

令和 2 年 5 月 27 日現在

機関番号：33918
 研究種目：若手研究
 研究期間：2018～2019
 課題番号：18K17696
 研究課題名(和文) ストレッチングによる伸張部位の探索的研究：医学的測定と工学的測定を併用した試み

研究課題名(英文) Effects of static versus dynamic stretching on tissue lengthening assessed with both medical and technological measurements

研究代表者
 松尾 真吾 (MATSUO, Shingo)

日本福祉大学・健康科学部・助教

研究者番号：30725700

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、ストレッチング後の各組織の伸張性または弾性的変化をそれぞれの組織別に検討した。対象は健康男性7名の右下腿三頭筋とし、合計300秒のスタティック(SS)またはダイナミック・ストレッチング(DS)を施行した。結果、両ストレッチング後に関節可動域および最大受動トルクが増加し、受動スティフネス、腓腹筋内側頭における筋腹および腱膜の剪断弾性係数が低下すること、SS後でのみ腓腹筋内側頭における筋腱移行部の変位量が増加すること、SS後の腓腹筋内側頭における腱膜の剪断弾性係数の低下率はDS後よりも大きいこと、SS後の皮膚のひずみ量は他の評価指標の変化率よりもかなり小さいことを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題では、近年工学分野で発展している三次元変形・変位測定を、従来ストレッチングの効果判定に用いられてきた等速性運動機器ならびに超音波エコーと併用することで、特に下腿三頭筋においてストレッチング方法の違いにより伸張される組織が異なる可能性があることを明らかにした。これまでに上記測定法を併用してストレッチング効果を各組織別に検討した先行研究は見当たらず、また本研究課題で得られた結果は可動域の制限組織別に最善のストレッチング方法を提案するための基礎的資料となり、対象者の状態に合わせたテーラーメイド医療を提供するうえでの科学的根拠となりうると考えられ、その学術的・社会的意義は高いと考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to compare the effects of static stretching (SS) versus dynamic stretching (DS) on flexibility, muscle extensibility, and shear elastic moduli (SEM). This randomized crossover trial assessed seven healthy subjects who performed a total of 300 s of SS and DS of the right plantar flexors. The outcome measures were the range of motion of dorsiflexion (ROM), peak passive torque (PPT), passive stiffness, SEM of the belly and the aponeurosis of the medial gastrocnemius muscle, myotendinous junction (MTJ) displacement, and surface strain of the lower leg. SS and DS significantly increased the ROM and PPT, and significantly decreased the passive stiffness and the SEM of the belly and the aponeurosis. Only SS significantly increased the MTJ displacement. Moreover, the decrease in the SEM of the aponeurosis after SS was significantly greater than that after DS. These results suggest that SS is more effective in improving muscle extensibility and aponeurosis stiffness than DS.

研究分野：リハビリテーション科学，スポーツ科学

キーワード：スタティック・ストレッチング ダイナミック・ストレッチング 柔軟性 関節可動域 stiffness 筋伸張量 三次元変形・変位測定

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

公益社団法人日本理学療法士協会による 1990 年から 2010 年までの理学療法実態調査報告によると、関節可動域の障害は常に理学療法の対象障害の上位 3 位以内にあがっている(沖田実: 理学療法学. 2014)。関節可動域制限は、主に関節周囲の軟部組織の伸張性や弾性の低下に起因し、これは疾病や外傷、加齢などにより生じる。関節可動域制限は直接的に日常活動動作を制限するだけでなく、特に高齢者においてはメタボリック症候群や転倒の危険因子として挙げられていることから(Chang KV, et al.: PLoS One. 2015, Menz HB, et al.: J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 2006)、急速な高齢化が進む本邦において、健康寿命の延伸のためにも科学的根拠に基づいた効率的な関節可動域の予防・改善方法を確立することは喫緊の課題である。

関節可動域改善を目的に、臨床場面ではストレッチングが広く用いられている。申請者らは、健常者に対するストレッチングにより関節可動域増大、筋腱複合体の stiffness(硬さ)減少が生じるが、これらの変化はストレッチング方法(スタティックおよびダイナミック・ストレッチングの単独または併用実施)による差がないことを明らかにした。また他の先行研究でも同様の報告がされており、ストレッチングは関節可動域改善に有効な介入方法だといえる。一方で、ストレッチングによる伸張部位(組織)の検討を行った先行研究は少なく、超音波エコーを用いて筋、腱の伸張量を検討した先行研究において、ストレッチング後の筋伸張量の増加は、筋線維そのものよりも筋膜や腱膜の伸張量増加に起因している可能性を示唆する程度にとどまっており(Nakamura M, et al.: J Orthop Res. 2011)、ストレッチングによる詳細な伸張部位(組織)について未だ不明な点が多い。先述のとおり、関節可動域制限は、主に筋や腱、皮膚といった関節周囲の軟部組織の伸張性や弾性の低下に起因する(市橋則明, 他: 理学療法学, 1991)。そのため、ストレッチングにより関節可動域制限が改善したとしても、もし主な制限組織の伸張性を直接改善できていなければ、その効果は一時的なものであり、関節可動域制限を真に改善できたとはいえない。さらに、ストレッチング方法により伸張部位が異なることを明らかにすることができれば、対象者の可動域制限組織に合わせた効率的な予防・改善方法を提案することができる。以上より、ストレッチングがどの部位(組織)の伸張性を改善しているのか、またその伸張部位はストレッチング方法により異なるかを明らかにすることは、臨床場面において可動域の制限組織別に最善のストレッチング方法を提案するための基礎的資料になりうると確信しており、非常に有益であると考ええる。

各組織の伸張性および弾性の評価方法として、等速性運動機器と超音波エコーを用いて筋および腱の伸張量を測定する方法が確立されている(Nakamura M, et al.: J Orthop Res. 2011)。また、超音波エコーの剪断波エラストグラフィ機能を用いて、筋、腱、腱膜の弾性をそれぞれ測定する方法が報告されつつある(DeWall RJ, et al.: J Biomech, 2014)。加えて近年、工学分野では、三次元変形・変位測定という測定・解析手技の発展が著しい。三次元変形・変位測定は、三角測量の原理を用い、2 台のカメラから得られた画像より対象物の三次元座標を取得するもので、その三次元座標の変化より変形・変位(ひずみ)を測定する。この測定方法を生体に応用することで、皮膚の伸張量を数値化して測定できると考えた。さらに上述の測定方法を併用し、ストレッチングによる伸張部位を筋、腱、腱膜、皮膚と可能な限り詳細に測定し、包括的に検証することで、どの組織の伸張性の変化が最も関節可動域改善に寄与しているかを明らかにすることができる。そのため、本研究課題の成果から、これまで関節可動域制限の予防・改善方法として、当たり前のように行われてきたストレッチングの在り方に示唆を与えることができると考えており、広く国民の健康寿命延伸さらにはリハビリテーション領域への波及効果が大きいと考える。

2. 研究の目的

本研究課題では、三次元変形・変位測定、等速性運動機器、超音波エコーを併用し、ストレッチング後の筋、腱、腱膜、皮膚の伸張性または弾性の変化をそれぞれの組織別に確認することで、ストレッチングによる伸張部位を包括的に検証し、どの組織の伸張性の変化が最も関節可動域改善に寄与しているかを検討することを目的とした。さらに、スタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを単独および併用実施した際の伸張部位の違いを比較・検討することも併せて目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究デザイン・実験プロトコル

研究デザインにはランダム化クロスオーバー試験を用いた。本研究課題では、【実験 1】として下腿三頭筋に対してスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを単独で実施し、【実験 2】としてハムストリングスに対してスタティック・ストレッチングまたはダイナミック・ストレッチングを単独および併用して実施した。なお、【実験 1】および【実験 2】ともに被験者は上記 2 種類または 4 種類の介入をランダムな順序で、かつ各介入間に 24 時間以上の間隔を設けて実施した。また、各評価指標について、実験を行う時間帯による差が生じ

ないよう、各実験は同じ時間帯に行った。

評価指標は、関節可動域（以下、ROM）、最大受動トルク、stiffness、筋および腱膜の伸張量または弾性、下腿皮膚のひずみとした。全ての評価指標は、ストレッチング直前およびストレッチング直後に測定した。得られた測定データについて、ストレッチング後の各評価指標の変化を確認し、ストレッチングによる伸張部位の検証を行うとともに、ストレッチング方法による変化の違いについても併せて検討した。

なお、実験を開始する 1 日以上前に、後述のストレッチング方法ならびに全ての評価指標の測定に慣れさせるための練習日を設け、全ての被験者はこれに参加した。

(2) 対象

本研究課題では、事前に実験目的および実験内容を説明し、書面による同意が得られた健常男子大学生を対象とし、【実験 1】では 7 名（平均年齢 20.9 ± 0.4 歳、平均身長 171.9 ± 6.2 cm、平均体重 68.2 ± 8.9 kg）、【実験 2】では 20 名（平均年齢 21.8 ± 1.4 歳、平均身長 171.4 ± 6.3 cm、平均体重 64.6 ± 10.8 kg）に対して実験を行った。除外基準は、明らかな下肢関節拘縮がある者、腰部または下肢関節を手術したことがある者、下肢に感覚障害などの神経学的所見がある者、過度な柔軟性を有する者、競技レベルのスポーツを行っている者、日常的な運動習慣がある者とした。

(3) ストレッチング方法

スタティック・ストレッチング

下腿三頭筋に対するスタティック・ストレッチングは腹臥位にて実施した。被験者の足関節を他動的に背屈させ、下腿三頭筋に痛みが生じる直前の角度にて保持することで実施した。

ハムストリングスに対するスタティック・ストレッチングは立位にて実施した。被験者の右踵部を 50cm の台に乗せ、右膝関節を伸展位で保持したまま右股関節を屈曲することで実施した（Murphy JR, et al., Appl Physiol Nutr Metab, 2010）。なお、ストレッチング実施中は、股関節の回旋や体幹の屈曲が生じないように注意した。

ダイナミック・ストレッチング

下腿三頭筋に対するダイナミック・ストレッチングは腹臥位にて実施した。足関節背屈 0° を開始肢位とし、開始肢位から膝関節伸展位で右足関節を最大背屈させた後に元の開始肢位に戻すまでの自動運動とした。これを 2 秒に 1 回の頻度で実施した。

ハムストリングスに対するダイナミック・ストレッチングは、立位にて実施した。バランスをとるために左手で平行棒を把持した立位姿勢を開始肢位とし、開始肢位から膝関節伸展位で右股関節を最大屈曲させた後に元の開始肢位に戻すまでの自動運動とした。これを 2 秒に 1 回の頻度で実施した（Yamaguchi T, et al., J Strength Cond Res, 2005）。

スタティック ダイナミック

上述の方法にて、スタティック・ストレッチングを 5 セット実施した後に、ダイナミック・ストレッチングを 5 セット実施した。

ダイナミック スタティック

上述の方法にて、ダイナミック・ストレッチングを 5 セット実施した後に、スタティック・ストレッチングを 5 セット実施した。

なお、【実験 1】では下腿三頭筋に対して および の介入を、【実験 2】ではハムストリングスに対して から のすべての介入をランダムな順番で実施した。また、各介入時のストレッチングは 30 秒を 1 セットとし、総実施セット数が 10 セット（合計 300 秒）となるよう設定した。加えて、各ストレッチングのセット間には 20 秒のインターバルを設けた。

(4) 測定項目

関節可動域（ROM）、最大受動トルク、stiffness

ROM、最大動的トルクおよび stiffness は、等速性運動機器を用いて測定した。等速性運動機器からのトルクおよび角度の信号は、後の解析のために A/D 変換器を通じて PC に保存された。足関節他動背屈時の測定を行う場合には被験者は腹臥位をとり、膝関節他動伸展時の測定を行う場合には被験者は股関節および膝関節をおよそ 110° 屈曲させた座位をとった。この姿勢から足関節最大背屈位または膝関節最大伸展位（痛みが出る直前）まで 5° /秒の角速度にて他動的に足関節を背屈または膝関節を伸展させることでトルク 角度曲線を測定し、得られたトルク

角度曲線より ROM、最大受動トルクおよび stiffness を算出した。本研究課題では、ROM は足関節最大背屈角度または膝関節最大伸展角度と定義し、最大受動トルクは得られたトルクの最大値と定義した（Matsuo S, et al., Eur J Appl Physiol, 2015）。Stiffness は先行研究と同様に、得られたトルク 角度曲線の回帰直線を最小二乗法を用いて求め、その傾きを stiffness と定義した（Matsuo S, et al., Eur J Appl Physiol, 2015）。なお、Stiffness は、ストレッチング前後で同じ足関節角度範囲または膝関節角度範囲で算出し、その値を比較した。また、Stiffness を

算出する足関節角度範囲または膝関節伸展角度範囲は、実験を行う同一日内で測定される ROM のうち最小のものを 100%とし、その 50%から 100%ROM までとした。

筋、腱膜の伸張量および弾性

超音波エコーを用い、足関節背屈 0°および 20°での腓腹筋内側頭における筋腱移行部の変位量を測定した (Nakamura M, et al.: J Orthop Res. 2011)。また、剪断波エラストグラフィ機能を用いて、足関節背屈 0°および 20°での腓腹筋内側頭における筋腹ならびに腱膜の弾性率を測定した (DeWall RJ, et al.: J Biomech, 2014)。

下腿皮膚のひずみ

三次元変形・変位測定装置を用い、2台のハイスピードカメラを用いてランダムパターンを塗布した下腿を同時に撮影することで、足関節背屈 0°から最大背屈位までの下腿皮膚のひずみを測定した。

なお、【実験 1】では上記 から までの測定をすべて行い、【実験 2】では のみの測定を行った。

(5) 倫理的配慮

本研究課題は、日本福祉大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の承認を得て行った。また、実験開始前に被験者に対して研究趣旨、本研究課題に参加した場合に予測される利益と不利益、倫理的配慮、自由意志の尊重と同意後の撤回の自由、個人情報保護について書面および口頭にて説明し、書面にて同意が得られた者にのみ対して実験を行った。

4. 研究成果

【実験 1】

どちらのストレッチング方法においても、実施後に ROM および最大受動トルクが有意に増加し、また stiffness、腓腹筋内側頭における筋腹および腱膜の剪断弾性係数が有意に低下した。また、腓腹筋内側頭における筋腱移行部の変位量はスタティック・ストレッチング実施後でのみ有意に増加した。さらに、スタティック・ストレッチング実施後の腓腹筋内側頭における腱膜の剪断弾性係数の低下率は、ダイナミック・ストレッチング実施後よりも有意に大きかった。一方、スタティック・ストレッチング後の皮膚のひずみ量は他の評価指標の変化率よりもかなり小さいことが明らかとなった。

【実験 2】

どのストレッチング方法においても、実施後に ROM および最大受動トルクが有意に増加し、stiffness が有意に低下した。しかしながら、それらの評価指標の変化の程度はストレッチング方法の違いによる差がなかった。一方、【実験 2】では超音波エコーならびに三次元変形・変位測定装置を用いた測定を行うことができなかった。

【結論】

本研究課題で得られた結果から、筋の伸張性や腱膜の弾性率を改善させるためには、スタティック・ストレッチングの方がダイナミック・ストレッチングよりも有効である可能性が示唆された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Iwata M, Yamamoto A, Matsuo S, Hatano G, Miyazaki M, Fukaya T, Fujiwara M, Asai Y, Suzuki S	4. 巻 18
2. 論文標題 Dynamic stretching has sustained effects on range of motion and passive stiffness of the hamstring muscles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Sports Sci Med	6. 最初と最後の頁 13-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Matsuo S, Iwata M, Miyazaki M, Fukaya T, Yamanaka E, Nagata K, Tsuchida W, Asai Y, Suzuki S	4. 巻 3
2. 論文標題 Changes in flexibility and force are not different after static versus dynamic stretching	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sports Med Int Open	6. 最初と最後の頁 E89-E95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1055/a-1001-1993	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 松尾真吾
2. 発表標題 300秒の静的および動的ストレッチングの単独または併用施行が柔軟性、筋力に及ぼす影響
3. 学会等名 第3回基礎理学療法学夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Iwata M, Tanaka K, Tsuchida W, Matsuo S, Asai Y, Suzuki S
2. 発表標題 Effect of electrically evoked local muscle contractions on glucose metabolism in high-fat diet-induced insulin-resistant rats
3. 学会等名 ACSM Conference on Integrative Physiology of Exercise（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂間勇斗, 宮崎 学, 松尾真吾, 深谷泰山
2. 発表標題 短時間の高強度静的ストレッチングが柔軟性に与える影響
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮崎 学, 松尾真吾, 深谷泰山
2. 発表標題 長期的なスタティック・ストレッチングが柔軟性・筋力に与える影響
3. 学会等名 第37回関東甲信越ブロック理学療法士学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 若野世奈, 土田和可子, 浅川真由, 松尾真吾, 鈴木重行, 浅井友詞
2. 発表標題 低強度の運動や他動ストレッチが認知機能と感情に及ぼす影響
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅川真由, 土田和可子, 山越芳樹, 谷内華菜, 山崎真有子, 若野世奈, 松尾真吾, 鈴木重行, 浅井友詞
2. 発表標題 加振器を用いたせん断波エラストグラフィによる硬度測定の信頼性および再現性の検証
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Matsuo S, Suzuki S, Iwata M, Tsuchida W, Asai Y
2. 発表標題 Acute effects of 300 seconds of static and dynamic stretching on flexibility, muscle extensibility and the shear elastic moduli of the gastrocnemius muscle-tendon unit
3. 学会等名 The 24th Annual Congress of the Annual Congress of the European College of Sports Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----