

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04550

研究課題名（和文）人工関節患者の筋骨格動態四次元認識システムの開発

研究課題名（英文）Four-dimensional Recognition of Musculoskeletal Movement for Patients with Artificial Joints

研究代表者

大竹 義人（Otake, Yoshito）

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

研究者番号：80349563

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、人工関節患者の筋骨格動態を四次元で解析するシステムを開発することを目指した。高精度の筋骨格解剖モデルの構築、個体間の解剖バリエーションの推定、動態変形バリエーションの推定、そしてこれらのバリエーションを学習したAIの構築を行った。具体的には、668症例の人工股関節患者の下肢全体CTのデータベースから、59個の筋骨格部位の全自動領域抽出を行い、統計形状モデルを構築するとともに、これを用いて一部分のみを撮影したCTから下肢全体を推定し、筋骨格動態シミュレーションシステム（AnyBody）での患者個別の下肢全体筋骨格動態解析を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、人工関節患者の筋骨格動態の詳細な理解と診断の精度向上を目指し、筋骨格解剖モデルの高度化とAIによる四次元認識システムの開発を行った。これにより、個々の患者の身体構造のバリエーションと動態変形を正確に評価し、個別化された治療プランの提供やリハビリテーションの効果向上に寄与する可能性がある。さらに、医療分野のAI技術の進化とともに、本研究の成果は適応範囲を広げ、健康な個体の運動機能の評価やスポーツ科学、生物力学の分野における新たな知見をもたらす可能性がある。このような取り組みは、健康増進と高齢社会におけるQOLの向上に貢献すると考える。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a system for analyzing the musculoskeletal dynamics of patients with artificial joints in four dimensions. We constructed highly precise musculoskeletal anatomical models, estimated anatomical variations between individuals, estimated dynamic deformation variations, and developed an AI that learned these variations. Specifically, we performed automatic region extraction of 59 musculoskeletal parts from a database of full lower limb CT data from 668 cases of patients with artificial hip joints. We built a statistical shape model and used it to estimate the whole lower limb from a CT that captured only a part of it. This allowed us to achieve patient-specific full lower limb musculoskeletal dynamic analysis in the musculoskeletal dynamics simulation system (AnyBody).

研究分野：医用画像解析

キーワード：患者個別筋骨格モデリング 四次元動態認識 人工関節患者 X線動画像 非侵襲筋骨格動態計測

1. 研究開始当初の背景

現状の筋骨格機能解析で用いられる人体モデル(OpenSim¹, AnyBody²)は、ひも状に簡易化された筋肉と標準モデルをスケーリング変形した骨格であるため、一部の筋肉の減少や骨格変形を呈する患者の解析は困難である。NMS Builder³など、医用画像から構築した被験者個別の骨格形状を用いるシステムが開発され始めているが、機能解析に最も重要な患者個別の筋肉モデルは、その形状や走行の取得が困難なため、実用化されていない。ひも状筋モデルと表面筋電計測を組み合わせた筋機能推定⁴も研究されているが、医用画像に基づく動作中の実際の筋骨格の三次元的な動きの評価は行われていない。診断用のX線撮影が可能な患者については、図1aに示すような複数肢位での疑似動態撮影や歩行時の膝関節動態の解析⁵が行われているが、いずれも骨格のみを対象としている。一方で研究代表者らは、コントラストの低いCT画像中の個別筋肉領域を、深層学習により自動認識する手法を確立し⁶、さらにその筋肉領域の投影像の学習により、X線投影像から骨格と個々の筋肉を分離できる可能性がある事を示した(図1b)。

本提案は、この予備実験の成果と、研究代表者らが取り組んできたX線投影像とCTの位置合わせ手法⁷(図1a右の骨格位置合わせに用いた)を拡張することで、X線動画像からの骨格・筋肉の三次元形状と動きの認識に取り組むと共に、医用画像による定量的な裏付けを持った筋骨格機能解析を行う。

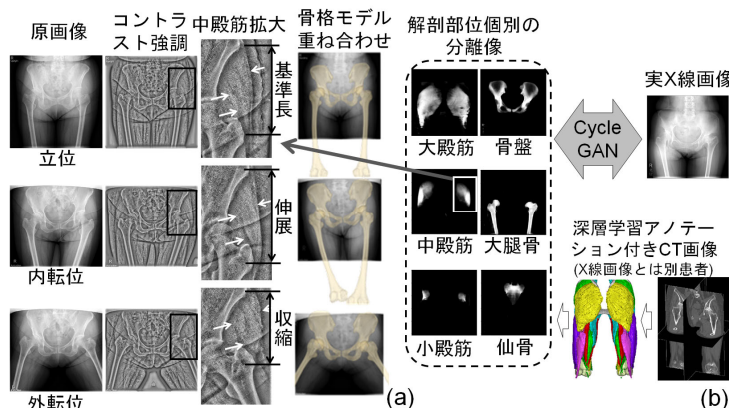


図1 X線動画像に含まれる筋変形の情報と深層学習による筋骨格認識・三次元再構築の予備実験例

文献: [1] opensim.stanford.edu, [2] www.anybodytech.com, [3] www.nmsbuilder.org, [4] Durandau, G. et al., IEEE Trans Biomed Eng 2018;65(3):556-64, [5] Englander, Z. A. et al., J Biomech 2019;90:123-7, [6] Hiasa, Y. et al., IEEE Trans Med Img 2019;39(4):1030-40, [7] Otake, Y. et al., IEEE Trans Med Img 2012;31(4):948-62

2. 研究の目的

本研究は大きく以下の4つの小目的から構成される、1) 高忠実性筋骨格解剖モデル(テンプレートモデル)の構築、2) 筋骨格解剖の個体間バリエーションの推定、3) 動態変形バリエーションの推定、4) 2,3のバリエーションを学習したAIの構築と医用画像に基づく精度検証。以下に研究目的を具体的に述べる。

(1) 高忠実性筋骨格解剖バイオメカニクスモデルの構築: 高精度なバイオメカニクスシミュレーションを実現するためのテンプレート構築のため、人体解剖を忠実に反映した筋骨格モデルを構築する。特に骨格・筋肉の全体形状だけでなく、従来動作解析において考慮されることがなかった筋線維や腱・靭帯線維の走行といった、力の発生・伝達方向に寄与する要素のモデル化に重点を置く。

(2) 医用画像データベースに基づく個体間解剖バリエーションの推定: 前項で構築した高忠実性筋骨格解剖モデルを、1,000症例以上の患者のCT画像に非剛体位置合わせする事で、対象とする人工関節患者群の持つ筋骨格解剖の個体間バリエーションの統計モデルを構築する。特に、多数の解剖構造が密集して一つの機能単位を構成している骨格筋においては、周囲の筋との干渉や付着部を介した骨格との連結関係(起始・停止部位)を考慮し、複数の筋骨格を同時に統計モデル化することが不可欠となるため、新規のモデル化手法を開発する。

(3) 筋骨格の動態変形バリエーションの推定: (a)患者個別の医用画像から構築した筋骨格モデル、(b)患者動作を計測したX線動画像とモーションキャプチャ、(c)バイオメカシミュレーション、の三つから動作時の骨格の動きと三次元的な筋変形を推定する。

(4) 筋骨格動態四次元認識AIの構築と医用画像を用いた評価: 解剖構造バリエーションと変形バリエーションを学習したAIを構築し、X線動画像から動作時の筋骨格の三次元的な変形を推論するシステムを開発する。さらに、ランダムに抽出した少数の症例に対して、MRI動画像と数肢位での長尺X線画像を使った疑似動態画像を撮影し、推定精度を検証する。

3. 研究の方法

以下、4つの小目的に分けて研究方法を述べる。

(1) 高忠実性筋骨格解剖バイオメカニクスモデルの構築: 被験者個別の筋線維構造を反映したバ

イオメカニクスモデリングを、VIPER(Volume Invariant Position-based Elastic Rods)と呼ばれる弾性体シミュレーター[1]を用いて行った。骨盤と大腿骨に付着する大・中・小殿筋のモデリングを行い、股関節の動作に伴う筋肉間の干渉を含むシミュレーションを行うことで、各筋肉の形状変形と線維走行の変化を予測した。

(2) 医用画像データベースに基づく個体間解剖バリエーションの推定：共同研究先の大阪大学整形外科と構築している人工股関節疾患患者の CT データベースから、下肢全体を撮影範囲に含む 668 症例を抽出し、59 個の筋骨格構造を全自動でセグメンテーションし、表面形状の非剛体位置合わせを行った後に統計形状モデルを構築した。筋肉と骨格を同時に統計モデル化することで、連結関係（起始・停止部位）や周囲の筋との関係を考慮した統計モデルが構築できた。

(3) 筋骨格の動態変形バリエーションの推定：一名の人工股関節設置前の患者を対象に、骨盤から膝までの範囲の CT 画像から構築した筋骨格モデルとモーションキャプチャにより得られた動作データに基づき、バイオメカニクスシミュレーション環境 (AnyBody) を用いたシミュレーションを行った。①AnyBody の標準モデル、②骨盤から膝までを CT から構築した筋骨格モデルと置き換えたモデル、③骨盤から膝までだけのデータから前述の統計形状モデルを用いて下肢全体の形状を予測したモデル、の三つのモデルによる AnyBody シミュレーションを比較して、歩行時の下腿筋肉において、シミュレーション結果にどのような違いが表れるかを検証した。

(4) 筋骨格動態四次元認識 AI の構築と医用画像を用いた評価：中間位・外転位・外旋位の三つの肢位で撮影した MRI 画像から骨盤・大腿骨・中殿筋の三つの組織を抽出し、それぞれの肢位での三次元形状モデルを構築した。次に、それぞれの三次元形状モデルを用いて、研究代表者が以前提案した手法[2]により、中殿筋の筋線維走行の推定を行った。大腿骨と骨盤を剛体と考え、中間位と外転位、中間位と外旋位、で剛体位置合わせを行い、骨盤に対する大腿骨の角度変化を定量化した。この骨の動作データと、中間位の中殿筋線維走行モデルを用いて、外転位、外旋位での線維走行の予測を行った。予測においては我々が提案した上記の VIPER による予測と、従来法 (Linear Blend Skinning) による方法とを比較した。外転位・外旋位の MRI から[2]を用いて直接線維走行の予測を行った結果を ground truth として、予測した線維走行の誤差を定量化した。

文献： [1] Angles, B., et al. (2019). Viper: Volume invariant position-based elastic rods. Proceedings of the ACM on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2(2), 1-26. [2] Otake, Y., et al. (2018). Registration-Based Patient-Specific Musculoskeletal Modeling Using High Fidelity Cadaveric Template Model. Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention – MICCAI 2018 Cham.

4. 研究成果

(1) 高忠実性筋骨格解剖バイオメカニクスモデルの構築：弾性体シミュレーターVIPER を用いて骨盤と大腿骨に付着する大・中・小殿筋のモデリングを行い、股関節の動作に伴う筋肉間の干渉を含むシミュレーションを行った結果を図 2 に示す。従来法(a)では屈曲角度が大きい際に骨盤下部が大殿筋を貫通してしまう、現実とは異なる振る舞いが見られたのに対し、提案法(b)では、筋肉と骨との干渉を考慮したシミュレーション

により、現実に近い変形が得られたことが分かった。また、骨盤・大腿骨を実際の被験者の MRI 画像から取得して構築したこの忠実性筋骨格解剖モデルを図 5 に示す。

(2) 医用画像データベースに基づく個体間解剖バリエーションの推

定：668 症例の下肢全体 CT 画像から 59 個の筋骨格構造を抽出し、構築した統計形状モデルを図 3 に示す。第一から第五の各主成分について、平均

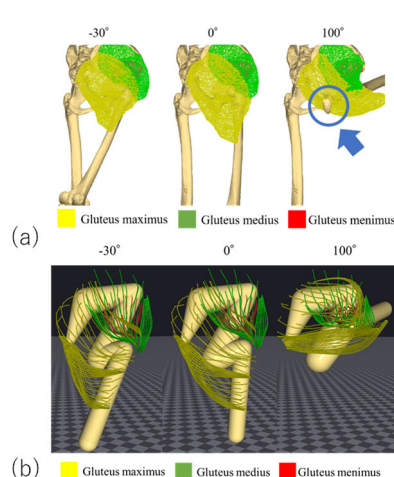


図 2 高忠実性筋骨格解剖バイオメカニクスモデルの構築結果。(a)従来法 (Linear Blend Skinning), (b)提案法 (VIPER)

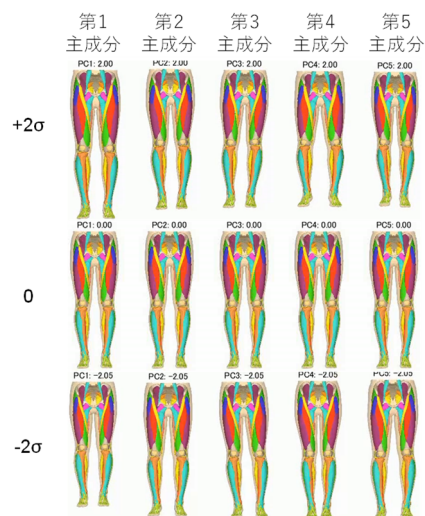


図 3 668 症例の下肢全体 CT 画像から 59 個の筋骨格構造を抽出し、構築した統計形状モデル。

第一から第五の各主成分について、平均

形状からそれぞれの正負方向に 2σ (σ は各主成分の分散) 加えた形状を示した。第一主成分は下肢全体の長さのバラツキを示し、第二主成分は大きさ、第三主成分は左右の脚長差、第四・第五主成分は左右の足の開き具合、といったように、対象患者群の下肢全体形状に含まれる統計的バラツキを定量化する事が出来た。

(3) 筋骨格の動態変形バリエーションの推定：下肢全体統計形状モデルを用いて、一部分（骨盤から膝）の CT 画像から下肢全体の骨格形状を予測し、AnyBody によりバイオメカシミュレーションを行った結果を図 4 に示す。図 4a に構築した患者個別バイオメカニクスモデル（左：線形スケーリングのみ、一部分の患者 CT から統計モデルを用いた補外をした結果、右：下肢全体の CT を用いた場合を示した。この三つのモデルを用いて、長腓骨筋の動態解析を行った結果を図 4b に示した。線形スケーリングの場合には図 4b の赤丸の部分で長腓骨筋の活動率が 1 を超えており、解析にエラーが生じている可能性が示唆された。

(4) 筋骨格動態四次元認識 AI の構築と医用画像を用いた評価：バイオメカシミュレーションによって筋骨格動態変形の四次元認識した結果と、MRI 画像による検証の結果を図 5 に示す。3 つの肢位で取得した MRI 画像を図 5a、2 種類のモデル（左：VIPER、中：LBS）を用いたシミュレーションにより中間位から外転位を予測した結果と右：MRI から得た ground truth を図 5b にそれぞれ示した。それぞれの線が筋線維走行を近似しており、色は局所的な方向に対応している。全体的に、VIPER でのシミュレーションが ground truth に近い傾向があるが、丸印の部分で誤差が大きくなっていることが分かる。

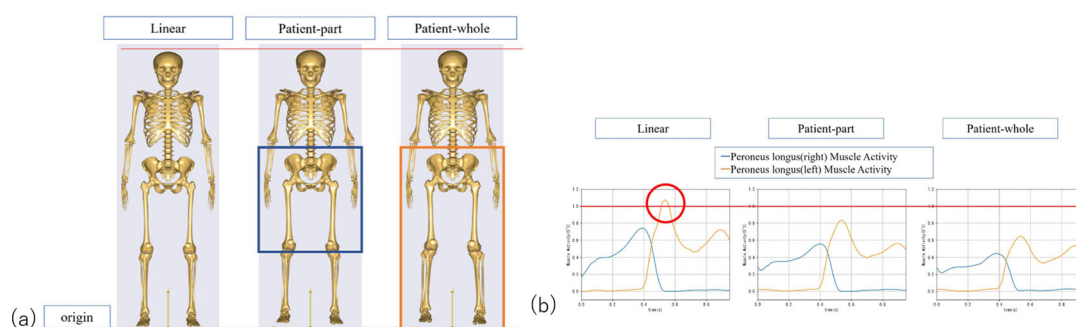


図 4 下肢全体統計形状モデルを用いて、一部分（骨盤から膝）の CT 画像から下肢全体の骨格形状を予測し、AnyBody によりバイオメカシミュレーションを行った結果。(a) 構築した患者個別バイオメカニクスモデル（左：線形スケーリングのみ、一部分の患者 CT から統計モデルを用いた補外をした結果、右：下肢全体の CT を用いた場合）、(b)長腓骨筋の筋活動率を三つのモデルで比較した結果。線形スケーリングの場合には赤丸の部分で活動率が 1 を超えており、解析にエラーが生じている可能性が示唆された。

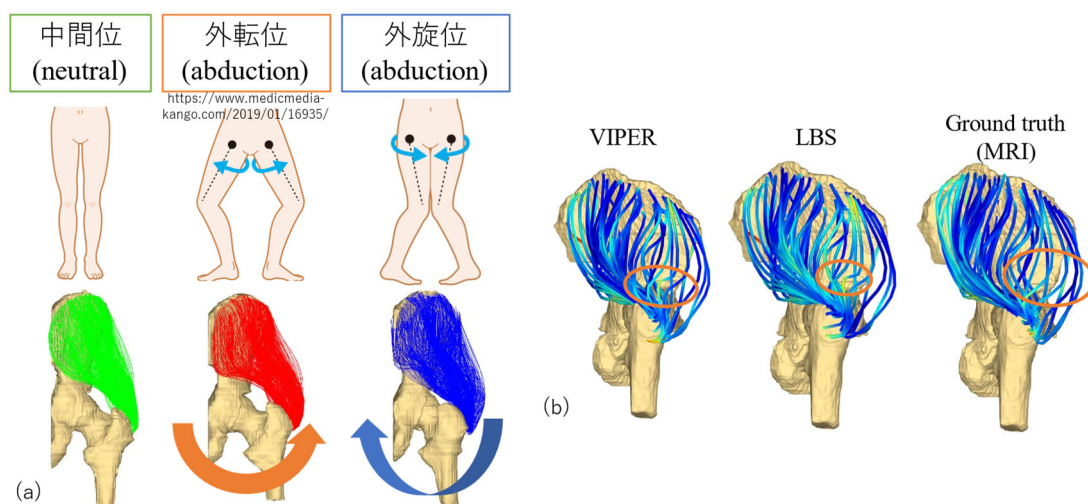


図 5 バイオメカシミュレーションによる筋骨格動態変形の推定と MRI 画像による検証の結果。(a)3 つの肢位で取得した MRI 画像、(b)2 種類のモデル（左：VIPER、中：LBS）を用いたシミュレーションにより中間位から外転位を予測した結果と、右：MRI から得た ground truth。それぞれの線が筋線維走行を近似しており、色は局所的な方向に対応している。全体的に、VIPER でのシミュレーションが ground truth に近い傾向があるが、丸印の部分で誤差が大きくなっていることが分かる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5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 2件）

1. 著者名 Uemura, K., Otake, Y., Takao, M., Makino, H., Soufi, M., Iwasa, M., Sugano, N. and Sato, Y.	4. 巻 17(1)
2. 論文標題 Development of an open-source measurement system to assess the areal bone mineral density of the proximal femur from clinical CT images	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Archives of Osteoporosis	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11657-022-01063-3	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 Shiode, R., Kabashima, M., Hiasa, Y., Oka, K., Murase, T., Sato, Y. and Otake, Y.	4. 巻 11(1)
2. 論文標題 2D-3D reconstruction of distal forearm bone from actual X-ray images of the wrist using convolutional neural networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 15249
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-94634-2	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 Uemura, K., Otake, Y., Takao, M., Soufi, M., Kawasaki, A., Sugano, N., & Sato, Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Automated segmentation of an intensity calibration phantom in clinical CT images using a convolutional neural network.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International journal of computer assisted radiology and surgery	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/s11548-021-02345-w	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 Sakamoto, M., Hiasa, Y., Otake, Y., Takao, M., Suzuki, Y., Sugano, N., & Sato, Y.	4. 巻 92
2. 論文標題 Bayesian Segmentation of Hip and Thigh Muscles in Metal Artifact-Contaminated CT Using Convolutional Neural Network-Enhanced Normalized Metal Artifact Reduction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Sign Process Syst	6. 最初と最後の頁 335-344
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11265-019-01507-z	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 Tetsuro Tani, Masaki Takao, Keisuke Uemura, Yoshito Otake, Hidetoshi Hamada, Wataru Ando, Yoshinobu Sato, Nobuhiko Sugano	4. 巻 38(3)
2. 論文標題 Posterior Pelvic Tilt From Supine to Standing in Patients With Symptomatic Developmental Dysplasia of the Hip	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Orthopaedic Research	6. 最初と最後の頁 578-587
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/jor.24484	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16件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Mizoe Shuntaro, Otake Yoshito, Miyamoto Takuma, Soufi Mazen, Nakao Satoko, Tanaka Yasuhito, Sato Yoshinobu
2. 発表標題 4D-Foot: A Fully Automated Pipeline of Four-Dimensional Analysis of the Foot Bones Using Bi-plane X-Ray Video and CT
3. 学会等名 Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention (MICCAI 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuto Masaki, Yoshito Otake, Mazen Soufi, Masatoshi Hori, Hiromitsu Onishi, Noriyuki Tomiyama, Yoshinobu Sato
2. 発表標題 Analysis of multiplanar integration based on uncertainty estimation in automatic segmentation of abdominal organs in 3D CT image using 2D Bayesian U-Net
3. 学会等名 International Forum on Medical Imaging in Asia (IFMIA 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 箱谷 知輝, 大竹 義人, スーフィー マーゼン, 橋本 正弘, 山田 祥岳, 山田 稔, 横山 陽一, 上村 圭亮, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 陣崎 雅弘, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 立位時の筋骨格変形の定量化を目的とした臥位・立位CT画像からの筋骨格セグメンテーション
3. 学会等名 電子情報通信学会医用画像研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊野 淳也, 大竹 義人, Mazen Soufi, 上村 圭亮, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 医用画像に基づく筋骨格モデルと弾性体シミュレータVIPERを用いた被験者個別シミュレーションの試み
3. 学会等名 電子情報通信学会医用画像研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊東 尚輝, Mazen Soufi, 大竹 義人, 宮本 拓馬, 田中 康仁, 上村 圭亮, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 CT画像からの足部筋骨格セグメンテーションにおける撮影肢位バリエーションに対応するための推論姿勢正規化
3. 学会等名 電子情報通信学会医用画像研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Li Ganping, Soufi Mazen, 大竹 義人, 上村 圭亮, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 CT画像からの筋骨格セグメンテーションを用いた変形性股関節症の疾患進行モデリング
3. 学会等名 電子情報通信学会医用画像研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上村 圭亮, 大竹 義人, 高尾 正樹, 濱田 英敏, 安藤 渉, 佐藤 嘉伸, 菅野 伸彦
2. 発表標題 CT画像から大腿骨近位部骨密度を自動計測するシステムの開発
3. 学会等名 日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2021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装置を用いた臥位から立位の男女別仙腸関節動態の検討
3. 学会等名 日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 成田 剛志, 政木 勇人, 大竹 義人, スーフィー マーゼン, 高尾 正樹, 上村 圭亮, 岩佐 諒, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 Test-time-augmentationを用いた筋骨格セグメンテーションの精度向上の検討
3. 学会等名 日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 程 卓, 大竹 義人, スーフィー マーゼン, 上村 圭亮, 重松 英樹, 池尻 正樹, 合田 憲人, 佐藤 真一, 橋本 正弘, 明石 敏明, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 Bayesian U-Netを用いた脊椎セグメンテーションの不確実性予測: 大規模CTデータベースにおける年齢・性別統計モデリングに向けて
3. 学会等名 日本医用画像工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Akihiro Kawasaki, Yoshito Otake, Keisuke Uemura, Masaki Takao, Nobuhiko Sugano, Yoshinobu Sato
2. 発表標題 Statistical Analysis of Sacral Bone Density using a CNN-based Atlas Creation on a Large-scale CT database
3. 学会等名 International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaki Takao, Yoshito Otake, Yuki Tanaka, Makoto Iwasa, Keisuke Uemura, Kento Aida, Shinichi Sato, Akihiro Nishie, Yoshinobu Sato, Nobuhiko Sugano
2. 発表標題 Measurement of Pelvic Tilt in the Supine Position of 12,523 CT Data Sets using Artificial Intelligence
3. 学会等名 International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mazen Soufi, Yoshito Otake, Takuma Miyamoto Yasuhito Tanaka, Keisuke Uemura, Masaki Takao, Nobuhiko Sugano, Yoshinobu Sato
2. 発表標題 Automated segmentation of musculoskeletal structures from CT image of lower leg: toward personalized musculoskeletal sciences
3. 学会等名 日本医用画像学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keisuke Uemura, Yoshito Otake, Akihiro Kawasaki, Mazen Soufi, Masaki Takao, Nobuhiko Sugano, Yoshinobu Sato
2. 発表標題 Automated segmentation of an intensity calibration phantom to quantify bone mineral density of the femur from clinical CT images
3. 学会等名 日本医用画像学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大竹 義人, スーフィ・マーゼン, 上村 圭亮, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸
2. 発表標題 大規模CTデータベースと深層学習による整形外科手術支援
3. 学会等名 日本コンピュータ外科学会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上村圭亮, 大竹義人, 岡本昌士, 徳永邦彦, 高尾正樹, 菅野伸彦, 佐藤嘉伸
2. 発表標題 Bayesian U-netを用いた股関節形成不全症例の筋萎縮の評価
3. 学会等名 日本コンピュータ外科学会
4. 発表年 2020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	平島 雅也 (Hirashima Masaya) (20541949)	国立研究開発法人情報通信研究機構・未来ICT研究所脳情報通信融合研究センター・主任研究員 (82636)	
研究分担者	田中 康仁 (Tanaka Yasuhito) (30316070)	奈良県立医科大学・医学部・教授 (24601)	
研究分担者	高尾 正樹 (Takao Masaki) (30528253)	大阪大学・医学系研究科・講師 (14401)	
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	菅野 伸彦 (Sugano Nobuhiko) (70273620)	大阪大学・医学系研究科・寄附講座教授 (14401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	上村 圭亮 (Uemura Keisuke) (70871367)	大阪大学・医学系研究科・助教 (14401)	
研究分担者	SOUFI MAZEN (Soufi Mazen) (80823525)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教 (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