

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K09104

研究課題名(和文) 立位撮影3D-MRIを用いた立位荷重環境下の股関節動態の解明

研究課題名(英文) Analysis of Hip Biomechanics in the Standing Position using the Upright 3D-MRI Scanner

研究代表者

高尾 正樹 (Takao, Masaki)

愛媛大学・医学系研究科・教授

研究者番号：30528253

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)：本研究の目的は、立位荷重負荷による三次元的な腰仙椎のアライメント変化とそれに伴う仙腸関節、股関節の動態を解析し、立位負荷下での仙腸関節、股関節の動態を明らかにすることである。撮影条件および精度検証のため、専用ファントムを作成し、測定誤差が 0.127° であることをしめた。次に20歳代の健常人ボランティア20名を対象に臥位、立位の3D-MRIを撮影した。健常人は臥位から立位で仙腸関節は 1° 後傾、仙骨傾斜は 4° 後傾し、骨盤傾斜は 5° 後傾していた。男女別でみると女性の方が臥位から立位で 1° 程度仙腸関節は後傾していた。健常者では、臥位、立位間の有意な位置変化は認めなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

3D-MRIを用いて立位荷重負荷に対する下肢の関節の動態を検証する手法を開発し、その精度が臨床評価可能なレベルであることを証明した。健常人の仙腸関節および股関節の動態を明らかにし、その正常値を示すことができた。今後病的状態にある関節の動的な不安定性を検証する重要な参考値を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to analyze three-dimensional changes in lumbosacral spine alignment due to standing load and the accompanying dynamics of the hip joint. A special phantom was made to verify the imaging conditions and measurement accuracy, The measurement error was shown to be 0.127° . Next, 20 healthy volunteers in their twenties were subjected to 3D-MRI in the supine and standing positions. In normal subjects, the sacrum tilted 3° posteriorly, and the pelvis tilted 4° posteriorly from the supine to standing position. The sacrum rotated 1° posteriorly at the sacroiliac joint. By gender, the sacroiliac joint was tilted posteriorly by about 1° from the supine to the standing position in the female compared to the male. In normal subjects, hip joint instability between the supine and standing positions could not be verified.

研究分野：整形外科

キーワード：立位撮影3DMRI 股関節 仙腸関節 立位荷重負荷

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

加齢に伴い立位荷重下の腰仙椎のアライメントや骨盤傾斜が変化し、腰仙椎や股関節障害の一因であることが報告されているが、その程度は不明である[1]。また骨盤と脊椎の連結部である、仙腸関節はもっとも荷重ストレスがかかる部位であり、原因不明の腰痛の発生源として注目されているが、その立位荷重下の生理的動態は不明である。股関節は球関節であり、従来骨性にきわめて安定していると考えられていたが、股関節周囲筋や、関節包靭帯、関節唇などの軟部組織の制動が重要な役割を果たし、骨形態異常や外傷などの様々な要因により不安定性をきたし関節障害を引き起こすことが注目されている[2][3]。一方で立位荷重環境下での股関節の生理的動態(安定性)は不明である。

荷重負荷に対する関節の安定性は、いままで立位での単純 X 線撮像による二次元評価が行われているが、三次元的な評価には限界があった[4]。仰臥位で特製の器具を用いて疑似的に股関節に荷重負荷をかけて CT、MRI を撮影することも行われてきたが、実際に全身に重力がかかり脊椎や下肢のアライメントが荷重に応答し変化した状態での三次元的な関節の動態の評価は再現できていない。運動器疾患は、立位で症状が誘発されるものが多く、立位での荷重負荷に対する病的な関節動態を三次元的に分析することがその病態解明には重要である。

われわれは、5,000 例を超える下肢運動器疾患の X 線画像、CT 画像の大規模データベースを構築し、骨格の二次元 X 線画像に CT 画像をコンピュータ計算にて自動マッチングすることにより立位姿勢を三次元解析するシステムの開発をおこなってきた[5][6]。また臥位撮影の CT/MRI 画像から骨格構造、筋肉構造を自動抽出し、骨質、筋量、筋質、筋走行を三次元解析するシステムの開発を行ってきた。取得されたデータを利用し、骨格、筋肉の統計モデルの構築も行った。立位荷重位での筋骨格構造の解析と荷重ストレスバイオメカニクス標準モデルの構築を目的に、立位にて 3D-MRI 撮影が可能な MRI 機器 (G Scan Brio, Esaote, Italy) を本邦で初めて導入した。立位姿勢により重力負荷がかかった状態での筋骨格のアライメント変化と関節安定性を、三次元画像を用いて高精度に評価した報告はこれまでなく、靭帯組織や筋肉組織などの軟部組織の構造変化を解析した報告もこれまでない。筋骨格の生理的、病的な立位荷重応答を分析し、データベース化するプロジェクトを今回立ち上げた。

2. 研究の目的

立位荷重負荷による三次元的な腰仙椎のアライメント変化と仙腸関節、股関節の動態の生理的状态を解析し、立位荷重負荷下での腰仙椎アライメント変化とそれに伴う仙腸関節および股関節安定性がどの程度であるかを明らかにすることを目的としている。

3. 研究の方法

3 - 1. 精度検証

骨盤と仙骨からなる骨盤輪乾燥骨をゲルで満たした容器に入れ、冷凍し固定した。その容器を MRI 撮影台に固定し、臥位と立位を模倣し撮影を行った(図 1)。各々の画像をマニュアルトレースで腸骨、仙骨を抽出し濃淡値で剛体位置合わせを行い、仙腸関節の矢状面変化を測定した。仙腸関節の矢状面変化は 0° を ground truth として定義し、測定した矢状面変化を誤差と定義した。

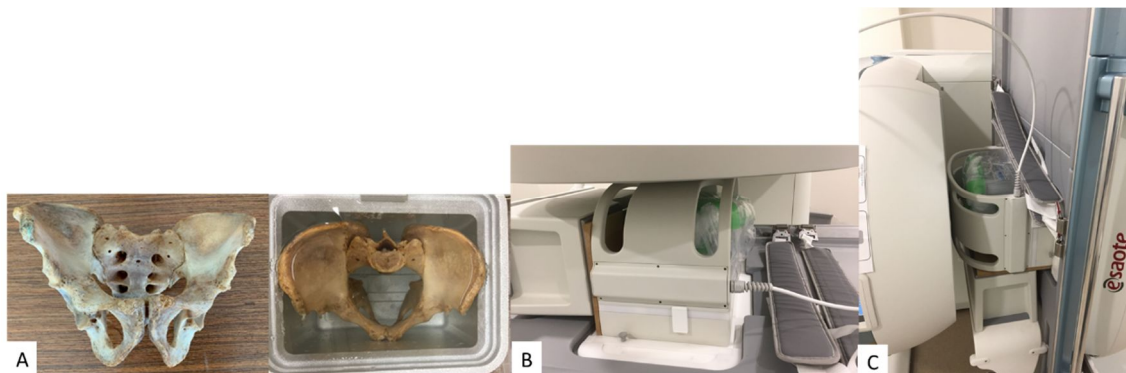


図 1. 精度検証用ファントム A. 乾燥骨骨盤、B. 疑似仰臥位 MRI 撮影 C. 疑似立位 MRI 撮影

3 - 2. 立位荷重負荷による骨盤傾斜変化と仙腸関節、股関節動態の解明 [7]

対象は問診で股関節痛、腰痛がなく、股関節、腰椎疾患の既往のないことを確認した 20 歳代の健康人ボランティア 19 例とした。平均年齢 23.9 歳、男性 10 例、女性 9 例であった。3D -MRI

装置 G-scan(Esaote 社,イタリア)を用いて臥位、立位の MRI を撮影した(図 2)。仙骨、腸骨領域をマニュアルで抽出し、濃淡値ベースの剛体の位置合わせを行い、臥位から立位への仙骨傾斜、仙腸関節の矢状面変化を測定した(図 3)。また、仙骨傾斜と仙腸関節の変化を合わせたものを骨盤傾斜と定義し、男女別に比較した。股関節同様に骨盤、大腿骨について位置合わせを行い、臥位・立位間の変位を計測した。

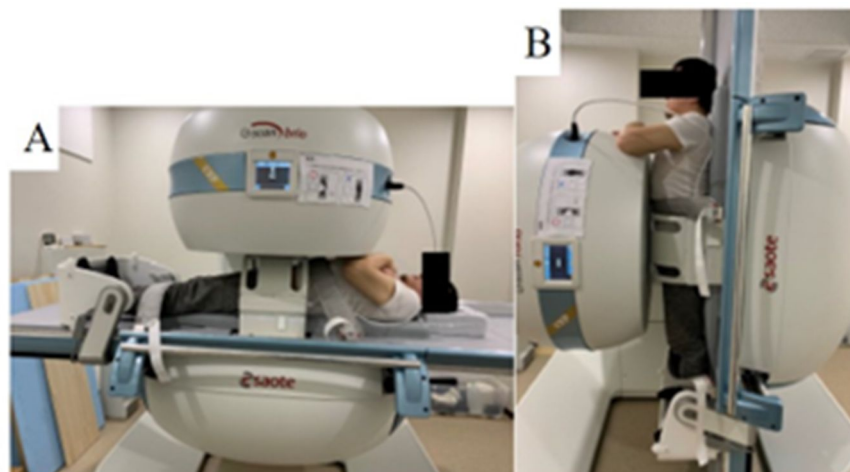


図 2 . MRI 撮影状況。A 仰臥位 MRI 撮影、B. 立位 MRI 撮影

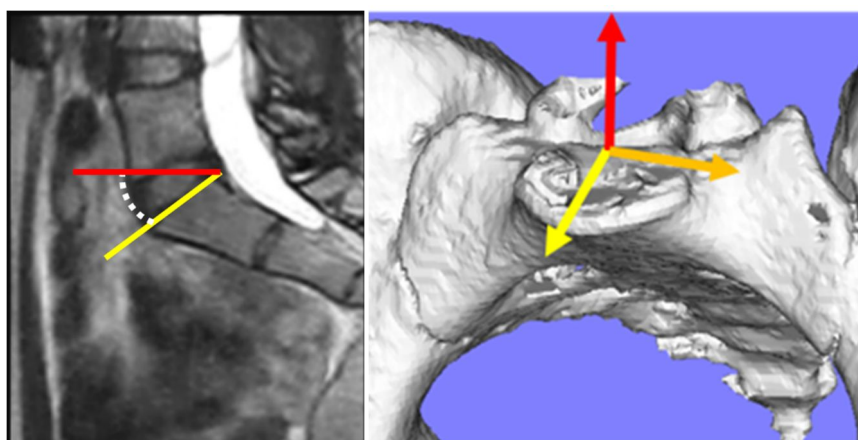


図 3 . 仙骨部矢状面 MRI と 3D 立体画像。X 軸 (黄色矢印)、Y 軸 (橙色矢印) Z 軸 (赤矢印) からなる座標軸を設定した。

3 - 3 . 股関節外転外旋動作における関節安定性と大腰筋腱の動態の解明

健常男性 5 名(平均年齢 33.8 歳)に対して股関節の屈曲/外転/外旋を $0^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ 、 $0^{\circ}/30^{\circ}/0^{\circ}$ 、 $30^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ 、 $30^{\circ}/30^{\circ}/30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ 、 $60^{\circ}/30^{\circ}/30^{\circ}$ の肢位で MRI を撮像した。MRI 画像を 3D-Slicer にインポートし、大腰筋腱、骨盤、大腿骨を抽出した。各肢位で寛骨臼・大腿骨に対する大腰筋内腱との 5mm 以下の近接部位をマッピングし、寛骨臼と骨頭に近接する部位を評価した。寛骨臼前壁を下前腸骨棘部、Psoas Valley 部、腸恥隆起部に 3 つのゾーンに分けた。大腿骨頭前面は大腿骨頭中心を基準に上下内外の 4 つのゾーンにわけた。

3 - 4 . 変形性股関節症患者の股関節周囲筋の 3 次元解析と QOL との関連調査 [8]

股関節周囲筋の機能評価の派生研究として片側性変形性股関節症患者の股関節周囲筋萎縮の 3 次元評価と QOL との関連調査を 44 例の 3 DCT データを用いて行った。

4 . 研究成果

4 - 1 . 精度検証

仙腸関節の矢状面変化の測定誤差は 0.17° であった。X 回転製粉は 0.02° 、Y 軸回転成分は 0.17° 、Z 成分は 0.02° であった。検者間誤差は 0.08 度、検者内誤差は 0.04 度であった。

4 - 2 . 立位荷重負荷による骨盤傾斜変化と仙腸関節動態 [7]

全体で臥位から立位で仙骨傾斜は 3.9° 後傾、仙腸関節は 1.3° 後傾し、骨盤傾斜としては 5.2° 後傾していた。男女別にみると、仙骨傾斜は男性 3.8° 後傾、女性 3.9° 後傾していた。仙

腸関節は男性 0.9° 後傾、女性 1.7° 後傾し女性の方が有意に後傾していた (p=0.04)。骨盤傾斜は男性 4.7° 後傾、女性 5.6° 後傾していたが男女で有意差は認めなかった。結論として健常人は臥位から立位で仙腸関節は 1° 後傾、仙骨傾斜は 4° 後傾し、骨盤傾斜は 5° 後傾していた。男女別でみると女性の方が臥位から立位で 1° 程度仙腸関節は後傾していた。

股関節では臥位・立位間で有意な変化は認められなかった。

本結果は、第 14 回日本 CAOS 研究会・第 26 回日本最小侵襲整形外科学会で発表し、優秀 web presentation 賞を受賞した。

表 1. 立位、仰臥位間の仙腸関節動態と仙骨傾斜変化

	合計	女性	男性	P 値
仙腸関節動態				
X 回転 (°)	-1.32 ± 0.8	-1.7 ± 0.8	-0.9 ± 0.7	0.04
Y 回転 (°)	-0.19 ± 0.43	-0.06 ± 0.42	-0.19 ± 0.45	0.74
Z 回転 (°)	0.02 ± 0.32	0.01 ± 0.34	-0.08 ± 0.33	0.32
仙骨矢状面傾斜				
仰臥位仙骨傾斜 (°)	35.6 ± 3.6	34.4 ± 3.6	37.0 ± 3.2	0.08
立位仙骨傾斜 (°)	31.7 ± 4.6	30.5 ± 4.0	33.0 ± 4.5	0.10
仙骨傾斜変化 (°)	-3.9 ± 3.1	-3.9 ± 2.2	-3.8 ± 3.5	0.71

4 - 3 . 股関節外転外旋動作における関節安定性と大腰筋腱の動態の解明

寛骨臼に対する大腰筋内腱の動態は、いずれの肢位においても Psoas Valley 部と近接し、その距離は平均 0.53mm (0.38-0.69 mm) であった (図 4)。大腿骨頭に対する大腰筋内腱の動態として、いずれの肢位においても大腿骨頭の内下方と近接しており、その距離は平均 0.62mm (0.61-0.63 mm) であった。大腰筋腱の寛骨臼前壁、大腿骨頭部での走行経路を FABER 肢位から中間位の過程で分析したが、その部位は肢位により変化はなく、Psoas Valley 部と大腿骨頭内下方であった。大腰筋腱の滑動部位は限定的で、股関節の前方安定性に寄与していることが示された。また同部位での異物や骨性突出などの物理的干渉が大腰筋腱の Snapping や Irritation の原因となることが示唆された。

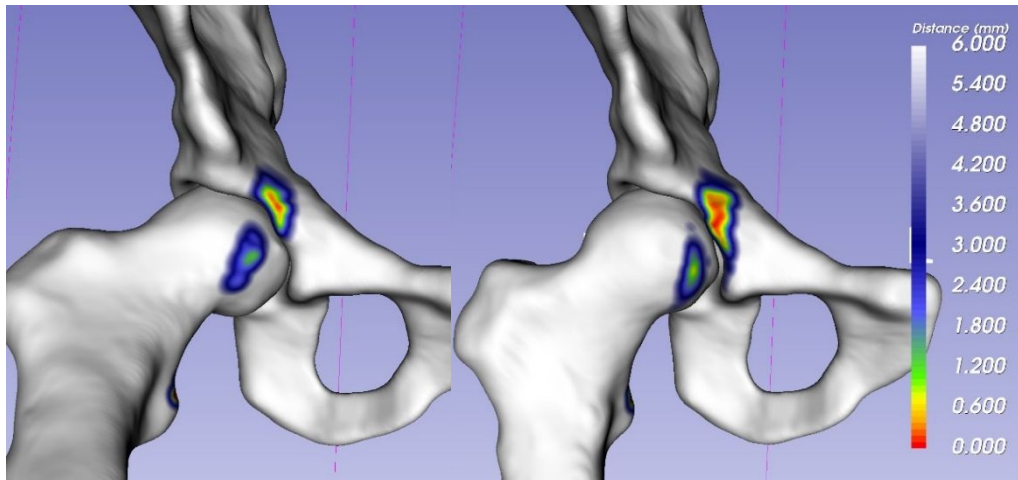


図 4. 股関節外転外旋位と中間位の股関節動態と大腰筋腱の近接部位のカラーマップ

4 - 4 . 変形性股関節症患者の股関節周囲筋の 3 次元解析と QOL との関連調査 [8]

腸腰筋の脂肪変性が QOL の身体機能評価と相関しており、腸腰筋の QOL 維持における重要性が確認された。

参考文献

- [1] Jo WL, et al. Decreased Lumbar Lordosis and Deficient Acetabular Coverage Are Risk Factors for Subchondral Insufficiency Fracture. *J Korean Med Sci.* 2016 Oct;31(10):1650-5.
- [2] Canham CD, et al. Does Femoroacetabular Impingement Cause Hip Instability? A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2016 Jan;32(1):203-8.
- [3] Wilkin GP, et al. A Contemporary Definition of Hip Dysplasia and Structural Instability: Toward a Comprehensive Classification for Acetabular Dysplasia. *J Arthroplasty.* 2017 Sep;32(9S):S20-S27.
- [4] Pytiak A, et al. Analysis of spinal alignment and pelvic parameters on upright radiographs: implications for acetabular development. *J Hip Preserv Surg.* 2016 Apr;3(3):208-14.
- [5] Uemura K, Takao M, Otake Y, et al. Can Anatomic Measurements of Stem Anteversion Angle Be Considered as the Functional Anteversion Angle? *J Arthroplasty.* 2017 (in press)
- [6] Uemura K, Takao M, Otake Y, et al. Change in Pelvic Sagittal Inclination From Supine to Standing Position Before Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2017 Aug;32(8):2568-2573.
- [7] Tani T, Takao M, Soufi M et al. Rotational-motion measurement of the sacroiliac joint using upright MRI scanning and intensity-based registration: is there a sex difference? *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2023 Jan;18(1):79-84.
- [8] Iwasa M, Takao M, Soufi M, Uemura K, Otake Y, Hamada H, Sato Y, Sugano N, Okada S. Artificial intelligence-based volumetric analysis of muscle atrophy and fatty degeneration in patients with hip osteoarthritis and its correlation with health-related quality of life. *Int J Comput Assist Radiol Surg.* 2023 Jan;18(1):71-78.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2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 高尾 正樹.	4. 巻 22
2. 論文標題 筋骨格系(解説)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本コンピュータ外科学会誌	6. 最初と最後の頁 172-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5759/jscas.22.172	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 Tani T, Takao M, Soufi M, Otake Y, Fukuda N, Hamada H, Uemura K, Sato Y, Sugano N.	4. 巻 18
2. 論文標題 Rotational-motion measurement of the sacroiliac joint using upright MRI scanning and intensity-based registration: is there a sex difference?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Int J Comput Assist Radiol Surg.	6. 最初と最後の頁 79-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11548-022-02806-w	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 Iwasa M, Takao M, Soufi M, Uemura K, Otake Y, Hamada H, Sato Y, Sugano N, Okada S.	4. 巻 18
2. 論文標題 Artificial intelligence-based volumetric analysis of muscle atrophy and fatty degeneration in patients with hip osteoarthritis and its correlation with health-related quality of life.	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Int J Comput Assist Radiol Surg.	6. 最初と最後の頁 71-78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11548-022-02797-8	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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 4件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 江浪秀明、高尾正樹、福田紀生、平島雅也、濱田 英敏、安藤 渉、菅野 伸彦
2. 発表標題 大腰筋腱の寛骨臼、大腿骨頭上の滑動部位 - 大口径MRIを用いた動態解析
3. 学会等名 第15回日本CAOS研究会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 江浪秀明、高尾正樹、福田紀生、近田彰治、梅原潤、平島雅也、上村圭亮、濱田英敏、菅野伸彦
2. 発表標題 大腰筋腱の寛骨臼上の滑動部位 - 大口径MRIを用いた動態解析 -
3. 学会等名 第52回日本人工関節学会
4. 発表年 2021年～2022年

1. 発表者名 谷 哲郎, 高尾 正樹, Soufi Mazen, 大竹 義人, 濱田 英敏, 安藤 渉, 佐藤 嘉伸, 菅野 伸彦
2. 発表標題 立位MRI装置を使用した健常人での仙腸関節も含めた骨盤傾斜の解析
3. 学会等名 第14回日本CAOS研究会・第26回日本最小侵襲整形外科学会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Takao M.
2. 発表標題 Special Symposia "Current Trends and Future Perspectives of Computer Assisted Orthopaedic Surgery"
3. 学会等名 28th Annual Meeting European Orthopaedic Research Society (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷哲郎, 高尾正樹, Soufi Mazen, 濱田英敏, 安藤渉, 大竹義人, 佐藤嘉伸, 菅野伸彦
2. 発表標題 立位MRIの精度検証
3. 学会等名 第28回日本コンピュータ外科学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高尾正樹, 谷哲郎, 濱田英敏, 安藤渉, 菅野伸彦.
2. 発表標題 シンポジウム 股関節の動態解析から得られた新たな知見 発育性股関節形成不全症患者の骨盤傾斜
3. 学会等名 第47回日本関節病学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高尾正樹.
2. 発表標題 股関節周囲筋、関節包靭帯の解剖と機能
3. 学会等名 第5回日本股関節学会教育研修セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高尾正樹
2. 発表標題 教育研修講演: コンピュータ支援整形外科とAI
3. 学会等名 第92回日本整形外科学会学術総会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takao M, Sakai T, Hamada H, Sugano N.
2. 発表標題 Pelvic tilt in THA
3. 学会等名 The 41st Annual Meeting of the Royal College of Orthopaedic Surgeons of Thailand (RCOST) JOA visiting RCOST (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福田紀生、Soufi Mazen、高尾正樹、大竹義人、栗田侑樹、岩佐諦、谷哲郎、菅野伸彦、佐藤嘉伸
2. 発表標題 立位MRIにおける筋線維トラクトグラフィーに基づいた股関節周囲筋の変形解析
3. 学会等名 第13回日本CAOS研究会
4. 発表年 2019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	佐藤 嘉伸 (Sato Yoshinobu) (70243219)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授 (14603)	
研究分担者	大竹 義人 (Otake Yoshito) (80349563)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・准教授 (14603)	

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
---------	---------