

令和 5 年 5 月 6 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17733

研究課題名（和文）マルチセンサの有機的統合による運動器不安定症発症予測アルゴリズム開発

研究課題名（英文）Multiple Sensor-Based Predictive Algorithm for Musculoskeletal Diseases

研究代表者

飯島 弘貴 (Iijima, Hirotaka)

名古屋大学・高等研究院（保健）・特任助教

研究者番号：20816631

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、レーザーレンジセンサに圧力センサを同期させた定量的TUG計測システム（Laser-TUG）を用いて、変形性膝関節症患者の機能的移動能力を特徴づけることを目的とした。Laser-TUGシステムによって変形性膝関節症患者の疼痛に伴い歩き始めが制限されること、また、股関節筋力低下と方向転換の遅延の関係が明らかになるなど、変形性膝関節症に伴う機能的移動能低下の新たな特徴が見えてきた。Laser-TUGは非侵襲かつ簡便な評価システムであり、医療現場における診断補助やリハビリテーションの効果判定などの幅広い分野への貢献が今後期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Laser-TUGシステムによって、変形性膝関節症に伴う機能的移動制限の新しい側面を明らかにした。本システムは非侵襲かつ簡便な評価システムであり、医療現場における診断補助やリハビリテーションの効果判定などの幅広い分野への貢献が今後期待される。

研究成果の概要（英文）：The objective of this project was to characterize the functional mobility of patients with knee osteoarthritis using a quantitative TUG measurement system (Laser-TUG) that synchronizes a pressure sensor with a Laser Range Sensor. The Laser-TUG system has revealed new features of functional mobility limitation associated with knee osteoarthritis, such as the delayed walking initiation depending on knee pain severity and delayed turning movement. Laser-TUG is a noninvasive and simple evaluation system that is expected to contribute to a wide range of fields, such as assisting diagnosis and determining the effectiveness of rehabilitation in the medical field.

研究分野：リハビリテーション医学

キーワード：変形性膝関節症 Laser-TUG 機能的移動能力

1. 研究開始当初の背景

変形性膝関節症 (Knee Osteoarthritis: 膝 OA) の機能的移動能力の定量的かつ高精度な評価は、膝関節の運動機能障害に起因する運動器不安定症予防において重要となる。現時点で存在する移動能力評価の中でも、Timed up and go (TUG) 試験は歩行能力や動的バランス、敏捷性などを総合した代表的評価尺度であり、脆弱性を有する高齢者を対象に、カナダの理学療法士である Podsiadlo によって 1991 年に開発された。TUG では、被験者が計測者の合図とともに椅子から立ち上がり、3m 先にあるコーンを回って、再び椅子に座るまでの時間をストップウォッチで計測する。対象者の負担が少なく簡便に評価可能なことから、TUG は運動器疾患や脳血管障害患者等の幅広い疾患を対象に臨床現場で用いられている。しかし、TUG は 1) 起立動作、2) 直線歩行、3) 方向転換等の複数の課題を含有した動的課題であるため、ストップウォッチによる遂行時間の計測だけでは、どの課題において移動能力制限が生じているのかが判別できない。したがって、膝 OA の発症や進行に伴う機能的移動能力制限を評価する目的において、限定的な情報しか得られていない。

2. 研究の目的

本課題では、レーザーレンジセンサ (Laser Range Sensor: LRS) に圧力センサを同期させた定量的 TUG 計測システム (Laser-TUG) を用いて、膝 OA 患者の機能的移動能力を特徴づけることを目的とした。

3. 研究の方法

3 - 1 計測機器の配置、計測の概要

図 1 に計測システムの構成図を示す。両脚の移動軌跡情報を取得するため、LRS1 台を椅子の下に設置する。LRS の光窓部が床から 0.27m の位置となるよう調整することで、各脚が離床した場合でも TUG 中の脚の連続的な移動軌跡情報取得が可能となる。椅子の上には LRS と同期した圧力センサを設置することで、立ち上がり時刻と着座時刻を取得し、TUG 試験の遂行時間を計測する。また、椅子から左右 1.0m の位置にポールを設置することで、椅子前方 3.0m 先に置いたコーンと LRS の位置合わせを行う。

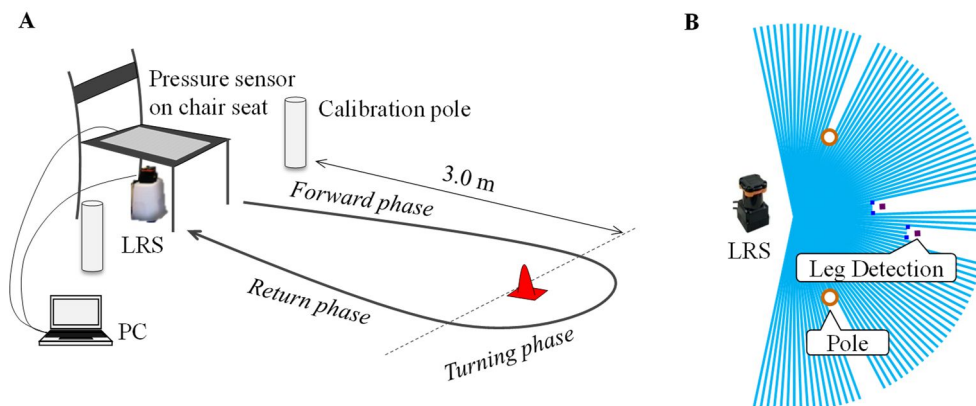


図 1 Laser-TUG system A, System configuration. B, Image of the LRS scan data

Laser-TUG 計測システムの処理は、1) キャリブレーション、2) TUG 計測、3) データ解析の 3 段階に分けられる。キャリブレーションでは、2 本のポールを用いた LRS の位置合わせおよび被験者の脚幅を計測する。TUG 計測プロセスでは、PC から発するブザー音で被験者に TUG 開始指示を与え、LRS の二次元距離情報と座面の圧力データを同期して取得、保存する。座面の圧力データから起立、着座を検出後、データ解析プロセスに移行する。解析プロセスでは、保存した LRS の二次元距離情報を基に両脚の検出ならびに追跡を行う。TUG の方向転換時には、LRS から見て両脚に重なりが生じ、両脚の誤追跡が生じやすい。そこで、脚検出のパターンを 5 種類想定し、想定される各パターン毎に構築した解析アルゴリズムに準じて、脚観測候補点を算出する。また、両脚の位置・速度の関係から歩行位相を判定し、運動特性として歩行位相が周期的に変化することを考慮した相関処理を行う。さらに、隠れによる計測精度の低下に対して、Catmull-Rom スプライン曲線を用いて、隠れている脚の仮想観測値を算出し、仮想観測値を用いて状態量を再度更新する手法を適用する。最後に、取得した移動軌跡に基づいて歩行パラメータを算出する。解析プロセスの詳細は先行研究 (Yorozu A, Sensors 2015) に準じて行った。以下では、算出される時空間歩行パラメータについて記述する。

3 2 時空間歩行パラメータ

ストライド長、歩幅、歩隔を算出するために、まず着床位置を算出する。提案システムでは、LRSは床から27cm(脛骨近位部)の移動軌跡情報を取得することになるため、足部の位置を直接計測することはできない。そこで、脚の速度が最小となった時刻に同脚が床に対して垂直になるという前提条件の下で、支持脚中に脚の速度が最小となった時刻の位置を着床位置として定義する。算出された着床位置に基づき、ストライド長、歩幅、歩隔を算出する。ストライド長は、一時刻前の同脚の着床位置からの距離として算出する。歩幅は反対側の脚に対して進行方向に進んだ距離で、二つの垂線の中点間の距離として算出する。歩隔は一時刻前および後の反対側の脚の着床位置を結ぶ直線に対する垂線の距離として算出する。歩行速度は、左右の脚速度の平均値として算出する。

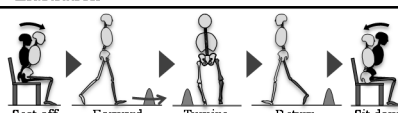


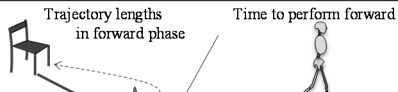
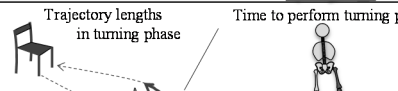
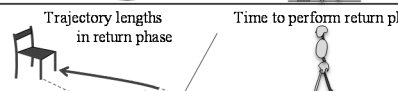
3 3 対象者

膝関節痛の地域検診目的で京都大学に訪問した地域在住高齢者165名(平均年齢:68.6 ± 9.32歳、体格指数:22.8 ± 3.61 kg/m²、女性比70.3%)を対象とした。含有基準は、1)年齢が45歳以上、2)過去に膝関節痛を有しており、最近1ヵ月間で3日/週以上の頻度で関節痛を有している、3)X線画像所見において、膝OA重症度の指標であるKellgren and Lawrence(K&L)分類で1以上、4)歩行補助具を使用せずに屋内歩行が可能、とした。関節の手術既往歴がある者や、関節リウマチや神経学的疾患の合併症を有している者は除外した。なお、全参加者には、本研究の趣旨を書面にて個別で説明し、同意を得た後に実施した。本研究は所属大学の倫理委員会の承認を得ている。

3 - 4 Laser-TUG 試験

上述の対象者165名にLaser-TUGを時計・反時計回りに2回ずつ行ってもらった。TUG試験には、背もたれ付きかつ肘かけがない椅子を使用した。Laser-TUG試験を最初に行う方向は、各被験者の自由とした。全ての計測は、各個人の所有する靴を履いた状態で行った。なお、転倒を防ぐため、全ての計測は運動器疾患のリハビリテーション臨床業務経験を持つ理学療法士の付き添いの下で実施した。表1に膝OA患者における主要評価項目を示す。

表1 Primary outcome measures calculated by Laser-TUG

Outcome measure	Definition Illustration	Description
Time to perform TUG (second)	 Seat off Forward Turning Return Sit down	Time required to seat off the chair, straight walking (forward phase), turning, straight walking (return phase), and sit down.
TUG performance speed (meter/second)	 Trajectory lengths in TUG Time to perform TUG	Trajectory lengths of the center of gravity during TUG divided by time to perform TUG
Sit-to-walk time (second)	 Seat off Initial step	Time required to initial step after seat off the chair
Gait speed in forward phase (meter/second)	 Trajectory lengths in forward phase Time to perform forward phase	Trajectory lengths of the center of gravity during forward phase divided by time to perform TUG
Gait speed in turning phase (meter/second)	 Trajectory lengths in turning phase Time to perform turning phase	Trajectory lengths of the center of gravity during turning phase divided by time to perform TUG
Gait speed in return phase (meter/second)	 Trajectory lengths in return phase Time to perform return phase	Trajectory lengths of the center of gravity during return phase divided by time to perform TUG

/ : Division

4. 研究成果

各評価指標における165名の計測結果のプロットを図2に示す。TUG試験遂行時間 (Time to perform TUG) は 5.89 ± 1.21 秒であり、TUG移動速度 (overall TUG task speed) は 1.25 ± 0.20 m/s であった。起立～歩き始め時間 (Sit-to-walk [STW] time) は 1.25 ± 0.20 秒であった。Forward相における歩行速度は 1.43 ± 0.21 m/s であり、Turning相 (1.21 ± 0.21 m/s) や Return相 (1.16 ± 0.24 m/s) よりも速いことが分かる。

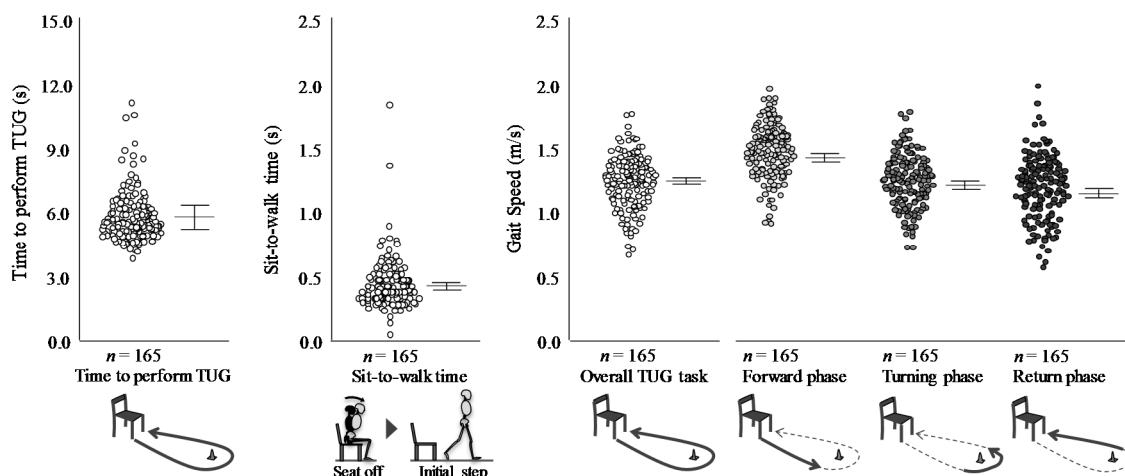


図2 Laser-TUG-calculated outcome measures

次に、膝 OA 患者の関節痛と Laser-TUG の関係性を評価した。関節痛の重症度には、変形性膝関節症機能評価尺度 (Japanese Knee Osteoarthritis Measure: JKOM) の細項目である「痛みとこわばり」を使用した。線形重回帰分析の結果、関節痛がより重症な患者では、Time to perform TUG がより長かった (0.047 秒; 95%信頼区間 $0.002 - 0.091$ 秒)。TUGの相ごとに解析すると、STW time 遅延が関節痛重症度と関連していた。

最後に、下肢筋力と Laser-TUG の関係性を評価したところ、股関節外転筋力低下と方向転換の遂行遅延に有意な関係が認められた。一方、その他の相では股関節外転筋力との有意な関係性は見られなかった (図3)。

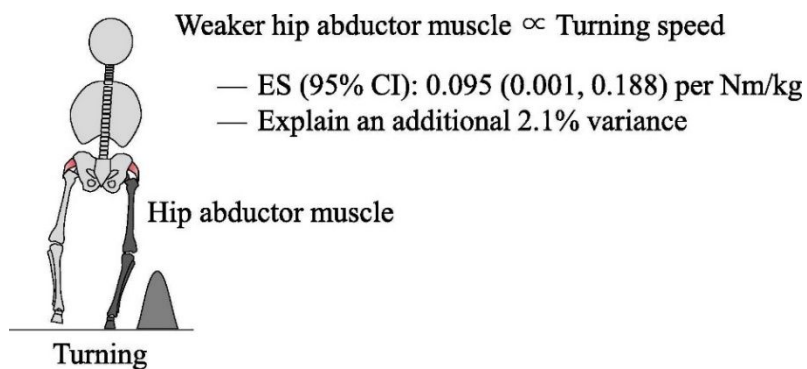


図3 膝 OA 患者の股関節外転筋力低下と方向転換速度低下は関連する

以上の結果を総合的に踏まえると、Laser-TUG システムによって膝 OA 患者の疼痛に起因する歩き始め (STW time) が制限されること、また、膝 OA 患者の特徴である股関節筋力低下と方向転換の遅延の関係が明らかになるなど、膝 OA に伴う機能的移動能低下の新たな特徴が見えてきた。Laser-TUG は非侵襲かつ簡便な評価システムであり、医療現場における診断補助やリハビリテーションの効果判定などの幅広い分野への貢献が今後期待される。なお、本研究は2020年に国際誌 Journal of Biomechanics にて発表済である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13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 Iijima H, Eguchi R, Shimoura K, Aoyama T, Takahashi M	4. 巻 72
2. 論文標題 Stair Climbing Ability in Patients with Early Knee Osteoarthritis: Defining the Clinical Hallmarks of Early Disease	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Gait Posture	6. 最初と最後の頁 148-153
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2019.06.004. Epub 2019 Jun 6.	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 Iijima H, Suzuki Y, Aoyama T, Takahashi M	4. 巻 -
2. 論文標題 Relationship between varus thrust during gait and low back pain in people with knee osteoarthritis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Arthritis Care 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) 10.1002/acr.24020	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 Iijima H, Shimoura K, Aoyama T, Takahashi M	4. 巻 -
2. 論文標題 Low Back Pain as a Risk Factor for Recurrent Falls in People with Knee Osteoarthritis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Arthritis Care 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) 10.1002/acr.24136	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 Iijima H, Yorozu A, Suzuki Y, Eguchi R, Aoyama T, Takahashi M	4. 巻 101
2. 論文標題 Hip Abductor Muscle Weakness and Slowed Turning Motion in People with Knee Osteoarthritis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Biomech	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.jbiomech.2020.109652	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 Iijima H, Takahashi M	4. 巻 79
2. 論文標題 State of the Field of Waist-Mounted Sensor Algorithm for Gait Events Detection: A Scoping Review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Gait Posture	6. 最初と最後の頁 152-161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2020.03.021	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 Iijima H, Eguchi R, Shimoura K, Yamada K, Aoyama T, Takahashi M	4. 巻 10(1)
2. 論文標題 Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation Improves Stair Climbing Capacity in People with Knee Osteoarthritis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-020-64176-0	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 Iijima H, Shimoura K, Eguchi R, Aoyama T, Takahashi M.	4. 巻 68
2. 論文標題 Concurrent Validity and Measurement Error of Stair Climb Test in People with Pre-radiographic to Mild Knee Osteoarthritis.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Gait Posture	6. 最初と最後の頁 335-339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2018.12.014.	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 Suzuki Yusuke, Iijima Hirotaka, Nakamura Masatoshi, Aoyama Tomoki	4. 巻 17
2. 論文標題 Rate of force development in the quadriceps of individuals with severe knee osteoarthritis: A preliminary cross-sectional study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	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) 10.1371/journal.pone.0262508	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 Koyama Takafumi, Fujita Koji, Iijima Hirotaka, Norose Mio, Ibara Takuya, Sasaki Toru, Yoshii Toshitaka, Nimura Akimoto, Takahashi Masaki, Okawa Atsushi	4. 巻 47
2. 論文標題 Analysis of Spastic Gait in Patients With Cervical Myelopathy Using the Timed Up and Go Test With a Laser Range Sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Spine	6. 最初と最後の頁 892 ~ 898
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1097/BRS.0000000000004284	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 Shimizu Hiroki, Shimoura Kanako, Iijima Hirotaka, Suzuki Yusuke, Aoyama Tomoki	4. 巻 41
2. 論文標題 Functional manifestations of early knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clinical Rheumatology	6. 最初と最後の頁 2625 ~ 2634
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10067-022-06150-x	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 Ogawa Ami, Iijima Hirotaka, Takahashi Masaki	4. 巻 19
2. 論文標題 Identification of Early Knee Osteoarthritis Based on Knee Joint Trajectory during Stair Climbing	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 15023 ~ 15023
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph192215023	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 Kawabata Sora, Murata Kenji, Iijima Hirotaka, Nakao Kouki, Kawabata Riku, Terada Hidenobu, Kojima Takuma, Takasu Chiharu, Kano Takuma, Kanemura Naohiko	4. 巻 54
2. 論文標題 Ankle instability as a prognostic factor associated with the recurrence of ankle sprain: A systematic review	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Foot	6. 最初と最後の頁 101963 ~ 101963
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foot.2023.101963	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 Yokoyama Moeka, Iijima Hirotaka, Kubota Keisuke, Kanemura Naohiko	4. 巻 -
2. 論文標題 Exploring the modification factors of exercise therapy on biomechanical load in patients with knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Clinical Rheumatology	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) 10.1007/s10067-023-06553-4	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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Iijima H, Shimoura K, Aoyama T, Takahashi M
2. 発表標題 Moderate to Severe LBP was Associated with Recurrent Falls in People with Knee Osteoarthritis
3. 学会等名 ORS 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Iijima H, Aoyama T
2. 発表標題 Sarcopenic Knee Osteoarthritis: A Risk Factor for Recurrent Falls
3. 学会等名 ORS 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Iijima H, Takahashi M
2. 発表標題 Waist-Mounted Sensor Algorithm for Gait Events Detection: A Scoping Review
3. 学会等名 ORS 2020 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Iijima H, Eguchi R, Shimoura K, Aoyama T, Takahashi M.
2. 発表標題 Poor Stair Climbing Capacity in Early Knee Osteoarthritis: Toward a Defining Clinical Hallmarks of Early Disease.
3. 学会等名 ORS 2019 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D'Amico E, Iijima H, Sahu A, Ambrosio F
2. 発表標題 Defining the age-related role of the infrapatellar fat pad in the development of knee osteoarthritis: a mechanistic study.
3. 学会等名 9th Annual International Symposium on Regenerative Rehabilitation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hoki A, D'Amico E, Ambrosio F, Iwasaki T, Matsuda Y, Iijima H
2. 発表標題 Ultrasound measurement of decreased vastus medialis quality as a marker for increased structural abnormalities in early knee osteoarthritis: a case-control study
3. 学会等名 OARS12023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hoki A, D'Amico E, Ambrosio F, Matsuda Y, Iijima H
2. 発表標題 Accelerated age-related decline in quadriceps muscle quality in the setting of knee osteoarthritis: a systematic review with network meta-analysis
3. 学会等名 OARS12023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamagata M, Kimura T, Chang AH, Iijima H
2. 発表標題 Sex-specific knee biomechanics in persons with and without knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis
3. 学会等名 OARS12023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 法貴篤史, 飯島弘貴
2. 発表標題 加齢とともに低下する骨格筋の質は変形性膝関節症発症によってさらに悪化する:メタアナリシスによる検討
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 法貴篤史, 飯島弘貴, 岩崎翼, 松田芳和
2. 発表標題 変形性膝関節症の初期における関節内病変と内側広筋の質的变化の特異的相関
3. 学会等名 第27回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022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
---------------------------	-----------------------	----

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		
米国	University of Pittsburgh	Harvard Medical School	