

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：14503

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560351

研究課題名(和文)有限要素シミュレーションによる骨格筋のスポーツバイオメカニクス研究

研究課題名(英文)Sports Biomechanics of skeletal muscles with finite element simulations

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) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、筋腱複合体の有限要素シミュレーションを用い、筋と腱のもつ生理学的・力学的・解剖学的性質と発揮筋力・パワーとの関係について詳細に検討を加えることを目的とした。改良した生体組織用有限要素シミュレータを活用し、組織のもつ特徴を生理的範囲で増減させることで、それぞれのパラメータの及ぼす影響を推定した。その結果、腱組織のstiffnessが静的・動的筋力の大きな規定因子になっている可能性など、実験では独立して検討することが困難な、それぞれの因子の感度を算出することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：In experimental study design, one intervention like training experiment would not influence only one parameter. Because there exist interactions of adaptation between tissues (e.g. interaction between muscle and tendon). The aim of this study was to investigate relations between both force and power generations and physiological, mechanical and anatomical characteristics in muscles and tendons using finite element analyses of muscle-tendon complex. Also, the contribution of each parameter was estimated by simulation with changing (increase and decrease) the values in physiological range. As a results in this work, we could get the systems to determine the sensitivity of each parameter, such as the importance of stiffness of tendinous tissues on force-power generation.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：筋機能 シミュレーション 腱膜 結合組織 有限要素法

理，感互するに要るシ²-とさツシア変状
生しを相にすタ必えツ²此行一成をに形す
・定度のかと一が抑メし進ポ作ル的筋手
的因とらメ題をのとい時スラデ理部着
態を貢子明目課荷ルの用同すやかモ数外に
形子の因にの計算負デもを備人像状でのと
る因れ他の終の計算モな機析準般画形等数こ
わのぞ，量最数の計状適算解も一²の換複る
関学れし定を複く形最計のと，MRIの換複る
く力そ析をと，多るをの数こたの次ンせ成
き・の解用こめるなめ数台複るま手3イさ作
大的そ度作るたよとたユ⁵でせ選たフ形を

度ルク段ル定をアな有ス)シ件施
年デ二のデ設能エスのシ²てを実
本モ力初モの機ウレ体一，い縮を
素メ最状条件のトム合タとお収ン
法)要才る形条等フ一複一ここに筋ヨ
研究：限イす)界スソシ腱れるルでシ
の²⁶年有バ用1境セ数発筋ユすデ件一
毎のツ活，や口複開リミ備モ条レ
度成上²⁶記一にて力プたよシ準状なユ
年平，ス研と入した改携要ム易プシる
(はをス階のポ持の連限テ簡ンうす

は，たミ用た拳条せ
きシ使し縮的さ²)MRI人態お期い所性討を長
て素を化収理展²)實際1の筋的て研る
え要ム純筋生²実収1の条件に学いどゆ
加限テ単でのをにたたる合条び力つなわ
を有スのい数析時しいす複るらにに
良のシ意お複解同得用施腱なな織響え(
27年改体一任にるる，取を実筋異揮組影加る
成度複一1形関おまい形析はさ力にえ細さ
平年腱レ，工にに用筋解て長，形与詳展
昨筋ユし人動件をを体のいので変がを進

，を事るこ
グ方示する
ン処示関させ
ニンてにさ考
一ヨつ能展と考
レシも機発る
ト一を筋く
なテ拋格きな
的リ根骨大能
果⁸的，を可
効⁸学ど究が
で⁸り科な研と

をハツ有をバ提象てる影力，れ，析手，はさ的す究へ入する
景リ一た²ツを対しあく・たぞ度解く選やに化果示研題介くす
背，ポショ一²研究筋とでべきまれ献をい技上上²変効に本課，づ資
のグス指シポ²研究数難大理，そ貢用て競向向に²的究り基に
記ン，目一²ス人変困に生したの作し，ス能う²的量の研あに展
上ニ²ンをレ²ク立²が揮²・定²い²へ²互²指²果²ン²機²よ²率²定²な²な²で²算²発²考²
目的上²ニ²ンをレ²ク立²が揮²・定²い²へ²互²指²果²ン²機²よ²率²定²な²な²で²算²発²考²
目，一ヨ用ユ筋ク立²が揮²・定²い²へ²互²指²果²ン²機²よ²率²定²な²な²で²算²発²考²
のはレシ活ミ格ニ²すは²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど²が²可²能²様²可²測²学²
の²は²レ²シ²活²ミ²格²ニ²す²は²こ²一²態²を²機²の²を²の²一²身²ど

観察(的く)上ね速さ速て腱つ八腱こ有がのの子でた日おる
 観は体短りのテ概 - 長縮ポし筋ありりるに性膜体因ついでた日おる
 が因全がな係ポで力の収揮響はで・よめ機能腱合定一ては会賞
 向原, 長く闊揮と, 維, 発影果一グに高機能腱合定一ては会賞
 傾のは維多さ発こ方線え力も結同ン等をのるび腱の素峻内科を
 るらで線が長力い一筋加る化のがニンス合えら筋力要示研究グ賞
 れれ膜筋量 - るさ, によ変究状一ヨンス合えら筋力要示研究グ賞
 さこ腱の縮力け小たはいにの研形レシヨンス合えら筋力要示研究グ賞
 揮・い時短のおがれで違加ル本のト一 stiffness 複合と, 動的な研
 発たか縮(維にルさ係の増ヤ・体, stiffness 複合と, 動的な研
 がれら収り線脚ヤ明闊布のシた合もりのでない静的・可レ学とスをレを
 力さ柔にな筋向シ説度分度ンい複てビ膜と利高 stiffness 静的・可レ学とスをレを

5. 主な発表論文等
 (研究代表者、研究分担者
 及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

国正陽子, 佐野加奈絵, 久野峻幸, 牧野晃宗, 小田俊明, C Nicol, P V Komi, 石川昌紀. 下腿の骨格・筋腱形態に東アフリカ地域の陸上中長距離選手特有の特徴があるのか. 大阪体育学研究. 印刷中 2016. 査読あり.
 牧野晃宗, 岩崎正徳, 国正陽子, 久野峻幸, 野加奈絵, 村元辰寛, 村上雷多, 神崎浩, 小田俊明, 石川昌紀. 剣道経験年数の違いによる左右脚のアキレス腱の形態と力学特性について. 体育学研究. 印刷中 2016. 査読あり.
 小田俊明, 岡田守彦, 山本忠志, 楠本一樹. 長距離走の筋と腱の力学特性と

する? - ケニア選手をら含むトランナーをポ含む一般討論 - . 査読あり.
 久野峻幸, 楠本一樹, 栗原俊之, 石川昌紀, 川上泰雄, 小田俊明. 個人のアキレス腱形状と筋力データを用いた有限要素シミュレーションによる運動時のアキレス腱局所変形の推定. バイオメカニクス研究. 19, 2015. 査読あり.
 T Oda, T Hisano, DC Hay, R Kinugasa, N Yamamura, T Komatsu, H Yokota, S Takagi. Anatomical Geometry and Thickness of Aponeuroses in Human Cadaver Triceps Surae Muscles. Advanced Biomedical Engineering. 4, pp12-15, 2015. 査読あり.
 K Sano, C Nicol, M Akiyama, Y Kunimasa, T Oda, A Ito, E Locatelli, PV. Komi, M Ishikawa. Can measures of muscle-tendon interaction improve our understanding of the superiority of Kenyan endurance runners? European Journal of Applied Physiology 115, pp 849-859, 2015. 査読あり.
 N Yamamura, JL Alves, T Oda, R Kinugasa, S Takagi. Effect of tendon stiffness on the generated force at the Achilles tendon - 3D Finite Element Simulation of a Human Triceps Surae Muscle during Isometric Contraction. Journal of Biomechanical Science and Engineering. 9, 2014. DOI:10.1299. 査読あり.

[学会発表] (計 8 件)

小田俊明, 久野峻幸, 衣笠竜太. 腱膜の stiffness が筋腱複合体の力発揮特性ならびに変形に及ぼす影響 - 有限要素シミュレーション -. 日本トレーニング科学会, 2016, 11月14日. (学会奨励賞受賞). 横浜桐蔭大学(神奈川). 査読あり.
 M Ishikawa, Y Kunimasa, K Sano, T Hisano, A Makino, T Oda, J Toyooka, C Nicol,

PV Komi. MUSCULOSKELETAL CHARACTERISTICS FOR EAST-AFRICAN TOP DISTANCE RUNNERS. International Society of Biomechanics in Sports, Tsukuba(Ibaraki), 18th on Aug. 2016. 査読あり .
国正陽子, 佐野加奈絵, 久野峻幸, 牧野晃宗, 小田俊明, Nicol C Komi PV, Ishikawa M. ケニア人トップランナーの特徴的な下腿形態の獲得機序. 体力医学会 2016. 岩手大学(岩手). 9月23日. 査読あり .
T Oda, Y Toyoda, T Hisano, K Kusumoto, Y Kunimasa, K Sano, C Nicol, PV Komi, M Ishikawa. Mechanical properties of triceps surae muscle-tendon unit in Kenyan distance runners. European College of Sport Science, Amsterdam (Netherlands) 2014. 6th on July. 査読あり .
T Oda, Y Toyoda, T Hisano, Y Akihara, Y Kunimasa, K Sano, K Kusumoto, C Nicol, PV Komi, M Ishikawa. Mechanical properties of triceps surae muscle-tendon unit in Kenyan and Japanese distance runners. Asia Pacific Conference on Coaching Sciences, Sapporo(Hokkaido), 2014. 12nd on Jul. 査読あり .
T Hisano, K Kusumoto, Y Akihara, M Iwasaki, C Edamatsu, M Ishikawa, T Oda. Morphological Characteristics of Lower Limb in College Track and Field Athletes. Asia Pacific Conference on Coaching Sciences, Sapporo(Hokkaido), 2014. 12nd on Jul. 査読あり .
Y Akihara, T Oda, T Hisano. Relationship between thickness of thigh muscles and competition performances in male high school and college weightlifters. Asia Pacific Conference on

Coaching Sciences, Sapporo(Hokkaido), 2014. 12nd on Jul. 査読あり .
小田俊明, 豊田洋平, 久野峻幸, 楠本一樹, 石川昌紀. ケニア人陸上競技中長距離ランナーの下腿部筋腱の形態的・力学的特徴. 兵庫スポーツ体育学会 2014, 5月31日. 兵庫教育大学(兵庫). 査読あり .

6. 研究組織

(1) 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

(4) 研究協力者

高木 周(TAKAGI, Shuu)
東京大学大学院・工学研究科・教授
山村 直人
(YAMAMURA, Naoto)
東京大学大学院・工学研究科・研究員
Shantanu Sinha
University of California, San Diego, Department of Radiology, Professor.