

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11486

研究課題名(和文) ハムストリングス各筋の選択的ストレッチング方法の検討

研究課題名(英文) Examination of selective stretching of the individual hamstring muscles

研究代表者

若原 卓 (Wakahara, Taku)

同志社大学・スポーツ健康科学部・准教授

研究者番号：20508288

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：肉離れが好発するハムストリングス(大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)を対象として、股関節内-外旋角度および内-外転角度が各筋の力学的特性に及ぼす影響について検討することを、本研究の目的とした。健康な成人男性20名を対象とし、股関節30度屈曲位かつ膝関節完全伸展位で、股関節内-外旋角度および内-外転角度の異なる9つの姿勢をとらせた。各姿勢において、超音波診断装置のせん断波エラストグラフィ機能を用いて、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率を測定した。実験の結果、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は股関節外転位で高く、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は股関節外旋位で高いことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大腿の後部に位置するハムストリングスは、肉離れの好発部位である。ハムストリングスの肉離れを予防するために行われるストレッチングは、身体の前方向(矢状面)における動き(股関節屈曲と膝関節伸展)を組み合わせで行われることが多い。本研究の結果、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は股関節外転位で高く、半腱様筋・半膜様筋の剛性率は股関節外旋位で高いことが示された。すなわち、身体の前方向以外の動きもハムストリングスのストレッチングに貢献し得ることを意味している。こうした影響を考慮したストレッチングがハムストリングスに対して有効である可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the effects of hip joint internal/external rotation and adduction/abduction on the mechanical properties of hamstring muscles (the biceps femoris long head, semitendinosus and semimembranosus). Participants were 20 healthy adult men. They were seated on the measurement bench with nine different hip joint positions (combinations of three internally or externally rotated positions and three adducted or abducted positions). Shear modulus of the biceps femoris long head, semitendinosus and semimembranosus was measured with ultrasound shear wave elastography. The results showed that the shear modulus of each hamstring muscle was significantly higher in the hip abducted position than in the neutral or adducted positions. In addition, the shear modulus of the semitendinosus and semimembranosus was significantly higher in the hip externally rotated position than in the neutral or internally rotated positions.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：超音波エラストグラフィ 股関節 大腿二頭筋 半膜様筋 半腱様筋

1. 研究開始当初の背景

ストレッチングは、運動中に生じる傷害の予防や身体の柔軟性を向上させるためのトレーニング手段として、スポーツやリハビリテーションの現場で広く実施されている。ただし、ストレッチングの効果については、必ずしも科学的エビデンスで支持されているわけではない。例えば、身体トレーニングがスポーツ傷害の発生リスクに与える影響を検討したメタ分析(Lauersen et al. 2014)によると、ストレッチングトレーニングによる傷害発生リスクの低下は認められなかったものの、筋力トレーニング、固有受容器トレーニング、複合的なトレーニングによって傷害の発生リスクは有意に低下した。この要因として、ストレッチングそのものに傷害予防効果がない可能性もあるが、傷害の起こりやすい筋に対して効果的なストレッチングを実施できていなかった可能性も考えられる。なぜならば、従来のストレッチング方法は、解剖学的な情報(起始と停止の位置)や、対象とする筋付近が「伸ばされている」と感じるかどうか、という主観的な評価をもとに選択されてきたからである。このため、近傍の筋が伸ばされているにも関わらず、対象とする筋が「伸ばされている」と勘違いし、ストレッチングが実施されていた可能性もある。また、対象とする筋に力学的特性の変化が生じたのか、というストレッチングの評価についても、客観的な測定に基づいて判断されてきたわけではない。

近年、超音波せん断波エラストグラフィが開発され、生体組織の弾性(かたさ)を非侵襲的に評価することが可能となった。この方法は、収束させた超音波パルスを組織内に送信し、それによって生じるせん断波(横波)の伝播速度を計測することで、組織の弾性を算出する。この方法による骨格筋の弾性評価の妥当性については、摘出筋を用いて既に検証されており(Eby et al. 2013)、ストレッチングによって生じる筋の力学的特性の変化を客観的・定量的に評価することが可能である。

大腿部後面にあるハムストリングスは、大腿二頭筋長頭・短頭、半腱様筋、半膜様筋の総称である。ハムストリングスは肉離れの好発部位である(Askling et al. 2007a, 2007b)ため、その柔軟性やストレッチング効果を検討した研究が数多く報告されている(Magnusson et al. 1996, 1997など)。しかし、先行研究の多くはハムストリングス全体を一括りとして扱っており、個々の筋について詳細に検討した研究は多くない。ハムストリングス各筋の形態的特徴は大きく異なる(Woodley & Mercer 2005)ことや、スポーツによって肉離れの好発する筋が異なる(Askling et al. 2007a, 2007b)ことを考慮すると、ハムストリングス各筋を選択的にストレッチングすることが望ましいが、そのための有効なストレッチング方法はこれまでの研究で明らかとなっていない。

ハムストリングスが跨る股関節は、動きの自由度が高く3次元的に動かすことが可能である。しかし、ハムストリングスを対象としてストレッチングを実施する場合、身体の前方向(矢状面)における動き(股関節屈曲と膝関節伸展)のみが注目され、股関節の内-外旋や内-外転の影響についてはほとんど検討されていない。ハムストリングス各筋は、下腿への停止位置が異なることから、股関節の3次元的な動き(内-外旋、内-外転)によって、ハムストリングス各筋に対して選択的にストレッチングを実施することができる可能性がある。この点について、股関節の内-外旋角度が大腿二頭筋長頭および半腱様筋の力学的特性に与える影響を調べた先行研究(Umegaki et al. 2015)では、大腿二頭筋長頭の剛性率は内旋位で高い傾向が、逆に半腱様筋の剛性率は外旋位で高い傾向が示された。ただし、この研究は股関節90度屈曲位・膝関節45度屈曲位という条件で、股関節内-外旋角度の影響を調べたのみであり、股関節内-外転の影響や、股関節内-外旋と内-外転の組み合わせの影響、半膜様筋の力学的特性の変化などは調べておらず、さらなる検討の余地が残されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、肉離れが好発するハムストリングス(大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋)を対象として、股関節内-外旋角度および内-外転角度が各筋の力学的特性に及ぼす影響について検討することとした。

3. 研究の方法

(1) 対象者

研究を開始する前に研究計画書を作成し、研究代表者の所属機関における「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会の審査を受け、承認を得た。下肢に整形外科的疾患のない健康な成人男性20名(年齢: 20.9 ± 1.5 歳、身長: 172.7 ± 5.8 cm、身体質量: 63.5 ± 7.3 kg)を、本研究の対象者とした。各対象者に本研究の目的や内容、実験に伴う負担やリスク、個人情報の取り扱い等について説明し、研究参加に対する同意を書面で得た。

(2) 実験セットアップ

対象者を実験台の上に座らせ、股関節30度屈曲位かつ膝関節完全伸展位で、股関節内-外旋角度および内-外転角度の異なる9つの姿勢をとらせた。9つの姿勢は、股関節内-外旋角度3条件

(内旋 30 度、内-外旋 0 度、外旋 30 度)と股関節内-外転角度 3 条件(内転 20 度、内-外転 0 度、外転 20 度)を組み合わせた姿勢であった。各対象者の股関節内-外旋角度および内-外転角度をセットする際は、大腿前部に貼付した無線型の慣性センサ (DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ、スポーツセンシング)を参照しながら、特別に作製した固定具を用いて足部の位置および角度を調整した。9 つの姿勢で測定を実施する順番は、対象者ごとにランダムとした。

各姿勢において、超音波診断装置 (Aixplorer, Supersonic Imagine) のせん断波エラストグラフィ機能を用いて大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋を撮像した (図 1)。対象者には、測定中に下肢をリラックスするよう指示した。また、ハムストリングス各筋の筋活動を計測するために、表面筋電図の電極 (Trigno Avanti Sensor, Delsys) を貼付した。エラストグラフィの撮像が終わった後、膝関節屈曲の等尺性最大筋力発揮を行わせた。等尺性最大筋力発揮を行わせた姿勢は、伏臥位 (うつ伏せ) で膝関節 90 度屈曲位であった。

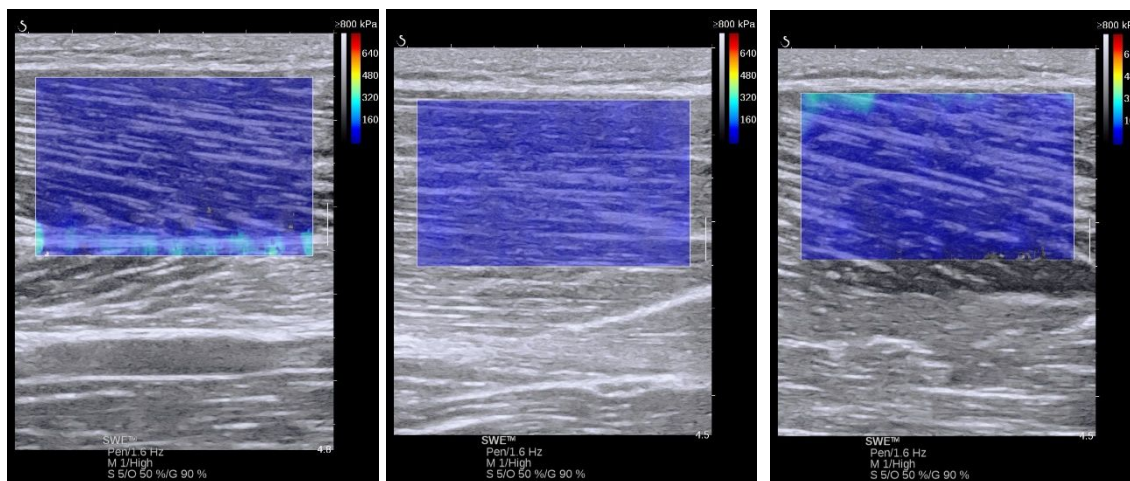


図 1 せん断波エラストグラフィの典型例

各画像のカラーで表示された領域において、ヤング率が計測されている。測定されたヤング率の値に応じて、カラーマップ (色が青に近いほどヤング率が低く[柔らかい]、赤に近いほどヤング率が高い[かたい])で表示されている。左：大腿二頭筋長頭、中央：半腱様筋、右：半膜様筋

(3) データ取得および処理

超音波診断装置のプローブをあてる位置は、先行研究 (Kawama et al. 2022) に基づいて決定した (大腿二頭筋長頭：大腿長[大転子から膝窩]の 50%、半腱様筋：大腿長の 40%、半膜様筋：大腿長の 60%)。各測定位置において、プローブを各筋の筋束の長軸方向に沿ってあてた。プローブを皮膚にあてる際は、プローブ表面に専用のジェルを塗布し、組織を圧迫しないよう注意した。各姿勢・各筋について、エラストグラフィの撮像を 3 回ずつ繰り返した。

エラストグラフィで撮像した画像において、ヤング率を計算する関心領域を設定した。このとき、対象筋以外の組織 (結合組織など) を関心領域に含まないように注意した。関心領域内におけるヤング率の平均値を算出し、ヤング率を 3 で除することにより、剛性率を算出した。剛性率とは弾性率の一種で、せん断力による変形の生じにくさを表す。剛性率の値が高いほど組織がかたく、剛性率の値が低いほど組織が柔らかいことを意味する。各姿勢・各筋における 3 回の測定値の平均値を算出し、後の解析に用いた。

無線型筋電図測定システム (Trigno Wireless System, Delsys) の表面電極を大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の皮膚表面に貼付し、表面筋電図を測定した。電極の貼付位置は、超音波装置を用いて各筋の境界を特定した上で決定した。電極貼付位置の皮膚表面を剃毛し、生体用の紙やすりで角質を除去した後、アルコール綿で清浄した。各電極は、粘着テープを用いて皮膚に固定した。筋電図信号は、デジタルデータに変換した後、2,000 Hz でコンピュータに記録した。エラストグラフィ撮像中の筋電図振幅について、二乗平均平方根 (root mean square: RMS) を求め、随意最大筋力発揮中の RMS に対する相対値を算出した。

4 . 研究成果

エラストグラフィ撮像中の筋電図の RMS は、随意最大筋力発揮中の RMS に対して、いずれの筋でも平均値で 3% 未満であった。この結果は、エラストグラフィの撮像中に、対象者がハムストリングス各筋をリラックスできていたことを示唆する。

大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は、いずれも股関節内-外転角度の有意な影響を受けることが示された。すなわち、各筋の剛性率は、内転位または中間位に比べて外転位で高かった。また、股関節内-外旋角度が筋の剛性率に与える影響は、半腱様筋・半膜様筋と大腿二頭筋長頭で異なった。すなわち、大腿の内側に位置する半腱様筋・半膜様筋の剛性率は、内旋位または中間位に比べて外旋位で高かった。一方、大腿の外側に位置する大腿二頭筋長頭の剛性率

は、股関節内-外旋による有意な影響が認められなかった。股関節内-外旋角度の影響については、先行研究 (Umegaki et al. 2015) と若干の相違が認められた。この要因として、測定時の股関節および膝関節における屈曲角度の相違 (本研究: 股関節 30 度屈曲位・膝関節完全伸展位、Umegaki et al.: 股関節 90 度屈曲位・膝関節 45 度屈曲位) が考えられる。一方、股関節内-外転角度がハムストリングス各筋の剛性率に及ぼす影響は、我々の知る限り、先行研究で報告されておらず、本研究で得られた新たな知見である。

一般的に、ハムストリングスのストレッチングは、股関節屈曲と膝関節伸展を組み合わせる実施することが多い。先行研究 (Miyamoto et al. 2017) では、股関節 120 度屈曲位で行う膝関節伸展によるストレッチングと、膝関節完全伸展位で行う股関節屈曲によるストレッチングが、ハムストリングス各筋の剛性率に与える影響が検討されている。その結果、股関節屈曲位で膝関節を伸展させるストレッチングでは、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率が減少したものの、膝関節伸展位で股関節を屈曲させるストレッチングでは、半腱様筋・半膜様筋の剛性率が減少した一方で、大腿二頭筋長頭の剛性率に有意な変化は認められなかった。この研究 (Miyamoto et al. 2017) では股関節内-外転角度および内-外旋角度の影響は検討されていないが、本研究の結果から、股関節の内-外転角度もハムストリングスのストレッチングにおいて考慮すべきであることが示唆された。加えて、股関節の内-外旋角度を調整することで、内側・外側に位置するハムストリングスを選択的に伸ばすことができる可能性が示された。

以上より、大腿二頭筋長頭、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は股関節外転位で高く、半腱様筋、半膜様筋の剛性率は股関節外旋位で高いことが示された。こうした影響を考慮したストレッチングがハムストリングスに対して有効である可能性が示唆された。

< 引用文献 >

Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during high-speed running: a longitudinal study including clinical and magnetic resonance imaging findings. *Am J Sports Med.* 2007a, 35(2): 197-206.

Askling CM, Tengvar M, Saartok T, Thorstensson A. Acute first-time hamstring strains during slow-speed stretching: clinical, magnetic resonance imaging, and recovery characteristics. *Am J Sports Med.* 2007b, 35(10): 1716-1724.

Eby SF, Song P, Chen S, Chen Q, Greenleaf JF, An KN. Validation of shear wave elastography in skeletal muscle. *J Biomech.* 2013, 46(14): 2381-2387.

Kawama R, Yanase K, Hojo T, Wakahara T. Acute changes in passive stiffness of the individual hamstring muscles induced by resistance exercise: effects of contraction mode and range of motion. *Eur J Appl Physiol.* 2022, 122(9): 2071-2083.

Lauersen JB, Bertelsen DM, Andersen LB. The effectiveness of exercise interventions to prevent sports injuries: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med.* 2014, 48(11): 871-877.

Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Sørensen H, Kjaer M. A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J Physiol.* 1996, 497(1): 291-298.

Magnusson SP, Simonsen EB, Aagaard P, Boesen J, Johannsen F, Kjaer M. Determinants of musculoskeletal flexibility: viscoelastic properties, cross-sectional area, EMG and stretch tolerance. *Scand J Med Sci Sports.* 1997, 7(4): 195-202.

Miyamoto N, Hirata K, Kanehisa H. Effects of hamstring stretching on passive muscle stiffness vary between hip flexion and knee extension maneuvers. *Scand J Med Sci Sports.* 2017, 27(1): 99-106.

Umegaki H, Ikezoe T, Nakamura M, Nishishita S, Kobayashi T, Fujita K, Tanaka H, Ichihashi N. The effect of hip rotation on shear elastic modulus of the medial and lateral hamstrings during stretching. *Man Ther.* 2015, 20(1): 134-137.

Woodley SJ, Mercer SR. Hamstring muscles: architecture and innervation. *Cells Tissues Organs.* 2005, 179(3): 125-141.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Suzuki R, Hashimoto K, Sakamoto R, Murakami T, Wakahara T, Yanase K.
2. 発表標題 Hip abduction is effective for stretching the individual hamstring muscles.
3. 学会等名 The 28th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2023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
研究分担者	築瀬 康 (Yanase Ko) (80906561)	同志社大学・スポーツ健康科学部・助教 (34310)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------