慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	硬化した筋の回復を加速させる方策 : アスリートへの実践的研究
Sub Title	A scheme to accelerate the recovery of stiff muscles : practical research on athletes
Author	稲見, 崇孝(Inami, Takayuki)
Publisher	
Publication year	2021
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2020.)
JaLC DOI	
Abstract	本研究は、筋の硬さを低減させる手法によって、硬化した筋がどのように回復(リカバリー)するかを検証するものである。成果の社会実装を見据え、可能な限り自らがコンディション管理できるストレッチングとマッサージを採用した。フルマラソン大会に参加したアスリートの硬化した筋に対してストレッチングを行った結果、ストレッチングを繰り返すことでリカバリーが加速する傾向が確認できた。またマッサージについても、関節可動域の拡大に効果の高いフォームローラーを使用したセルフマッサージも効果的であった。本研究で明らかにした知見は、自ら筋の回復を加速させ得る手法であり社会還元し得る直接的な証拠である。 This study examined the recovery of stiff muscles by the application of methods to reduce muscle stiffness. In anticipation of the social implementation of the results, we adopted methods that enabled the self-management of the condition adequately. The result of stretching the stiff muscles of athletes who participated in the full-marathon race confirmed that repeated stretching tends to accelerate recovery. Regarding massage, it was shown that self-massage using a foam roller, which is highly effective in expanding the range of motion of joints, was effective. These findings are direct evidence that their methods may accelerate the process of stiff muscle recovery.
Notes	研究種目 : 若手研究 研究期間 : 2018 ~ 2020 課題番号 : 18K17830 研究分野 : スポーツ科学
Genre	Research Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_18K17830seika

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　３ 年　 ５ 月 ２１ 日現在

機関番号：３２６１２
研究種目：若手研究
研究期間：2018～2020
課題番号：１８Ｋ１７８３０

研究課題名（和文）硬化した筋の回復を加速させる方策　アスリートへの実践的研究

研究課題名（英文）A scheme to accelerate the recovery of stiff muscles -Practical research on athletes-

研究代表者
稲見　崇孝（Takayuki, Inami）

慶應義塾大学・体育研究所（日吉）・講師

研究者番号：１０７５００８６

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）：本研究は、筋の硬さを低減させる手法によって、硬化した筋がどのように回復(リカバリー)するかを検証するものである。成果の社会実装を見据え、可能な限り自らがコンディション管理できるストレッチングとマッサージを採用した。フルマラソン大会に参加したアスリートの硬化した筋に対してストレッチングを行った結果、ストレッチングを繰り返すことでリカバリーが加速する傾向が確認できた。またマッサージについても、関節可動域の拡大に効果の高いフォームローラーを使用したセルフマッサージも効果的であった。本研究で明らかにした知見は、自ら筋の回復を加速させ得る手法であり社会還元し得る直接的な証拠である。

研究成果の学術的意義や社会的意義
健康維持増進のために行う走る市民ランナーは推計964万人とされるが、ジョギングやランニングによって骨格筋は一時的に硬化し、フルマラソンなどでは1週間が経過してもなお回復しない筋もある。本研究は、この回復を加速させる方法を探るものであった。セルフで実施可能なストレッチングやフォームローラーは硬さを低減させる可能性があった。損失した水分を補うとともに適切なケアを欠かさなければ、回復は加速できる。

研究成果の概要（英文）：This study examined the recovery of stiff muscles by the application of methods to reduce muscle stiffness. In anticipation of the social implementation of the results, we adopted methods that enabled the self-management of the condition adequately. The result of stretching the stiff muscles of athletes who participated in the full-marathon race confirmed that repeated stretching tends to accelerate recovery. Regarding massage, it was shown that self-massage using a foam roller, which is highly effective in expanding the range of motion of joints, was effective. These findings are direct evidence that their methods may accelerate the process of stiff muscle recovery.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：筋の硬さ　リカバリー　水分量　ストレッチング　マッサージ

※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。

１．研究開始当初の背景

(1) 近年、筋の硬さは超音波エラストグラフィ法を用いることによって従来指標では不可能であった生体内での硬さの位置情報を取得できるようになった。この方法は、非侵襲的かつ定量的な評価を可能としている。

(2) 安静時の筋の硬さを低減させる方法としてストレッチングやマッサージがあり、これまでにその有効な強度や時間について実証してきた。

(3) この実証した知見をアスリートの練習や試合で酷使され硬くなった筋に応用し、リカバリー過程の違いの検証や身体運動能力（パフォーマンス）への影響については明確化されておらず、検証する余地がある。

２．研究の目的

本研究では、一時的に硬化した筋の回復（リカバリー）がストレッチングなどの手技によって加速するかどうかの検証を目的とした。具体的には、硬くなった筋の回復が加速するか、その際の回復プロセスに部位特異的な変化が生じるかどうかについても検討を加えた。また、硬くなった筋が付着する骨や関節にも生じるスポーツ障害、ならびに関与する筋が発揮するパフォーマンスとの関係性と、これらを構成するに至る身体組成の影響についても要因に含めた。

３．研究の方法

研究をステージ分けし、段階的に実施した。具体的には、筋の硬さ低減を狙ったストレッチングにおいて使用するストレッチングの装置に関する開発（1）と、これを用いた幾つかの実験（2)、そして実験結果に影響を与える要因の多角的な検討（3)、の３ステージにて構成した。（2）および（3）で用いる筋の硬さ評価には図１の超音波エラストグラフィ装置を用いた。図１の右図に示すように､装置のプローブから照射される超音波せん断波が正確に伝搬する際(図では等高線のように表示)、画像上にて骨格筋の硬さを 1㎜ 単位で定量できる。

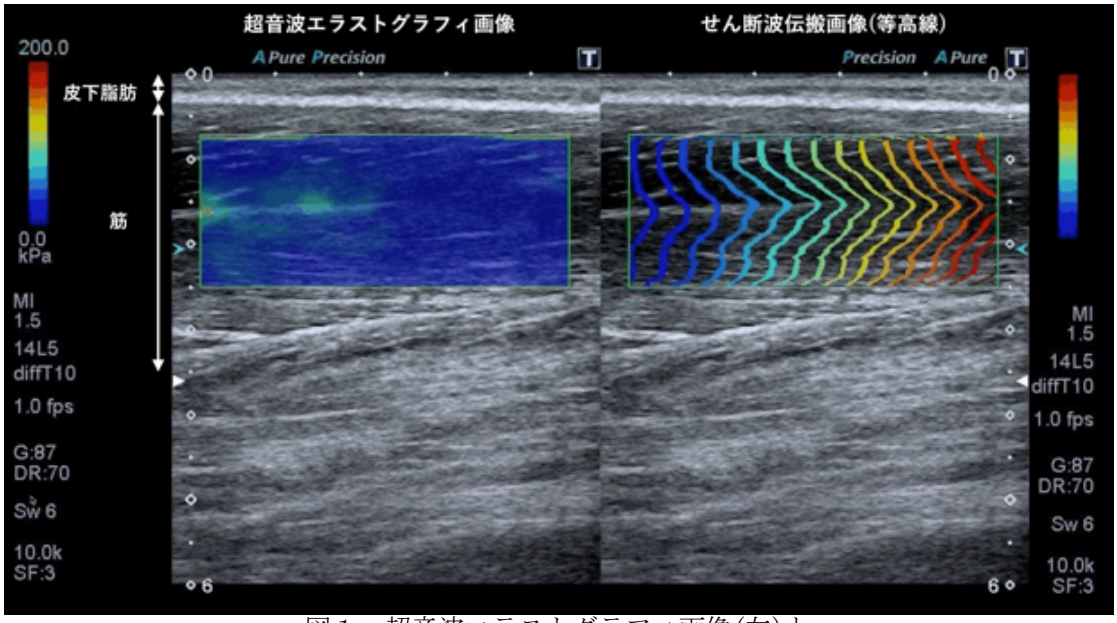

図１：超音波エラストグラフィ画像(左)と
せん断波の伝搬をイメージ化した画像(右)

(1) 装置の開発

ストレッチングを実施する際に利用する装置は、従来安価で使い勝手の良い装置が用いられるが､ストレッチングが実施できる角度設定が 3～5 度刻みと詳細設定に向かないことが課題として挙げられた。社会実装を勘案した際、結果として開発した装置が高額になる点もまた課題となるため、装置を１から開発するのではなく、従来既製装置に安価な機器を付加することで詳細な角度設定が可能となる仕組みの開発に着手した。複数の試料を試し、その中から硬化プラスティックを採用した結果、0.1 度～0.5 度毎の設定を実現した。

(2) 実験

開発した装置を用いて幾つかの実験を行った。一つ目の実験は、硬くなった筋の回復はスト

レッチングによって加速するかどうかを検証した。対象とする筋は先行研究に従い、スポーツ障害が集中する下肢の腓腹筋を対象とし、同じ(ランニング)動作を長時間反復するフルマラソン競技を対象種目とした。被験者は健常学生 18 名で、グループを 2 つに分け、一方のグループにはマラソン完走後に足首を背屈するストレッチング手技を 1 週間実施させた。もう一方のグループはストレッチング手技を実施しない対照群として設定した。各種測定は、これまでの知見に従いフルマラソン開始前、1 日後、3 日後、8 日後に行った。その結果、ストレッチング群に硬さの改善効果､つまりストレッチングを繰り返すことで回復が加速する傾向が確認できた。しかしながら、対照群との差は軽微で、手技を実施しても硬化した筋の回復時間が早まるかどうか更なる検証が必要であった。なお、ストレッチングの後には一時的なパフォーマンス（筋力）の低下が生じるが、足関節の背屈運動を他動的に微小な範囲で行う繰り返しの手技にて行うことにより従来の方法と同様の関節可動域の拡大を得られつつも筋力を低下させないことも明らかとなった。

二つ目の実験は、回復プロセスに部位特異的な変化が生じるかどうかを検証した。一つ目の実験と同じく、フルマラソン後に生じる同一筋内（大腿直筋内）の硬さ変化を筋の近位・筋腹部・遠位にて実験 1 と同様の手法で比較した。その結果、筋が最も硬くなるマラソン 1 日後において、遠位部は近位部や筋腹部よりも有意に硬いことが明らかとなり、同一筋内でも回復の過程が異なる可能性が高まった。マラソン後に筋が硬化する要因は多岐にわたるが、マラソンなどでは使いすぎによって筋局所に蓄積された物質を希釈するための一時的な水分の流入と、全身における水分損失のアンバランスが考えられ、ストレッチングのみではこれに対応できない可能性が示唆された。

(3) 筋の硬さに影響を与えた要因の検討

これまでの実験結果を踏襲し、幾つかの実験を多角的に行った。まず、ストレッチングに変わる手技としてセルフでのマッサージによる検証を試みた。中でも、関節可動域の拡大に効果の高いフォームローラーの使用によって、局所組織における皮膚温やインピーダンスの変化が関節可動域の拡大に効果的であったことを明らかにした。次に、フルマラソン後の筋（ハムストリングスを対象）の MR 画像から局所水分や腫脹を検証する T2 強調画像を比較したところ、T2 強調画像からも二つ目の実験で明らかとなった部位依存的な差を改めて確認した。また、マラソン後における身体組成データから全身の生体インピーダンスを詳細に検討すると､細胞内/外水分量の変化はフルマラソンによって損失した水分量の 2 倍量をレース直後に飲水することで低減でき筋の硬化を抑制できること、特に経口補水液の飲水は細胞外水分量の取り込みが加速し、本来一時的に硬化する筋の硬さを早期に回復できる可能性を示唆した。なお、同じ動作を反復する意味ではマラソンと同様ではあっても、瞬間的なパフォーマンス発揮が求められる運動種目（剣道を対象）における身体組成において、骨格筋量の不足に由来して筋の硬さが低下する可能性も示唆された。筋の硬さは筋量に依存するという先行研究もあるため、パフォーマンス関連指標との詳細検討を現在継続している。筋の硬さはランニングによって生じた肉ばなれによっても硬化するが、一度損傷してしまうと、硬化した筋が低強度で収縮したとしても損傷していない筋の中強度相当の硬さを示すことも明らかとなった。筋収縮中の硬さ変化は、収縮強度と相関するため、早期に疲労する可能性が高まった。また、摂取した尿試料からサルコメア構成タンパクの一つで骨格筋由来の筋損傷を非侵襲的に定量するバイオマーカー(タイチン)を用いてコンディションを定量/追跡することを可能にした。新たにフルマラソン後のタイチンと筋の硬さの相互作用の解析から硬化した筋の回復を加速させる手技によって損傷が悪化することがないかの検証も開始した。

４．研究成果

本研究で明らかにした上記の知見は、いずれも自身で硬化した筋の回復を加速させる手法であり社会実装できる可能性が高い。本研究では、以下を明らかにした。

(1) ストレッチングを繰り返すことでフルマラソン後におけるアスリートの硬化した筋の回復が加速する可能性があるが、数時間単位で回復が早まるかどうかはさらに検証が必要である。

(2) フルマラソン後に生じる同一筋内（大腿直筋内）の硬さ変化は、筋が最も硬くなるマラソン 1 日後において、遠位部は近位部や筋腹部よりも有意に硬いことが明らかとなり、同一筋内でも回復の過程が異なる。

(3) マラソン後に筋が硬化する要因は多岐にわたるが、フルマラソン後では使いすぎによって筋局所に蓄積された物質を希釈するための一時的な水分の流入と、全身における水分損失のアンバランスが考えられ、ストレッチングのみではこれに対応できない可能性が示唆された。一方で、フルマラソンによって損失した水分量の 2 倍量をレース直後に飲水することで低減でき筋の硬化を抑制できる可能性がある。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計14件（うち査読付論文　14件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　5件）

１．著者名 Inami, T., Nakagawa, K., Fukano, M., Yonezu, T., Higashihara, A., Iizuka, S., Narita, T., Murayama, M.	４．巻 59
２．論文標題 Changes in muscle hardness after a full marathon appear different even intramuscularly	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	６．最初と最後の頁 1094 - 1096
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23736/S0022-4707	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 Inami, T., Shimizu, T., Osuga, T., Narita, T., Hirose, N., Murayama, M.	４．巻 7813217
２．論文標題 Changes in the linear relationship between muscle contraction intensity and muscle hardness after rectus femoris muscle strain	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Case Reports in Orthopedics	６．最初と最後の頁 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2019/7813217	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 Yoshimura, A., Inami, T., Schleip, R., Mineta, S., Shudo, K., Hirose, N.	４．巻 -
２．論文標題 Effects of Self-myofascial Release Using a Foam Roller on Range of Motion and Morphological Changes in Muscle: A Crossover Study	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of Strength Conditioning Research	６．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1519/JSC.0000000000003196	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 Ikeda N., Inami T., Kawakami Y.	４．巻 18
２．論文標題 Stretching combined with repetitive small length changes of the plantar flexors enhances their passive extensibility while not compromising strength	５．発行年 2019年
３．雑誌名 Journal of Sports Science and Medicine	６．最初と最後の頁 58-64
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 －

1．著者名 Inami, T., Nakagawa, K., Yonezu, T., Fukano, M., Higashihara, A., Iizuka, S., Abe, T., Narita, T.	4．巻 -
2．論文標題 Tracking of time-dependent changes in muscle hardness after a full marathon	5．発行年 2018年
3．雑誌名 J. Strength Cond. Res.	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1519/JSC.0000000000002495.	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 Fukano, M., Inami, T., Nakagawa, K., Narita, T., Iso, S.	4．巻 18
2．論文標題 Foot posture alteration and recovery following a full marathon run	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Eur. J. Sports Sci.	6．最初と最後の頁 1338-1345
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/17.61391.2018.1499134.	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 Mineta, S., Inami, T., Fukano, M., Hoshiba, T., Masuda, Y., Yoshimura, A., Kumai, T., Hirose, N.	4．巻 -
2．論文標題 The reliability, and discriminative ability of the identification of functional ankle instability questionnaire, Japanese version.	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Phys. Ther. Sport	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ptsp.2018.10.013.	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 Murayama, M., Inami, T., Shima, N., Nosaka, K., Uchiyama, T., Yoneda, T.	4．巻 5
2．論文標題 Optimum displacement of muscle in relation to thickness for biceps brachii hardness measurement using a push-in meter	5．発行年 2018年
3．雑誌名 Biomed. Physical. Eng. Express	6．最初と最後の頁 17001
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/2057-1976/aaea52	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 Higashihara, A., Nakagawa, K., Inami, T., Fukano, M., Iizuka, S., Maemichi, T., Hashizume, S., Narita, T., Hirose, N.	4．巻 15
2．論文標題 Regional differences in hamstring muscle damage after marathon.	5．発行年 2020年
3．雑誌名 PLoS One	6．最初と最後の頁 e0234401
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0234401	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 Yamaguchi, S., Suzuki, K., Inami, T., Kanda, K., Hanye, Z., Okada, J.	4．巻 19
2．論文標題 Changes in urinary titin N-terminal fragment concentration after concentric and eccentric exercise	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Sports Science and Medicine	6．最初と最後の頁 121-129
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 Yamaguchi, S., Suzuki, K., Kanda, K., Inami, T., Okada, J.	4．巻 23
2．論文標題 Changes in urinary titin N-terminal fragments as a biomarker of exercise-induced muscle damage in the repeated bout effect	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Science and Medicine in Sport	6．最初と最後の頁 536-540
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jsams.2019.12.023	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 Murayama, M., Nosaka, K., Inami, T., Shima, N., Yoneda, T.	4．巻 10
2．論文標題 Biceps brachii muscle hardness assessed by a push-in meter in comparison to ultrasound strain elastography	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Scientific Reports	6．最初と最後の頁 20308
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-020-77330-5	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 Yoshida, Y., Inami, T., Takase, T.	4．巻 Accepted for publication
2．論文標題 Body composition of collegiate kendo players	5．発行年 2020年
3．雑誌名 Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	6．最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23736/S0022-4707.21.12352-7	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 Yoshimura, A., Sekine, Y., Schleip, R., Furusyo, A., Yamazaki, K., Inami, T., Murayama, M., Hirose, N.	4．巻 27
2．論文標題 The acute mechanism of the self-massage-induced effects of using a foam roller	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Journal of Bodywork and Movement Therapies	6．最初と最後の頁 103-112
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jbmt.2021.02.012	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11件（うち招待講演　2件／うち国際学会　7件）

1．発表者名 稲見崇孝
2．発表標題 運動後における筋個別材質特性の経時変化
3．学会等名 第31回日本レーザー治療学会・第22回日本レーザースポーツ医科学学会（東京）（招待講演）
4．発表年 2019年

1．発表者名 笹川郁、稲見崇孝、東原綾子、吉村茜、我妻浩二、岩本航、広瀬統一
2．発表標題 連続投球が肩関節内旋可動域と外旋筋群および関節包のstiffnessに与える影響
3．学会等名 第74回日本体力医学会大会（つくば国際会議場）
4．発表年 2019年

１．発表者名
Inami, T., Narita, T., Yoshimura, A., Yonezu, T., Yamazaki, E., Orikasa, Y., Tezuka, T., Sugiyama, H., Ohtani, M., Hirose, N., Murayama, M.

２．発表標題
Muscle condition changes during a training camp for junior elite divers

３．学会等名
24th Annual Congress of the European College of Sport Science (Prague) (国際学会)

４．発表年
2019年

１．発表者名
Mineta, S., Inami, T., Hoshiba, T., Higashihara, A., Hirose, N.

２．発表標題
An increasing knee varus angle is a risk factor for lateral ankle sprain during single leg landing -16 months cohort study-

３．学会等名
24th Annual Congress of the European College of Sport Science (Prague) (国際学会)

４．発表年
2019年

１．発表者名
Higashihara, A., Nakagawa, K., Inami, T., Fukano, M., Hashizume, S., Iizuka, S., Maemichi, T., Narita, T., Hirose, N.

２．発表標題
Regional differences in damage among the hamstring muscles after a full marathon

３．学会等名
24th Annual Congress of the European College of Sport Science (Prague) (国際学会)

４．発表年
2019年

１．発表者名
Murayama, M., Nishiyama, D., Uchiyama, T., Inami, T., Yoneda, T.

２．発表標題
Comparison of push-in hardness meters: hand-held type and ultrasonographic devices

３．学会等名
24th Annual Congress of the European College of Sport Science (Prague) (国際学会)

４．発表年
2019年

１．発表者名
吉村茜，稲見崇孝，峯田晋史郎，周藤滉平，広瀬統一

２．発表標題
Foam Rollerを用いたセルフマッサージが関節可動域及び筋の形態的特性に与える影響

３．学会等名
第7回日本アスレティックトレーニング学会学術大会（横浜）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Murayama, M., Inami, T., Miyagawa, H., Osaka, K., Yoneda, T.

２．発表標題
Resting muscle hardness assessed by a pressure meter in relation to muscle stiffness assessed by ultrasound shear wave elastography

３．学会等名
23th annual congress of the European College of Sport Science（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Mineta,S., Inami, T., Senba, T., Higashihara, A., Hirose, N.

２．発表標題
An increasing knee varies angle is a risk factor for lateral ankle sprain during single leg landing

３．学会等名
43rd Annual Meeting of Japanese Society for Surgery of Foot (JSSF) & the 5th Ankle Instability Group Annual Meeting (AIG).（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名
Yoshimura, A., Inami, T., Schleip, R., Mineta, S., Shudo, K., Hirose, N.

２．発表標題
Study on mechanism of the increase of range of motion by foam rolling

３．学会等名
The 5th Fascia Research Congress 2018（国際学会）

４．発表年
2018年

１．発表者名 稲見崇孝
２．発表標題 骨格筋の非侵襲的質的評価と生体内位置情報の取得
３．学会等名 第64回日本顎口腔機能学会 第62回学術大会優秀賞受賞者企画シンポジウム（オンライン）（招待講演）
４．発表年 2020年

〔図書〕　計1件

１．著者名 Moritz Schumann, Bent R Ronnestad, 稲見崇孝, 峯田晋史郎, 山岸卓樹, 山口翔大	４．発行年 2021年
２．出版社 東洋館出版社	５．総ページ数 544
３．書名 コンカレントトレーニング	

〔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

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