

令和 2 年 7 月 2 日現在

機関番号：14503

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K01671

研究課題名(和文) Dynamic MRIを用いた膝伸筋群の収縮変形挙動の解析法確立とその応用

研究課題名(英文) Development of analysis method of contractile deformation behavior of knee extension muscle group using dynamic MRI and its applications

研究代表者

小田 俊明(Oda, Toshiaki)

兵庫教育大学・学校教育研究科・准教授

研究者番号：10435638

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)：本研究の目的はVEPCMRを用いた大腿四頭筋の収縮動態解析の方法論確立と、その方法の応用としての膝関節の機能的な状態による大腿四頭筋収縮動態の差異の検討であった。既に取得したデータの解析方法の改善を図り、一般成人の筋を対象とした実験と解析を進めた。その結果、大腿部の深部に存在する中間広筋において大きな変位が観察され、その仕事量への貢献度の高さが示唆された。また、筋内の中間腱膜の周辺の変位は筋が変化しても同程度であり、中間腱膜を介した周辺筋群の共同的な働き合いが推察された。収縮中に深部筋である中間広筋の挙動を経時的に計測し腱膜との関係にも言及し考察を行った研究は新しい知見を含んでいる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とされた大腿四頭筋は、スポーツパフォーマンスの良し悪しや高齢者のフレイルや生活の質に大きく関連する筋であるため、これらの筋の働きの詳細を計測できたことの意義は高いと考えられる。また、身体の深部に位置する形態の複雑な筋群の詳細挙動を収縮時に解析するようになできたことは、今後の各種応用が期待できることから今後の被験者実験への発展が大きく期待できる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to establish a methodology for analysis of contraction dynamics of the quadriceps femoris using velocity encoded phase contrast MR (VEPCMR), and as an application of this method, the difference of contraction dynamics of the quadriceps femoris depending on the functional state of the knee joint was studied. We improved the method of analysis with the already acquired data and conducted experiments and analyzes targeting the muscles of general adults. As a result, a large displacement was observed in the vastus inter-medialis muscle existing deep in the thigh, suggesting a high contribution to the mechanical work. In addition, the displacement around the central aponeurosis was almost the same even when the synergist muscles were changed. It implies that the peripheral muscle groups work together through the central aponeurosis.

研究分野：スポーツ科学、バイオメカニクス

キーワード：動的MR 変形解析 バイオメカニクス 筋生理 画像処理

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

膝伸展筋群は加齢や疾患における身体活動量低下を規定するキーマッスルであり、また、多くのスポーツ活動で重要な役割を果たす筋である。これまでに高齢者の活動量や自立度は筋量と強い関連性をもち(宮地, 2011 など)、特に、歩行や立ち上がりといった日常生活動作に必要な大腿部筋量の加齢低下は他筋よりも速く(Larsson et al. 1983)、その対策の重要性が指摘されてきた。また、疾病による寝たきりや運動不足による廃用性症候群の発生が大腿において顕著であること(Akima et al. 1997 など)ならびに、膝の疾患が大腿筋の萎縮を誘発すること(Konishi et al. 2012)が報告されてきた。加えて、この筋群は、ほとんどのスポーツで求められるジャンプやスプリントのような動的でダイナミックな運動時には、その身体重心を加速させるために非常に大きな貢献を示す(Hubley & Wells, 1983 など)。このように多くの面で重要な機能を果たす大腿伸筋群であるが、それらの筋機能についてはこれまでに明らかとなっていない面が多くある。一つの原因として、貢献度の高さが想定されている中間広筋は深層に位置し、非侵襲的な計測が困難であった点が考えられる。近年、超音波法と筋電図法を組み合わせることで、中間広筋の電気生理学的知見は散見されるようになってきたものの、収縮動態についての知見はほとんどない。また、筋線維配列の複雑さのためか、後述のMRIによる計測もほとんど報告例がない。

応募者はこれまでに、筋と腱の相互作用がダイナミックに生じることから、下腿三頭筋を対象に骨格筋のバイオメカニクス研究を継続してきた。特に近年は、磁気共鳴映像法(Velocity Encoding Phase Contrast MR: VEPCMR)の矢状面画像を用いることで骨格筋の変形解析を行い、その収縮動態について検討を加えてきた(図1)。この方法は、水分子のスピンの位相を双極傾斜磁場により制御することで、計測各組織に対応するボクセルの移動速度を計測する手法である。時系列に得られた速度画像を時間積分することで各点の3次元変位を追跡することができるため、点の変位やひずみ等の2次計算処理を行うことが可能となる。

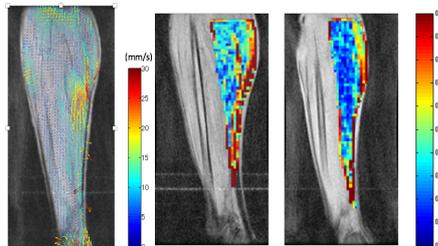


図1 計測した速度マップ、中、ならびに右図：算出した最大主ひずみ(2被験者例)

これまでの研究で、腱膜周辺や表層で筋線維の挙動が異なること、共働筋においても収縮挙動が異なることなどが明らかとなってきた。今回、上述の大腿四頭筋の重要性を鑑み、これまでに発展させてきた手法を大腿四頭筋に応用し、収縮動態計測を実施することを計画した。我々はこれまでに、一般成人を対象とした予備実験が終了している。筋線維の3次元配列の複雑さを配慮し、矢状面ではなく、横断面のデータ取得を行うことで変位データのトラッキングなど組織の移動や変形の解析を可能としつつある。現状で得られた結果から大腿四頭筋のそれぞれの筋腹の挙動やその筋内においても変位の差異が見られ、統計的にも有意な差が観察された。このように、共働筋内であっても変位に差があることと共に、筋張力を伝達するための厚い中間の腱膜周辺の筋組織の変位が同様であることなど、大腿四頭筋全体と個別の筋腹の挙動を明らかにすることは既にほぼ達成できている。3年間の研究期間においては、これまでのVEPCMRIの計測を実施してきたカリフォルニア大学サンディエゴ校の医用工学の専門家である研究協力者 Dr. Shnha の協力を得て、国内においてもこれらの計測を可能なよう MR compatible な等尺性筋力計を作成し、制御装置等の再セットアップをまず行う(制御系については研究代表者が既に制作している)。次に取得されたデータの解析方法の改善(現在の変位解析からひずみ、あるいはひずみ速度解析等へ解析を拡張する)を図るなど計算機上での解析の方法論を確立すると共に、一般成人の被験者を増やし、そして、膝関節の機能的な状態による大腿四頭筋収縮動態への影響を計測するため、事例として下肢のアライメント異常がある被験者と前十字靭帯損傷経験者を対象に実験を実施し本方法論を応用する。

我々の知る限り大腿四頭筋の収縮挙動をMRを用いて計測した唯一の先行研究(Finni et al. 2008)では、大腿部中央の矢状面(縦断面)からの画像を対象として筋変形の追跡を実施している。しかし、大腿四頭筋にはこれまでVEPCMRで被験筋として用いられてきた下腿三頭筋と比べ、筋線維の3次元配列が複雑であり矢状面から筋組織の変形について計測することには限界もあった。本研究には、横断面からのVEPCMRを用いてそれぞれのボクセルを3次元トラッキングすることで複雑な筋線維配列に制限されない形の分析を可能とし、また、複数筋群の挙動を同時に計測することが可能であることにまず方法論として独自性がある。そして、その画像からひずみの解析等、新たな情報を計測していく応用性も高い。また、多くの研究者がその予想される筋力発揮への貢献度の高さからの重要性から感心をもっているながら、これまで方法論的な制約が多く研究対象としにくかった、深部筋である中間広筋の挙動について詳細な知見が得られる新規性もある。

前述のように、これまでに既に計測、取得データ解析の基本的な方法論はできあがりつつある段階である。これま

での研究で、アライメント異常により大腿四頭筋内の各筋の発達度合いが異なること、ならびに、前十字靭帯再建後、長期間にわたり膝伸展筋力の低下が見られそれらが高閾値の運動単位の抑制に起因することが示唆されている。このことから、これらの集団では、筋収縮の偏りや機能不全が生じていることが予想され、それらが収縮動態の変化として現れる可能性が高い。機能変化の詳細を知ることはリハビリテーションの方略を策定する上での基本であり、そのための基礎的なデータが取得できると考える。

## 2. 研究の目的

上記の背景により、本研究の目的は VEPCMR を用いた大腿四頭筋の収縮動態解析の方法論確立と、その方法の応用としての膝関節の機能的な状態による大腿四頭筋収縮動態を検討することであった。

## 3. 研究の方法

### 概要)

これまで米国で計測してきた VEPCMR を国内で実施できるように、まず MR compatible な等尺性筋力計を作成し、制御装置等の再セットアップを行う(制御系については研究代表者が既に制作している)。材料の調達等に時間がかかり現在、より利便性の高い形で作成中である。

また、既に取得したデータの解析方法を改善することで、3次元空間内における筋組織の詳細挙動が計測ならびに可視化することを実施した。具体的には、現在データ取得中の一般成人の被験者を増やし、そして、膝関節の機能的な状態による大腿四頭筋収縮動態への影響を計測するため、力学計算手法の高度化、新規導入を実施した。事例として下肢のアライメント異常がある被験者と前十字靭帯損傷経験者、ならびに競技種目による特異的な形態特性をもつ一流アスリートを対象に実験を実施する予定であったが、現在進行系であり、これについては今後もデータ収集を続けていく。

### データ取得と解析について)

MRI で使用可能な筋力計を作成する。MRI は、磁場の変化を超電導磁石により誘発するものであり実験環境に磁性体を持ち込むことができない。そのため、強化プラスチックによる枠組みを備えた筋力計の外枠、光ファイバを用いたひずみゲージが必要である。等尺性収縮が可能で関節角度調整が可能なものを作成している。同時に、既に実験を終えた一般成人のデータを用いた変形解析を実施する。撮像シークエンスは VEPCMR であり、基本的な解析プログラムは下腿三頭筋を対象とした研究において作成しており、これを横断面、そして、大腿四頭筋用に修正を加える。それらの解析の要点をここで述べると、プログラムでは以下の処理を行う。1)まず、VEPCMR の実験では対象とした筋組織から立方体(1辺が約1mm)毎の3次元速度情報を得ることができる。その計測を収縮中に実施し、時系列のデータを取得する(時間分解能は測定パラメータに依存するが20ms程度)。2)得られたそれぞれの値を各速度軸成分毎に時間積分し追跡(トラッキング)することで、各点の初期位置からの3次元変位を算出する。なお、この方法は Sinha et al. (2004)にてその高い妥当性が報告されている。3)分析点を初期の筋形状がわかる解剖学的な画像から選択することで大腿四頭筋を構成するそれぞれの筋の平均的な挙動や、筋内の挙動の差異を実測する。また、VEPCMR より取得した速度情報から変位を算出するのみならず、ひずみ・ひずみ速度解析へと計算を発展させることを行う。一方、筋全体の挙動のみならず、筋束の収縮に伴う3次元挙動について追跡し、可視化する。

### 被験者計測)

前年に用意した計測システム全般を使用し、実験を計画した。まず、一般成人の被験者数を増加させ、膝関節の機能的な状態による大腿四頭筋収縮動態への影響を計測するため、下肢のアライメント異常がある被験者、前十字靭帯損傷経験者を対象に実験を実施している。また、競技種目による特異的な形態特性をもつ一流アスリートを対象に実験を実施しているが、これについては現在進行中である。

## 4. 研究成果

カリフォルニア大学にて実験と機器の調整を実施し、実験後、解析プログラムの作成と調整を実施した。一般成人での研究をまず行い、10名弱の成人被験者から収縮中の筋肉と腱組織の変形データを取得した。収縮モードは等尺性収縮と伸張性収縮とした。実験の結果、深層部の中間広筋の力線方向への変位が他筋に比べて統計的に有意に大きく、大腿四頭筋群のパワー発揮における貢献度の高さが示唆された。また、筋内の中間腱膜の周辺の変位は筋が変化しても同程度であり、中間腱膜を介した周辺筋群の共同的な動き合いが推察された(図2)。得られた結果の一部は、国際 MR 医学会にて発表し、筋骨格分野におけるポスター発表の上位5名のファイナリストに選出された。また、一部の成果は、国際バイオメカニクス学会において報告された。

加えて、取得した MR 画像の各ボクセルの移動速度情報を時間積分しトラッキングすることで、筋の3次元的な変形の詳細をボクセルレベルで定量することができた(図3)。これらの計算の際には、信号内のアーチファクトを除去する方法の選定が必要であるが、各種フィルターの中から、anisotropic diffusion filter を使用することで、効果的な

ノイズ除去が可能となり、アーチファクトにより生じることのある、非現実的な組織のねじれのない精度の良いトラッキングが可能となった。これらの手法を用いた、一般成人データの等尺性収縮時の再解析の結果、昨年度と同様に大腿部の深部に存在する中間広筋において大きな変位が観察され、その仕事量への貢献度の高さが示唆された。この筋の力発揮への重要性は、超音波を用いた運動時の測定や、筋群の解剖学的形態の特徴から予想されていたものの、収縮中に中間広筋の挙動を経時的に計測し、その収縮動体について腱膜との関係にも言及し考察を行った研究は新しい知見を含んでいる。これらの成果は現在国際誌に投稿中である。これらの筋は、高齢者のフレイルや生活の質に大きく関連する筋であるため、これらの筋の働きの詳細を計測できたことの意義は高いと考えられる。初期の予定より遅れているが、収縮強度の差異や、伸張性収縮時の同様のデータについても解析を実施中である。等尺性収縮との比較など収縮モードの比較を含め、アスリートや高齢者など、大腿四頭筋の収縮時機能についての検討を今後も引き続き進める計画である。

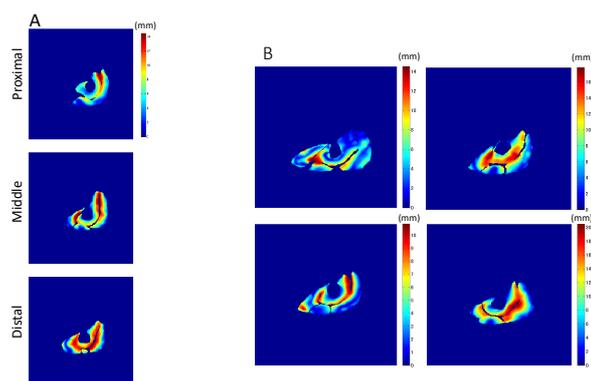


図2 A 1名の被験者の3部位の変位, B 4名の被験者の中間部分での変位

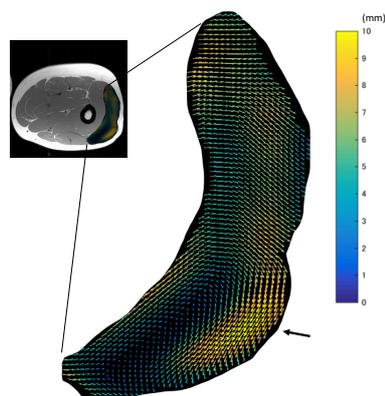


図3 外側広筋の水平面での変位ベクトルの部位差

#### 引用文献

- Akima H, Kuno S, Suzuki Y, Gunji A, Fukunaga T. (1997) Effects of 20 Days of Bed Rest on Physiological Cross-Sectional Area of Human Thigh and Leg Muscles Evaluated by Magnetic Resonance Imaging *J Gravit Physiol*. Jan;4(1):S15-21.
- Finni T, Havu M, Sinha S, et al (2008) Mechanical behavior of the quadriceps femoris muscle tendon unit during low-load contractions. *J Appl Physiol* 104:1320–8. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01069.2007>
- Hubley CL, Wells RP (1983) A work-energy approach to determine individual joint contributions to vertical jump performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 50:247–254. <https://doi.org/10.1007/BF00422163>
- Konishi Y, Oda T, Tsukazaki S, et al (2012) Relationship between quadriceps femoris muscle volume and muscle torque at least 18 months after anterior cruciate ligament reconstruction. 791–796. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2011.01332.x>
- Larsson L. (1983) Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. *Acta Physiologica Scandinavica* Volume117, Issue3 469-471
- 宮地 元彦, 安藤 大輔, 種田 行男, 小熊 祐子, 小野 玲, 北島 義典, 田中喜代次, 西脇 祐司, 道川 武紘, 柳田 昌彦, 吉村 公雄, 武林 亨. 4.サルコペニアに対する治療の可能性: 運動介入効果に関するシステムティックレビュー(2009) 第 52 回日本老年医学会学術集会記録 〈若手企画シンポジウム 2:サルコペニアの臨床〉 48. 51.
- Sinha S, Hodgson JA, Finni T, et al (2004) Muscle Kinematics During Isometric Contraction : Development of Phase Contrast and Spin Tag Techniques to Study Healthy and Atrophied Muscles. 1019:1008–1019. <https://doi.org/10.1002/jmri.20210>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Enomoto Shota, Tsushima Aiko, Oda Toshiaki, Kaga Masaru	4. 巻 40
2. 論文標題 The Passive Mechanical Properties of Muscles and Tendons in Children Affected by Osgood-Schlatter Disease	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Pediatric Orthopaedics	6. 最初と最後の頁 e243 ~ e247
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1097/BPO.0000000000001426	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 兒玉友, 久野峻幸, 佐野加奈絵, 石川昌紀, 小田俊明.	4. 巻 -
2. 論文標題 日本代表候補パラバドミントン立位クラス男子選手の形態特性 - 日本代表候補バドミントン男子選手および健康成人男性との比較 - .	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 アダブテッドスポーツ科学	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） 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 秋原悠, 小田俊明, 山本忠志, 曾我部晋哉.	4. 巻 -
2. 論文標題 小学校1年生から中学校3年生の体組成の特徴や発育による変化 - Inbody470を用いて - .	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 発育発達研究.	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） 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 Shota Enomoto, Toshiaki Oda, Masaru Kaga.	4. 巻 -
2. 論文標題 Relationship between the morphological and mechanical properties of muscle-tendon units and sprint performance in prepubescent sprinters.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine.	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） <a href="https://doi.org/10.1002/tsm2.80">https://doi.org/10.1002/tsm2.80</a>	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 Shota Enomoto, Aiko Tsushima, Toshiaki Oda, Masaru Kaga.	4. 巻 -
2. 論文標題 The characteristics of the muscle-tendon unit in children affected by Osgood-Schlatter disease.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Translational Sports Medicine	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) <a href="https://doi.org/10.1002/tsm2.79">https://doi.org/10.1002/tsm2.79</a>	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 志方 亮一, 筒井 茂喜, 小田 俊明	4. 巻 31
2. 論文標題 リバウンドジャンプ・コンピネーション指導プログラムの有効性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 兵庫教育大学学校教育学研究	6. 最初と最後の頁 145-152
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 無
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 小田俊明	4. 巻 27
2. 論文標題 筋腱の力学的性質とランニングにおけるその重要性	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 スプリント研究	6. 最初と最後の頁 19-25
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 無
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25件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 N Nogami, T Oda, T Yamamoto.
2. 発表標題 Kinematic and kinetic characteristics of bouncing movement in aerobic gymnastics athletes.
3. 学会等名 International Society of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎涼, 榎本翔太, 齋藤壮馬, 横山留依, 小田俊明.
2. 発表標題 中距離選手における筋スティフネスと競技力との関係.
3. 学会等名 日本体育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横山留依, 小田俊明.
2. 発表標題 アキレス腱の形状が断裂や障害に及ぼす影響の予測: CADと有限要素シミュレーションを用いて.
3. 学会等名 日本体育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 東祐希, 禿隆一, 新宅幸憲, 小田俊明, 田中利明.
2. 発表標題 脳性麻痺(CP)サッカー選手の重心動揺と足趾力の特長.
3. 学会等名 日本体育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴垣威千介, 栗田昇平, 浦田達也, 小田俊明, 齋藤壮馬.
2. 発表標題 陸上競技800m選手の競技記録とレース中のキネマティクスとの関係について.
3. 学会等名 日本体育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T Oda, V Malis, T Finni, S Sinha.
2. 発表標題 Distribution of displacement in the quadriceps muscles during isometric contractions revealed by velocity encoding phase contrast MR.
3. 学会等名 European Collage of Sports Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T Oda, S Matsuo, S Enomoto.
2. 発表標題 Stiffer aponeuroses help to generate larger power output in muscle-tendon complex.
3. 学会等名 World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T Oda, T Hisano, Y Akihara, K Kusumoto, Y Kodama, M Ishikawa.
2. 発表標題 Change in mechanical properties of triceps surae muscle-tendon unit and race performance after 1 year in well trained distance runners.
3. 学会等名 International Society of Biomechanics in Sports (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S Enomoto, R Hashimoto, T oda, M Kaga.
2. 発表標題 The effect of morphological and mechanical properties of muscle-tendon unit on sprint performance in junior sprinters.
3. 学会等名 European Collage of Sports Sciences (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S Enomoto, T Oda, R Ashida, T Hisano, M Kaga.
2. 発表標題 Does tendon stiffness in children affect jumping performance?
3. 学会等名 World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋原悠, 山本志志, 小田俊明, 曾我部晋哉
2. 発表標題 ウエイトリフティング選手の大腿前部筋厚と競技成績の関係～中学・高校大学ウエイトリフティング選手を対象として～.
3. 学会等名 兵庫体育スポーツ科学学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 曾我部晋哉, 吉岡泰幸, 秋原悠, 小田俊明, 柴田真志, 山本志志
2. 発表標題 中学生の膝アライメントとBMIの関係
3. 学会等名 第73回日本体力医学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋原悠, 小田俊明, 山本志志
2. 発表標題 大人と子供の腱組織スラック長の差異
3. 学会等名 ournal of Training Science for Exercise and Sport
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 秋原悠、小田俊明、山本忠志、曾我部晋哉
2. 発表標題 小学校1年生から中学校3年生の体組成の特徴や発育による変化 体組成分析装置を用いて
3. 学会等名 日本発育発達学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎本翔太, 野上幹朗, 小田俊明, 加賀勝
2. 発表標題 筋腱複合体の形態的・力学的特性がジュニアスプリンターのスプリントパフォーマンスに与える影響 -横断的・縦断的調査を通して-
3. 学会等名 岡山体育学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 榎本翔太, 津島愛子, 小田俊明, 加賀勝
2. 発表標題 オスグッドシュラッター病罹患児における筋腱複合体の形態的・力学的特徴
3. 学会等名 日本発育発達学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T Oda, V Malis, T Finni, S Sinha.
2. 発表標題 Heterogeneity of Quadriceps Muscle Activation during Isometric Contractions as revealed by Velocity Encoded Phase Contrast (VE-PC) Imaging
3. 学会等名 International Society of Magnetic Resonance in Medicine (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T Oda, T Hisano, N Yamamura
2. 発表標題 EFFECT OF MECHANICAL PROPERTIES OF APONEUROSES ON STATIC AND DYNAMIC FORCE PRODUCTION IN MUSCLE-TENDON COMPLEX: FINITE ELEMENT SIMULATION
3. 学会等名 International Society of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y Kunimasa, K Sano, T Hisano, A Makino, T Oda, C Nicol, PV Komi, M Ishikawa
2. 発表標題 Musculoskeletal characteristics for elite distance runners and non-competitive Kenyans
3. 学会等名 European College of Sports Sciences (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小田俊明
2. 発表標題 筋腱の力学的性質とランニングにおけるその重要性
3. 学会等名 日本スプリント学会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小田俊明
2. 発表標題 筋と腱の相互作用による身体機能の増強 . ジャンプとランニングを例に
3. 学会等名 岡山体育学会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田俊明, 松尾信之介
2. 発表標題 腱膜が硬いとパワー発揮に有利なのか? : 有限要素シミュレーション
3. 学会等名 29. 日本陸上競技学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松尾信之介, 小田俊明
2. 発表標題 筋肥大はどのような筋長でも大きな力発揮につながるか? - 有限要素シミュレーションを用いて -
3. 学会等名 日本陸上競技学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 楠本一樹, 角一哲児, 加藤千穂, 山田裕生, 久野峻幸, 神田明典, 澤田泰輔, 橋口寛, 小田俊明, 大橋卓生
2. 発表標題 ハイパフォーマンススポーツにおけるネットワークがつなく人と情報
3. 学会等名 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 久野峻幸, 米谷司, 楠本一樹, 小田俊明
2. 発表標題 熟練者と非熟練者における垂直跳び動作パターンの比較
3. 学会等名 兵庫体育スポーツ科学学会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 小田俊明 編者 深代 千之、安部 孝	4. 発行年 2019年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 304 うち20ページ
3. 書名 揺るぎない骨格とは－骨密度－ in スポーツでのばす健康寿命:	

1. 著者名 小田俊明 編 日本陸上競技学会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 大修館書店	5. 総ページ数 うち2ページ
3. 書名 コーチングと筋腱複合体のバイオメカニクス in 陸上競技のコーチング学	

1. 著者名 小田俊明, 松井直樹.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 デザインエッグ社	5. 総ページ数 58
3. 書名 まっちゃん和金メダル.	

〔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	曾我部 晋哉  (Sogabe Akitoshi)  (90388760)	甲南大学・スポーツ・健康科学教育研究センター・教授   (34506)	