

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04005

研究課題名（和文）肉離れが好発する筋・部位・個人の特徴解明に基づく効果的予防策構築のための基盤創出

研究課題名（英文）Establishment of effective injury prevention programs for muscle strain

研究代表者

宮本 直和（Miyamoto, Naokazu）

順天堂大学・スポーツ健康科学部・先任准教授

研究者番号：20420408

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、(A)肉離れが好発する筋・部位の特徴解明、(B)肉離れ好発部位の特徴と肉離れ受傷との直接的関連性の検証、(C)肉離れ受傷リスク因子に影響を及ぼす遺伝子多型の同定を目的とした。その結果、超音波剪断波エラストグラフィによって評価した大腿二頭筋長頭スティフネス（剛性率）が当該筋の肉離れ受傷リスクである可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、ハムストリングの筋力や柔軟性（関節可動域）が肉離れ受傷リスクとして評価・測定されているが、それらの評価ではなぜ大腿二頭筋に肉離れが好発するのか説明ができない。超音波剪断波エラストグラフィで個々の組織（筋）の特性を評価することによって、従来よりも高い精度で肉離れ受傷リスクを評価・検出できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The purposes of the present study were to (A) elucidate the characteristics of muscles and sites prone to muscle strains, (B) examine the direct relationship between the characteristics of these prone sites and the occurrence of muscle strains, and (C) identify genetic polymorphisms that affect risk factors for muscle strain injuries. The results suggest that stiffness of the long head of the biceps femoris, assessed using ultrasound shear wave elastography, may be a risk factor for muscle strain injuries in the muscle.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：肉離れ 骨格筋 スティフネス 予防 超音波 エラストグラフィ

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、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本人アスリートの国際大会等での活躍は、日本国民に喜びや感動・夢などをもたらす。アスリートのパフォーマンス向上を考える場合、パフォーマンス向上に好適なトレーニングを実施・継続することは重要であるが、肉離れやアキレス腱断裂などのスポーツ傷害受傷はトレーニングの継続や競技人生に大きな影響を及ぼすため、傷害予防も考慮する必要がある。実際、過去のオリンピック等では、メダル獲得を期待される有力選手が大会直前にスポーツ傷害を受傷することによって、思うようなパフォーマンスを発揮できない場面や、大会出場すら断念せざるを得ないと状況も散見されてきた。したがって、効果的なスポーツ傷害予防策を構築することは、アスリートの競技力向上にとっても重要な役割を果たすと言える。

様々なスポーツ傷害の中で最も発症頻度が高いのは肉離れである。肉離れはスプリント走の加速・減速、急な方向転換、跳躍・着地などの際に多発する。したがって、様々な競技種目のアスリートが肉離れのリスクに直面していると言える。肉離れは一度受傷すると復帰までに1~3ヶ月程度の期間を要し、アスリートがパフォーマンスを元のレベルに戻すためにはさらなる期間を要する。また、重症度によってはアスリートが引退に追い込まれるだけではなく、運動愛好家においても日常生活に支障を来すことがある。そのため、現在スポーツの現場では、肉離れ予防を狙いとした様々なプログラムが実施されている。しかし、スポーツ現場における肉離れの受傷率は2001年からの年間に約4%ずつ増加し続けおり、また、肉離れの再発率は約20%と高い。したがって、現在行われている肉離れ予防プログラムの効果は乏しく、科学的根拠に基づく効果的な肉離れ予防策の構築が急務であると言わざるを得ない状況である。

効果的な肉離れ予防策が構築できていない理由として、詳細な肉離れ受傷リスク因子が未解明であることが挙げられる。例えば、「長座体前屈などで評価される関節可動域が乏しいアスリートは肉離れの受傷率が高い」と報告する前向きコホート研究がある一方、「関節可動域と肉離れ受傷率との間には関連がない」と報告する前向きコホート研究もある。この見解の不一致の理由としては、関節可動域が、肉離れ受傷に直接関係していると考えられる骨格筋や腱の柔軟性を反映しているわけではなく、それら以外の要因の影響を強く受け、特に女性においては骨格筋の柔軟性と関節可動域には関連がないためであると考えられる。したがって、科学的根拠に基づく効果的な肉離れ予防策の構築には、関節可動域などの多要因性の評価項目による検討ではなく、肉離れ受傷に直接関連し得る骨格筋や腱などの組織レベルに着目した受傷リスク因子の解明が必要であると言える。

一方、肉離れはどの骨格筋においても好発するわけではなく、下肢では、大腿後面にあるハムストリングや大腿前面にある大腿直筋、下腿後面にある腓腹筋など、二つの関節をまたがる二関節筋において好発する。肉離れは伸張性収縮時に生じるという見解が多いが、この理由では、なぜ肉離れが特定の骨格筋、特定の部位にて好発するのかについて説明できない。

また、肉離れの受傷リスクには個人差が存在し、同じ競技やトレーニングを行っていても、肉離れを受傷しやすい人と受傷しにくい人が存在し、この個人差には遺伝的要因が関わっている可能性が高い。ここ2~3年、スポーツ傷害の遺伝的要因について検討した論文が散見されるようになり、申請者らもスポーツ傷害に関連する遺伝的要因の解明に向けた研究を推進している。しかし、上記の通り、肉離れ受傷リスク因子については未解明であるため、肉離れ受傷リスクの個人差を生み出す遺伝的要因についても説明できるには至っていない。

2. 研究の目的

上記の背景から、そこで本研究では、科学的根拠に基づく効果的な肉離れ予防の基本策、且つ、個々人の特徴に好適なカスタムメイド型予防策を構築するための学術的基盤を創出することを目的とした。本研究では、一つ一つの筋や腱など組織レベルの力学的特性を評価するにあたり、超音波剪断波エラストグラフィを用いた。超音波剪断波エラストグラフィとは、超音波を利用して生体軟組織の硬さ(伸びにくさ)を直接的かつ非侵襲的に測定することのできるイメージング技術のことである(図1)。我々は、肉離れの受傷リスクを同定するためにはまず関節柔軟性の規定因子を解明する必要があり、そのためには、エラストグラフィの技術を用いることで一つ一つの筋肉や腱の硬さ(伸びにくさ)を評価できるのではないかと、また、関節柔軟性の規定因子を明らかにすることができるのではないかとという着想から、この技術を用いて下記3点について実施した。

(A) 肉離れが好発する筋・部位の特徴解明

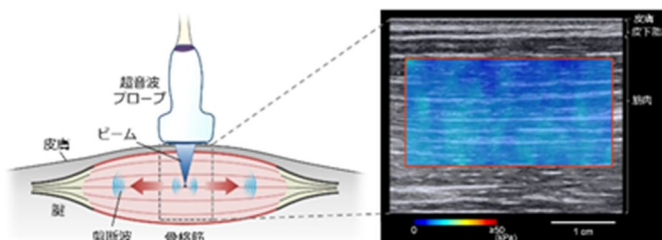


図1. 超音波せん断波エラストグラフィの測定原理概要および測定画像典型例

- (B) 肉離れ好発部位の特徴と肉離れ受傷との直接的関連性の検証
- (C) 肉離れ受傷リスク因子に影響を及ぼす遺伝子多型の同定

3. 研究の方法

(A-1) 実験 1 では、13 名の健康な若年男性を対象に、ハムストリングを構成する大腿二頭筋長頭 (BFH)、半腱様筋 (ST)、半膜様筋 (SM) の各筋のスティフネス (伸びにくさ) を計測した。ハムストリングは膝関節と股関節を跨ぐ二関節筋であるため、膝関節伸展または股関節屈曲によって伸張される。したがって実験 1 では、膝関節伸展と股関節屈曲の 2 つの課題において、各筋のスティフネスを超音波剪断波エラストグラフィを用いて評価した。膝関節伸展課題では、被験者は仰臥位で股関節 90° 屈曲位で固定した状態で、膝関節を 90° 屈曲させた状態から伸展させた。股関節屈曲課題では、被験者の膝関節を完全に伸展させた状態で股関節を屈曲させた。いずれの課題においても、被験者が痛みを感じる角度まで 2°/秒の速度で受動的に回旋させ、最大可動域 (ROM) を測定した。スタート位置を「屈曲位」、ROM の 80% に相当する角度を「伸張位」とし、屈曲位および伸張位の 2 姿勢において、各筋の遠位部・中央部・近位部のスティフネス (計 9 箇所) を評価した。

(A-2) 実験 2 では、18 名の健康な若年男性を対象に、ストレッチングが筋内部位差に及ぼす影響について検討した。実験 1 とほぼ同様の手順で筋スティフネスを測定したが、ストレッチングの効果が消失するまでにスティフネス測定を終える必要があるため、筋スティフネスの測定対象は SM の近位および遠位部位のみとした。実験 1 の膝関節屈曲課題と同様に、被験者が痛みを感じる角度まで、股関節 90° 屈曲位において膝関節を受動的に伸展させ、その肢位にて静的ストレッチを 90 秒間 5 回繰り返しました (各ストレッチ間の休息: 30 秒)。ストレッチ前後に、伸張位にて SM の近位部および遠位部の筋スティフネスを計測した。

(A-3) 筋収縮時の筋スティフネスの筋内部位差や近位腱膜のひずみの部位差が、大腿二頭筋長頭の肉離れ好発部位と関連があるかどうかについて検討した。

(B-1) プロサッカー選手を対象に、プレシーズン・インシーズン序盤・インシーズン中盤・インシーズン終盤の計 4 回、肉離れ好発部位である大腿二頭筋の筋スティフネスを測定した。筋スティフネスの測定には超音波剪断波エラストグラフィを用いた。

(B-2) 片脚にのみ大腿二頭筋 (ハムストリング構成筋の 1 つ) 肉離れ既往歴がある男性大学陸上競技選手 10 名を対象に、関節可動域、大腿二頭筋スティフネス、大腿二頭筋筋膜スティフネスが肉離れ既往歴がある脚とない脚とで異なるかどうかについて検討した。筋および筋膜スティフネスの測定には超音波剪断波エラストグラフィを用いた。

(C) XXII 型コラーゲンが肉離れ好発部位である筋腱接合部に特異的に発現することに着目し、XXII 型コラーゲン -1 鎖遺伝子 (COL22A1) の mRNA 発現に関連する一塩基多型 (SNPs) が、スポーツ選手における筋損傷の感受性に関連するという仮説を検討した。日本人アスリート約 3000 名を対象に、質問票を用いて筋損傷の既往歴を評価し、COL22A1 の 2 つの発現量特性を解析した。また、エストロゲン受容体遺伝子 (ESR1) の多型が肉離れ受傷および筋スティフネスに及ぼす影響について検討した。さらに、I 型コラーゲンの遺伝子多型が筋スティフネスや肉離れ受傷に及ぼす影響について検討した。

4. 研究成果

(A-1) 股関節屈曲課題では、測定姿勢、対象筋、測定部位で有意な交互作用があった。短縮位置では、ST の筋スティフネスは遠位部>中間部>近位部の順で有意に高かった。伸張位置では、対象筋および測定部位の主効果が見られ、SM が BFH および ST よりも有意に高く、近位部よりも中間部および遠位部で有意に高かった。短縮位と伸張位の筋スティフネス変化率についても、対象筋および測定部位の主効果が見られ、SM が BFH および ST よりも有意に大きく、近位部よりも中間部および遠位部で有意に小さいことが分かった。

(A-2) 筋スティフネスは、時間および測定部位の交互作用があった。ストレッチング前およびストレッチング後いずれにおいても、SM の筋スティフネスは遠位部が近位部よりも有意に高く、両部位ともにストレッチング後に有意に減少した。ストレッチング前からストレッチング後の変化量は、遠位部が近位部よりも有意に大きかった。しかし、変化率にて比較すると近位部と遠位部の間に有意な差は見られなかった。

(A-3) 筋収縮時の筋スティフネスや近位腱膜のひずみの部位差パターンには個人差があるが、統計的にどの部位が硬いということはないことが明らかとなり、肉離れ好発部位とは関連がなさそうであることが分かった。

(B-1) インシーズン中盤やインシーズン終盤ではプレシーズンおよびインシーズン序盤に比べ大腿二頭筋長頭のスティフネスは高値を示した。また、この測定期間中に肉離れを受傷した選手の筋スティフネス変化パターンは、肉離れ受傷をしなかった者と異なる傾向を示した。

(B-2) 関節可動域については既往歴の有無による違いはみられなかった。一方、大腿二頭筋の筋スティフネスおよび筋膜スティフネスについては、大腿二頭筋肉離れ既往歴がある脚が既往歴がない脚よりも有意に高い (すなわち、筋および筋膜は硬い) ことが明らかとなった。

(C) 筋腱接合部における COL22A1 の発現量がアスリートの筋損傷リスクに影響することが示された。また、エストロゲン受容体の遺伝子多型や I 型コラーゲンの遺伝子多型が、筋スティフネスおよび肉離れ受傷に関連することが明らかとなった。さらに、筋スティフネスを規定する遺

伝子多型は肉離れ受傷に影響を及ぼすこと、および、筋ステイフネスが高いことは肉離れ受傷リスクが高いことである可能性が示唆される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 11件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Miyamoto Naokazu, Hirata Kosuke	4. 巻 31
2. 論文標題 Site specific features of active muscle stiffness and proximal aponeurosis strain in biceps femoris long head	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	6. 最初と最後の頁 1666 ~ 1673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.13973	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Maeda Akifumi, Yamagishi Maito, Otsuka Yuta, Izumo Takayuki, Rogi Tomohiro, Shibata Hiroshi, Fukuda Masahiro, Arimitsu Takuma, Yamada Yosuke, Miyamoto Naokazu, Hashimoto Takeshi	4. 巻 18
2. 論文標題 Characteristics of the Passive Muscle Stiffness of the Vastus Lateralis: A Feasibility Study to Assess Muscle Fibrosis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 8947 ~ 8947
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph18178947	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 Noro Hiroaki, Miyamoto Naokazu, Mitsukawa Naotoshi, Yanagiya Toshio	4. 巻 42
2. 論文標題 No Association of Plantar Aponeurosis Stiffness with Medial Longitudinal Arch Stiffness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 945 ~ 949
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-1373-5734	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 MIYAMOTO-MIKAMI ERI, MIYAMOTO NAOKAZU, et al.	4. 巻 53
2. 論文標題 Female Athletes Genetically Susceptible to Fatigue Fracture Are Resistant to Muscle Injury: Potential Role of COL1A1 Variant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise	6. 最初と最後の頁 1855 ~ 1864
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000002658	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 Hirata Kosuke, Kanehisa Hiroaki, Miyamoto Naokazu	4. 巻 16
2. 論文標題 Association between medial gastrocnemius muscle-tendon unit architecture and ankle dorsiflexion range of motion with and without consideration of slack angle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0248125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0248125	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 Miyamoto Naokazu, Kimura Noriko, Hirata Kosuke	4. 巻 30
2. 論文標題 Non uniform distribution of passive muscle stiffness within hamstring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	6. 最初と最後の頁 1729 ~ 1738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.13732	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyamoto-Mikami Eri, Kumagai Hiroshi, Kikuchi Naoki, Kamiya Nobuhiro, Miyamoto Naokazu, Fuku Noriyuki	4. 巻 52
2. 論文標題 eQTL variants in COL22A1 are associated with muscle injury in athletes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiological Genomics	6. 最初と最後の頁 588 ~ 589
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/physiolgenomics.00115.2020	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 Miyamoto Naokazu, Hirata Kosuke	4. 巻 40
2. 論文標題 Moderate Associations of Muscle Elasticity of the Hamstring with Hip Joint Flexibility	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine	6. 最初と最後の頁 717 ~ 724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/a-0981-7282	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyamoto Naokazu, Kimura Noriko, Hirata Kosuke	4. 巻 30
2. 論文標題 Non uniform distribution of passive muscle stiffness within hamstring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports	6. 最初と最後の頁 1729 ~ 1738
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.13732	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yamashita Daichi, Hirata Kosuke, Yamazaki Kazuhiko, Mujika Inigo, Miyamoto Naokazu	4. 巻 18
2. 論文標題 Effect of two weeks of training cessation on concentric and eccentric knee muscle strength in highly trained sprinters	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0288344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0288344	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 該当する

1. 著者名 Miyamoto Naokazu, Yamazaki Kazuhiko, Iwasaki Takafumi, Mujika Inigo, Yamashita Daichi, Hirata Kosuke	4. 巻 in press
2. 論文標題 Biceps femoris long head stiffens after 2 weeks of training cessation in highly trained sprinters	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology	6. 最初と最後の頁 in press
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計0件

〔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	福 典之 (Fuku Noriyuki) (40392526)	順天堂大学・スポーツ健康科学部・先任准教授 (32620)	

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			
スペイン	University of the BasqueCountry			
チリ	Universidad Finis Terrae			