

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：32620

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03233

研究課題名(和文) 関節柔軟性の規定因子の解明とセミテラーメイド型肉離れ予防ストレッチング法の確立

研究課題名(英文) Elucidation of determinants of joint flexibility and establishment of custom-made stretching method to prevent muscle strains

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・准教授

研究者番号：20420408

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人間生体組織の硬さを直接的かつ非侵襲的に測定できる超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって、以下のことを明らかにした。1) 関節可動域と筋肉の硬さ(伸びにくさ)には関連があるが、その関係は決して強くなく、関節可動域による評価では筋肉の硬さ(伸びにくさ)を適切に評価できない。2) 男性の筋肉は女性の筋肉よりも硬い。3) ストレッチによって対象とする全ての筋肉が軟らかくなるわけではない。4) 筋肉の硬さは遺伝要因の影響を受ける。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スポーツの現場においては、肉離れ予防効果を期待してストレッチ運動が頻繁におこなわれているが、実際にはその効果は乏しい。肉離れ受傷に直接関連しうる一つの筋肉の硬さ(伸びにくさ)を定量した上で、それに対するストレッチの効果や遺伝要因の影響を明らかにしている本研究の成果は、個人個人の特徴に合わせた肉離れ予防プログラムの開発に繋がる知見である。

研究成果の概要(英文)：In this study, we used ultrasound shear wave elastography that can noninvasively and directly quantify the stiffness of biological tissues in vivo, and demonstrated the following: 1) joint flexibility (e.g., range of motion) can reflect significantly but only weakly-to-moderately the muscle stiffness, 2) muscle stiffness is higher in men than women, 3) stretching exercise cannot necessarily reduce the stiffness of all muscles targeted, and 4) muscle stiffness is partly influenced by genetic factors.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：柔軟性 関節可動域 筋スティフネス 遺伝子多型

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

日常生活において「硬い/軟らかい筋肉」などと表現され、また多くの人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肉や腱は、運動や加齢などによってその硬さ(伸びにくさ)が変化する。硬くなった筋肉や腱は、それらがまたがる関節の柔軟性を損ね、肉離れなどの傷害発生に繋がり得る。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は、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運動が頻繁におこなわれている。

ストレッチ運動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、その理由としては、筋肉や腱の軟らかく(伸びやすく)なるからではなく、ストレッチ運動実施時に痛みなどに対して強くなるからであるという見解が圧倒的に多い。すなわち、ストレッチをおこなう前に「痛い」と感じた関節角度が、ストレッチ運動中およびストレッチ運動後には「痛い」と感じなくなり、その結果として関節可動域が広がるというわけである。このことは、運動前におこな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、むしろ傷害発生リスクを増加させることにもなり得る。実際、ストレッチに依る肉離れ予防効果に関する科学的根拠は乏しく、運動前にストレッチをおこなっても効果的に肉離れ受傷を予防できていないのが実状である。

これまでの研究で用いられている関節柔軟性や筋肉・腱の硬さ(伸びにくさ)の評価法には大きな問題点がある。これまで関節柔軟性を評価する際には、関節可動域や関節受動抵抗などの測定がおこなわれてきたが、これらの計測値は、筋肉や腱以外にも、靭帯や関節包、アライメントなどの組織が影響を及ぼすため、筋肉や腱自体の硬さ(伸びにくさ)を評価できておらず、また、筋肉と腱とを区別した評価もできていない。別の評価法として体表面からの触診や押込式の筋硬度計による評価もある。しかしながら、それらは筋肉の凹みにくさを評価しているに過ぎず、伸びにくさを評価できていない。すなわち、従来の方法では、関節柔軟性の規定因子を明らかにできておらず、また、肉離れ受傷と直接関連があると考えられる筋肉や腱の硬さ(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(超音波剪断波エラストグラフィ)が開発された。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という着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では、関節柔軟性の規定因子を明らかにすべく、以下の3つの点について検討することを目的とした。

- 下腿三頭筋(足関節底屈筋)およびハムストリング(股関節伸展筋・膝関節屈曲筋)を対象に、一つ一つの筋肉および腱の硬さ(伸びにくさ)を定量し、関節柔軟性との関連を明らかにすること
- ストレッチが各筋肉および腱の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響を明らかにすること
- 性や月経周期、遺伝要因(遺伝子多型)が筋肉の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響を明らかにすること

3. 研究の方法

A. 個々の筋肉の硬さ(伸びにくさ)の同定および関節可動域との関連

(A-1) 下腿三頭筋を対象とした実験では、若年の男性および女性を対象に、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって腓腹筋内側頭・腓腹筋外側頭・ヒラメ筋の硬さ(伸びにくさ)を測定した。また、足関節の背屈可動域を測定した。また、女性については、性周期フェーズの影響についても検討するため、卵胞期・排卵期・黄体期において筋肉の硬さ(伸びにくさ)について測定をした。

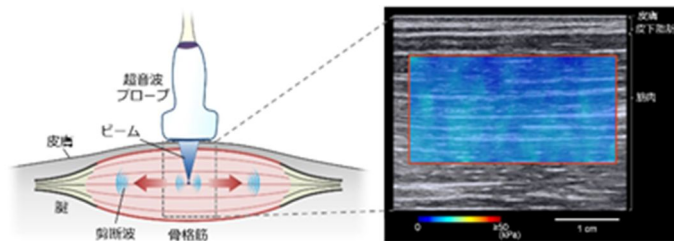


図1. 超音波せん断波エラストグラフィの測定原理概要および測定画像典型例

(A-2) ハムストリングを対象とした実験では、若年男性を対象に、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって大腿二頭筋長頭・半腱様筋・半膜様筋の硬さ(伸びにくさ)を測定した。また、膝関節完全伸展位における股関節の屈曲可動域を測定した。

B. ストレッチが筋肉の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響

(B-1) 下腿三頭筋を対象とした実験では、若年の男性を対象に、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって、ストレッチ前後に腓腹筋内側頭・腓腹筋外側頭・ヒラメ筋の硬さ(伸びにくさ)を測定した。

(B-2) ハムストリングを対象とした実験では、若年男性を対象に、超音波剪断波エラストグラフィを用いることによって、ストレッチ前後に大腿二頭筋長頭・半腱様筋・半膜様筋の硬さ(伸びにくさ)を測定した。なお、ハムストリングは、(i)膝関節完全伸展位における股関節屈曲と(ii)股関節屈曲位における膝関節伸展の2通りによってストレッチが可能であるため、この2つの方法による違いについても検討した。

C. 遺伝要因(遺伝子多型)が筋肉の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響

(C-1) 若年男性を対象に、 α アクチニン3遺伝子(*ACTN3*)多型(RR型・RX型・XX型)とハムストリングの硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した。

(C-2) 若年男性を対象に、V型コラーゲン遺伝子(*COL5A1*)多型とハムストリングの硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した。

(C-3) 若年の男性および女性を対象に、エストロゲン受容体遺伝子(*ESR1*)多型(TT型・TC型・CC型)とハムストリングの硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した。

4. 研究成果

A. 個々の筋肉の硬さ(伸びにくさ)の同定および関節可動域との関連

(A-1) 下腿三頭筋を対象とした実験

足関節を受動的に背屈させた際(いわゆる”アキレス腱伸ばし”をした際)、腓腹筋内側頭>腓腹筋外側頭>ヒラメ筋の順に硬く、この順にストレッチ時にテンションが掛かっていることが明らかとなった。

男女間で各筋肉の硬さ(伸びにくさ)の比較をおこなったところ、筋肉にテンションが掛かっている際の腓腹筋内側頭および外側頭は男性よりも女性で軟らかい(伸びやすい)ことが明らかとなった。

関節可動域と筋肉の硬さ(伸びにくさ)との関連について検討をおこなったところ、男性では、最も硬い(伸びにくい)筋肉である腓腹筋内側頭が軟らかい者ほど可動域が大きく、腓腹筋外側頭やヒラメ筋の硬さ(伸びにくさ)は関節可動域とは関連がなかった。また、腓腹筋が伸ばされることによる耐性(ストレッチ耐性)が高い者ほど関節可動域が大きいことも明らかとなった。一方、女性では、関節可動域はいずれの筋肉の硬さ(伸びにくさ)とも関連がなく、下腿三頭筋各筋のストレッチ耐性が高い者ほど関節可動域が大きいことが明らかとなった。すなわち、男性と女性では、少なくとも足関節においては関節可動域の規定因子が異なることが明らかとなった。

また、女性を対象に性周期フェイズの影響を検討したところ、フェイズによる筋肉の硬さに違いはみられなかった。これまで、エストロゲンやプロゲステロンなどの女性ホルモンの濃度は、筋肉の硬さ(伸びにくさ)に影響を及ぼすと考えられてきたが、これはあくまで長期的な影響であって、少なくとも性周期内での変化は生じないことが示唆された。

(A-2) ハムストリングを対象とした実験

ハムストリングの柔軟性を表すと考えられている長座体前屈や下肢伸展挙上(Straight Leg Raise: SLR)テストのスコアとハムストリング各筋の硬さ(伸びにくさ)との間には有意な負の相関関係がみられ、ハムストリング各筋が軟らかい(伸びやすい)者ほど柔軟性に富んでいることが明らかとなった。しかしながら、相関係数は決して高くなく(相関係数の絶対値は0.308以下)、長座体前屈や下肢伸展挙上テストによる評価では適切にハムストリングの硬さ(伸びにくさ)を評価できていないことがわかった。

B. ストレッチが筋肉の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響

(B-1) 下腿三頭筋を対象とした実験

膝関節完全伸展位における足関節背屈ストレッチ(いわゆる”アキレス腱伸ばし”)によって、腓腹筋内側頭は軟らかくなる一方、腓腹筋外側頭やヒラメ筋に対する効果は認められなかった。また、アキレス腱についてはストレッチによって”弛み”が生じるものの硬さ(伸びにくさ)には影響が無いことが明らかとなった。

(B-2) ハムストリングを対象とした実験

膝関節完全伸展位における股関節屈曲ストレッチをおこなった場合、半腱様筋および半膜様筋は軟らかくなったが、大腿二頭筋長頭についてはストレッチ効果が認められなかった。一方、股関節屈曲位における膝関節伸展ストレッチをおこなった場合、大腿二頭筋長頭・半腱様筋・半膜様筋すべてにおいてストレッチ効果(硬さの低下)がみられた。この結果は、肉離れ好発筋である大腿二頭筋長頭を軟らかくするには、一般的におこなわれている膝関節完全伸展位における股関節屈曲によるストレッチ(長座体前屈など)ではなく、股関節屈曲位における膝関節伸展によるストレッチをおこなうべきであることを示唆している。

C. 遺伝要因(遺伝子多型)が筋肉の硬さ(伸びにくさ)に及ぼす影響

(C-1) *ACTN3* 多型

“アスリート遺伝子”とも呼ばれる *ACTN3* 遺伝子の多型に着目し、ハムストリングの硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した結果、RR型・RX型の人の筋肉はXX型の人の筋肉よりも硬いことが明らかとなった。

(C-2) *COL5A1* 多型

筋肉の硬さ(伸びにくさ)の影響因子の一つとしてコラーゲン性筋内結合組織があり、それを制御する遺伝子としてV型コラーゲン1鎖(*COL5A1*)遺伝子がある。そこで、*COL5A1* 遺伝

子の多型とハムストリングの硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した結果、関連はみられなかった。

(C-3) *ESR1* 多型

女性ホルモンであるエストロゲンが筋肉の硬さ(伸びにくさ)に影響を及ぼす可能性が報告されており、また、エストロゲンの働きは特異的な受容体(エストロゲン受容体)遺伝子(*ESR1*)の多型(TT型・TC型・CC型)によって調節されることから、エストロゲン受容体の遺伝子多型に着目し、筋肉の硬さ(伸びにくさ)との関連について検討した。その結果、Cの塩基を有する人(TC型・CC型)の筋肉はTT型の人よりも軟らかい(伸びやすい)ことが明らかとなった。

以上C-1～C-3の結果は、筋肉の硬さは遺伝要因が影響していることを示している。

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 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Miyamoto Naokazu, Miyamoto-Mikami Eri, Hirata Kosuke, Kimura Noriko, Fuku Noriyuki. | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism with passive muscle stiffness and muscle strain injury | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports | 6. 最初と最後の頁 1209 ~ 1214 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.12994 | 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, Hirata Kosuke, Kimura Noriko, Miyamoto-Mikami Eri. | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Contributions of hamstring stiffness to straight-leg-raise and sit-and-reach test scores | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine | 6. 最初と最後の頁 110 ~ 114 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0043-117411 | 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 Hirata Kosuke, Miyamoto-Mikami Eri, Kimura Noriko, Miyamoto Naokazu.. | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 No association between passive material property and cross-sectional area in human hamstring | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Physical Fitness and Sports Medicine | 6. 最初と最後の頁 35 ~ 40 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7600/jpfsm.7.35 | 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, Hirata Kosuke, Kimura Noriko, Miyamoto-Mikami Eri | 4. 巻 39 |
| 2. 論文標題 Contributions of Hamstring Stiffness to Straight-Leg-Raise and Sit-and-Reach Test Scores | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Sports Medicine | 6. 最初と最後の頁 110 ~ 114 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1055/s-0043-117411 | 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 N., Miyamoto-Mikami E., Hirata K., Kimura N., Fuku N. | 4. 巻 28 |
| 2. 論文標題 Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism with passive muscle stiffness and muscle strain injury | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports | 6. 最初と最後の頁 1209 ~ 1214 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/sms.12994 | 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 Hirata Kosuke, Kanehisa Hiroaki, Miyamoto Naokazu | 4. 巻 117 |
| 2. 論文標題 Acute effect of static stretching on passive stiffness of the human gastrocnemius fascicle measured by ultrasound shear wave elastography | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 European Journal of Applied Physiology | 6. 最初と最後の頁 493 ~ 499 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-017-3550-z | 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, Hirata Kosuke, Miyamoto-Mikami Eri, Yasuda Osamu, Kanehisa Hiroaki | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Associations of passive muscle stiffness, muscle stretch tolerance, and muscle slack angle with range of motion: individual and sex differences. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 8274 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-018-26574-3 | 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 Kumagai Hitoshi, Miyamoto-Mikami Eri, Hirata Kosuke, Kikuchi Naoki, Kamiya Nobuhiro, Hoshikawa Seigo, Zempo Hirofumi, Naito Hisashi, Miyamoto Naokazu, Fuku Noriyuki. | 4. 巻 51 |
| 2. 論文標題 ESR1 rs2234693 polymorphism is associated with muscle injury and muscle stiffness | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Medicine and Science in Sports and Exercise | 6. 最初と最後の頁 19 ~ 26 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000001750 | 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, Kumagai Hiroshi, Hirata Kosuke, Kikuchi Naoki, Zempo Hirofumi, Kimura Noriko, Kamiya Nobuhiro, Kanehisa Hiroaki, Naito Hisashi, Fuku Noriyuki. | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 COL5A1 rs12722 polymorphism is not associated with passive muscle stiffness and sports-related muscle injury in Japanese athletes | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 BMC Medical Genetics | 6. 最初と最後の頁 192 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12881-019-0928-2 | 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 2 |
| 2. 論文標題 Muscle elasticity under active conditions in humans: a methodological comparison | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Translational Sports Medicine | 6. 最初と最後の頁 138 ~ 145 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/tsm2.68 | 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, 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 - |

〔学会発表〕 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 木村範子, 平田浩祐, 宮本直和. |
| 2. 発表標題 ハムストリング各筋の近位, 中央, 遠位における筋スティフネス |
| 3. 学会等名 第72回日本体力医学会大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Miyamoto-Mikami E, Hirata K, Fuku N, Kimura N, Miyamoto N. |
| 2. 発表標題 Association analysis of ACTN3 R577X polymorphism with muscle stiffness and muscle strain injury. |
| 3. 学会等名 22nd annual Congress of European College of Sport Science (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tayashiki K, Hirata K, Ishida K, Miyamoto N. |
| 2. 発表標題 Association of hip extension torque with muscle size of hip extensors and intra-abdominal pressure. |
| 3. 学会等名 The 64th Annual Meeting of American College of Sports Medicine (国際学会) |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 平田浩祐, 宮本直和 |
| 2. 発表標題 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 |
| 3. 学会等名 日本体育学会第67回大会 |
| 4. 発表年 2016年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 宮本直和, 平田浩祐 |
| 2. 発表標題 足関節背屈可動域の個人差および性差を生み出す要因 |
| 3. 学会等名 第71回日本体力医学会大会 |
| 4. 発表年 2016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 | 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) | |