男性とした。アキレス腱および足関節底屈筋群を対象とした静的ストレッチング(いわゆる“アキレス腱伸ばし”)の前後に、超音波剪断波エラストグラフィを用いによって、アキレス腱、内側腓腹筋、外側腓腹筋、ヒラメ筋のスティフネスを計測した。また、アキレス腱および各筋のたるみが無くなる足関節角度を計測した。

(3) 実験 3

ストレッチングによって筋自体が軟らかくなるのかどうかを明らかにするために、内側腓腹筋を対象に、ストレッチング前後で筋束長および筋スティフネスを同時に計測した。被験者は 14 名の若年男性とした。

4. 研究成果

(1) 実験 1

ファントムを用いた検証

同一日および異なる測定日における測定試行間の変動係数はともに約 1%であった。また、既知の値と比較した場合の級内相関係数は 1.00 であり、測定された剛性率のバラツキ(試行間の絶対差)は 0.4 kPa 程度であった。

人間を対象とした検証

プローブに対して筋束が平行あるいは斜めになるように撮像した際の剛性率の級内相関係数は、上腕二頭筋において 0.979 であり、内側腓腹筋においては 0.998 であった。

以上の結果から、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって、対象とする筋が紡錘状筋であるか羽状筋であるかに拘わらず、筋スティフネスを小さな誤差で再現良く評価できることが明らかとなった。

(2) 実験 2

同一足関節角度における筋スティフネスは、内側腓腹筋>外側腓腹筋>ヒラメ筋の順で高かった。また、同一足関節角度における筋スティフネスをストレッチング前後で比較すると、内側腓腹筋においてのみ有意な低下が認められ、外側腓腹筋およびヒラメ筋では有意な変化は認められなかった。さらに、アキレス腱および全ての筋において、足関節角度約 2 度のたるみの増加が認められた。

これらの結果は、筋スティフネスに対するストレッチングの効果は全ての筋において認められるわけではなく、硬い筋においてしか認められないことを示唆している。また、ストレッチングによる筋スティフネスの低下は、筋自体が軟らかくなったのではなく、アキレス腱のたるみ増加による可能性が考えられる。

(3) 実験 3

実験 2 同様、同一足関節角度における内側腓腹筋の筋スティフネスは、ストレッチング

後に有意に低下した。また、同一筋束長における筋スティフネスも有意に低下した。

以上の結果をまとめると、ストレッチングによる筋スティフネスの低下は、アキレス腱のたるみ増加と筋自体のスティフネスの低下の両方が拘わっていることを示唆している。しかしながら、両要因の変化以上に関節可動域の増加が認められることから、関節可動域の増加には伸長に対する耐性(痛み耐性)も関与していると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H. Effects of hamstring stretching on passive muscle stiffness vary between hip flexion and knee extension maneuvers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 27: 99-106, 2017. (査読有)

DOI: 10.1111/sms.12620.

Hirata K, Kanehisa H, Miyamoto N. Acute effect of static stretching on passive stiffness of the human gastrocnemius fascicle measured by ultrasound shear wave elastography. *European Journal of Applied Physiology* 117(3): 493-499, 2017. (査読有)

DOI: 10.1007/s00421-017-3550-z

Hirata K, Miyamoto-Mikami E, Kanehisa H, Miyamoto N. Muscle-specific acute changes in passive stiffness of human triceps surae after stretching. *European Journal of Applied Physiology* 116(5): 911-918, 2016. (査読有)

DOI: 10.1007/s00421-016-3349-3

Hirata K, Kanehisa H, Miyamoto-Mikami E, Miyamoto N. Evidence for intermuscle difference in slack angle in human triceps surae. *Journal of Biomechanics* 48(6): 1210-1213, 2015. (査読有)

DOI: 10.1016/j.jbiomech.2015.01.039

[学会発表](計 4 件)

宮本直和, 平田浩祐. 足関節背屈可動域の個人差および性差を生み出す要因. 第 71 回日本体力医学会大会 いわて県民情報交流センター(岩手県盛岡市) 2016.9.23-25

平田浩祐, 宮本直和. 腓腹筋内側頭の硬度および横断面積が足関節背屈可動域に及ぼす影響. 日本体育学会第 67 回大会 大阪体育大学(大阪府泉南郡熊取町) 2016.8.24-26

宮本直和, 平田浩祐. ハムストリングのストレッチングによってどの筋が軟らかくなるのか? ~ 膝関節伸展と股関節屈曲の比較 ~. 第 70 回日本体力医学会大会 和歌山県民文化会館(和歌山県和歌山市)

2015.9.18-20

Hirata K, Kanehisa H, Fukunaga T,
Miyamoto N. Influences of hamstring
stretching on passive muscle stiffness vary
between hip flexion and knee extension
maneuver: A pilot study. 2nd Congress,
International Academy of Sportology (Tokyo,
Japan) 2015.9.12

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ

<http://people.nifs-k.ac.jp/mpl/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

福永 哲夫 (FUKUNAGA, Tetsuo)
鹿屋体育大学・特任教授
研究者番号：40065222

(2)研究分担者

宮本 直和 (MIYAMOTO, Naokazu)
鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・准教
授
研究者番号：20420408

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

平田 浩祐 (HIRATA, Kosuke)